



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis del comportamiento y optimización de la configuración del modo de funcionamiento de un automóvil eléctrico de altas prestaciones

Autor

Luis Rafael Navallas Dito

Directores

Emilio Larrodé Pellicer
Juan Bautista Arroyo García

Escuela de Ingeniería y Arquitectura EINA/ Universidad de Zaragoza
2016



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Luis Rafael Navallas Dito,

con nº de DNI 73029418-W en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado, (Título del Trabajo)

Análisis del comportamiento y optimización de la configuración del modo de funcionamiento de un automóvil eléctrico de altas prestaciones

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 21-11-2016

Fdo: Luis Rafael Navallas Dito

Análisis del comportamiento y optimización de la configuración del modo de funcionamiento de un automóvil eléctrico de altas prestaciones

RESUMEN

En el siguiente trabajo de Fin de Grado se realiza la descripción de los principales sistemas de un automóvil eléctrico de altas prestaciones perteneciente a la Universidad de Zaragoza. También se realiza el análisis de una serie de ensayos de conducción realizados sobre el vehículo, con el objetivo de mejorar su funcionamiento, así como un estudio de los resultados obtenidos en los mismos. Por último, se incluyen las conclusiones obtenidas del estudio y se marcan las posibles líneas de continuación de trabajo sobre el vehículo.

El trabajo se ha realizado sobre un vehículo eléctrico ya desarrollado anteriormente, con el objetivo de analizar el comportamiento del sistema de control del motor eléctrico.

Este vehículo eléctrico procede de la transformación de un vehículo de combustión interna. Su puesta a punto se ha ido realizando a través de una serie de proyectos fin de carrera en la Universidad de Zaragoza, en los que ha colaborado la empresa Zytel Automoción S.L.

El objetivo es poner a punto el vehículo analizando las prestaciones del sistema de tracción frente a los diferentes modos de conducción, ensayando con distintos ajustes en los parámetros del sistema, iniciando la búsqueda de la configuración más idónea para la conducción del vehículo.

Antes de empezar a trabajar sobre el vehículo, se ha llevado a cabo un trabajo de documentación del funcionamiento de sus componentes y sistemas, para trabajar correctamente y de manera segura sobre él.

La siguiente tarea ha sido la realización de una serie de ensayos de conducción del vehículo siguiendo el mismo protocolo en todos ellos. En los ensayos se han variado diversos parámetros del sistema de tracción para estudiar las distintas respuestas del vehículo, con el objetivo de determinar los ajustes óptimos para una conducción satisfactoria.

Dentro de los parámetros que se han estudiado durante los distintos ensayos destacan:

- El modo de control del motor, que puede ser por control de par o control de velocidad.

- La aplicación o no de una caja reductora a la salida del motor de manera que se ha dispuesto de dos marchas en el vehículo, la marcha corta y la marcha larga o directa.

Con estos dos parámetros y las cuatro combinaciones distintas que se pueden estudiar con ellos, se ha ensayado con estos otros parámetros:

- Introducción de distintos valores de la señal de “brake” o freno eléctrico que llega al controlador. Esta señal tiene un funcionamiento diferente dependiendo del modo de control elegido.

- La aplicación de distintos límites de aceleración al motor. La forma en la que actúa este límite sobre el sistema también es diferente según el modo de control en el que se conduce.

Para el modo de control de par y las dos marchas se ha ensayado el siguiente parámetro:

- La variación de la curva de par-velocidad del motor.

Por último, para los dos modos de control y para la marcha directa también se ha probado con:

- La aplicación de distintos límites de velocidad al motor.

Sumado a los objetivos principales descritos, se ha diseñado alguna mejora como consecuencia de situaciones que han ido apareciendo a lo largo del trabajo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1Justificación.....	1
1.2 Alcance y Objetivos	1
2. ESTADO PREVIO Y DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DEL VEHÍCULO... 2	
3.ENSAYOS.....	15
3.1 Parámetros estudiados en los ensayos.....	15
3.2 Protocolo	18
3.3 Circuito.....	18
3.4 Análisis y Descripción de los ensayos	20
RONDA DE ENSAYOS NÚMERO 1	20
RONDA DE ENSAYOS NÚMERO 2	39
RONDA DE ENSAYOS NÚMERO 3	42
RONDA DE ENSAYOS NÚMERO 4	48
RESUMEN DE LOS ENSAYOS	52
4.CONCLUSIONES.....	54
5. BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXOS	59
ANEXO A: PROTOCOLO DE ENSAYO	60
ANEXO B: SISTEMA DE ALIMENTACION.....	64
Anexo B.1: Características de las baterías eléctricas.....	64

Anexo B.2 Distribución de los módulos de baterías.....	65
ANEXO C: SISTEMA DE CONTROL DE LAS BATERÍAS, BMS	67
Anexo C1: Configuración del sistema de control, BMS	67
Anexo C2: Modo de operación del sistema de control, BMS	71
ANEXO D: MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DE CONFIGURACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA MOTOR-CONTROLADOR UQM.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Vehículo estudiad. Zytel Zero.</i>	2
<i>Figura 2. Motor y controlador UQM</i>	3
<i>Figura 3 Batería de LiFePO₄</i>	3
<i>Figura 4. Distribución de los cajones de baterías en el vehículo</i>	4
<i>Figura 5. Pletina de cobre y su doble protección de aislamiento</i>	4
<i>Figura 6. Tapones protectores de plástico</i>	4
<i>Figura 7. Cable de sección 40 mm² y tubo de poliamida</i>	4
<i>Figura 8. Autómata programable</i>	6
<i>Figura 9. Pantalla táctil del autómata</i>	6
<i>Figura 10. Sistema de control de baterías, BMS</i>	7
<i>Figura 11. Pantalla de introducción de límites</i>	7
<i>Figura 12. Palanca de cambio de marchas</i>	8
<i>Figura 13. Potenciómetro (en azul)</i>	10
<i>Figura 14. Pantalla del software de la curva par-velocidad</i>	12
<i>Figura 15. Pantalla del Software de los parámetros del sistema</i>	13
<i>Figura 16. Pantalla de valores de la curva par-velocidad por defecto</i>	16
<i>Figura 17. Curva par-velocidad por defecto</i>	16
<i>Figura 18. Pantalla de valores de la curva par-velocidad modificada 1</i>	17
<i>Figura 19. Curva par-velocidad modificada 1</i>	17
<i>Figura 20. Vista aérea del circuito. Fuente: googlemaps.com</i>	19
<i>Figura 21. Ejemplo de perfil de velocidad del motor (rpm) frente al tiempo (s) a lo largo de una vuelta al circuito</i>	19
<i>Figura 22. Velocidad del motor (rpm) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro</i>	21
<i>Figura 23. Velocidad del motor (rpm) frente al tiempo (s) en el ensayo de marcha directa y control de velocidad</i>	22
<i>Figura 24. Velocidad del motor (rpm) frente al tiempo (s) en el ensayo en marcha corta y control de velocidad</i>	23

<i>Figura 25. Par motor (Nm) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro</i>	<i>24</i>
<i>Figura 26. Par motor (Nm) frente al tiempo (s) en el ensayo de marcha directa y control de par</i>	<i>25</i>
<i>Figura 27. Velocidad del motor (rpm) y Par motor (Nm) frente al tiempo (s) en el tramo de máxima aceleración del circuito para el ensayo en marcha directa control de par, y para las tres señales del potenciómetro</i>	<i>27</i>
<i>Figura 28. Evolución del par motor (rpm) frente al tiempo (s) en control de velocidad para distintos valores de la señal de freno</i>	<i>29</i>
<i>Figura 29. Evolución de la velocidad del motor (rpm) y par motor (Nm) frente al tiempo (s) en control de velocidad con un 40 % de la señal del potenciómetro</i>	<i>30</i>
<i>Figura 30. Velocidad del motor (rpm) frente al tiempo (s) en el ensayo de marcha larga y control de velocidad, con valores de la señal de freno del 10% y 25%</i>	<i>31</i>
<i>Figura 31. Aceleración (rpm/s) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 32. Temperatura del sistema motor-controlador (°C) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro</i>	<i>33</i>
<i>Figura 33. Evolución del Par motor en Nm (arriba) y la temperatura de los IGBTs en °C (abajo) frente al tiempo en segundos, en el ensayo de marcha larga y control de par con un 25% de la señal del potenciómetro.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 34. Temperatura de los IGBTs (°C) frente al tiempo (s) en el ensayo de marcha directa y control de par.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 35. Temperatura de los IGBTs (°C) y par motor (Nm) frente al tiempo (s) en el tramo de máxima aceleración del circuito para el ensayo en marcha directa y control de par, y para las tres señales del potenciómetro</i>	<i>36</i>
<i>Figura 36. Energías (kWh) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro</i>	<i>38</i>
<i>Figura 37. Aceleración (rpm/s) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 38. Pantalla de valores de la curva par-velocidad por defecto.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 39. Curva par-velocidad por defecto</i>	<i>43</i>
<i>Figura 40. Pantalla de valores de la curva par- velocidad modificada 1</i>	<i>44</i>
<i>Figura 41. Curva par-velocidad modificada 1</i>	<i>44</i>
<i>Figura 42. Velocidad (rpm) y Par motor (Nm) en el tramo de máxima aceleración en el ensayo de marcha directa control de par y 10 % de señal del potenciómetro. Sin límite de aceleración (dcha) y con límite de aceleración d 300 rpm/s (izda)</i>	<i>46</i>

<i>Figura 43. Velocidad (rpm) y Par motor (Nm) en el tramo de detención del vehículo, control de par, marcha directa, 40% de señal del potenciómetro. Curva par-velocidad por defecto (dcha) y curva par-velocidad modificada 1 (izda)</i>	<i>47</i>
<i>Figura 44. Velocidad (rpm) y Par motor (Nm) en un ciclo del ensayo en control de par con límite de Zero torque y con 10 % de señal del potenciómetro</i>	<i>51</i>
<i>Figura 45. Matriz de ensayos de las rondas 1,2 y 3</i>	<i>53</i>
<i>Figura 46. Matriz de ensayos de la ronda 4</i>	<i>53</i>
<i>Figura 47. Curva de descarga</i>	<i>65</i>
<i>Figura 48. Esquema de la conexión de las baterías con su numeración</i>	<i>65</i>
<i>Figura 49. Distribución de las baterías de tracción</i>	<i>66</i>
<i>Figura 50. Controlador central del BMS</i>	<i>67</i>
<i>Figura 51. Conexiones controlador central</i>	<i>68</i>
<i>Figura 52. Módulo de tensión</i>	<i>68</i>
<i>Figura 53. Sensor Hall del BMS</i>	<i>69</i>
<i>Figura 54. Distribución de módulos en el cajón principal de baterías</i>	<i>70</i>
<i>Figura 55. Información general de la pantalla del BMS</i>	<i>71</i>
<i>Figura 56. Información de la tensión de cada batería</i>	<i>72</i>
<i>Figura 57. Valores de temperatura de cada módulo</i>	<i>72</i>
<i>Figura 58. Estado de carga de las baterías</i>	<i>72</i>
<i>Figura 59. Menú de carga</i>	<i>73</i>
<i>Figura 60. Capacidad global del conjunto de baterías</i>	<i>74</i>
<i>Figura 61. Pantalla de inicio de la opción SET.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 62. Configuración módulos del BMS.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 63. Configuración de los límites.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 64. Configuración de los máximos.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 65. Pantalla principal del programa del motor-controlador</i>	<i>78</i>
<i>Figura 66. Pantalla táctil del autómeta</i>	<i>80</i>
<i>Figura 67. Configuración del sistema motor-controlador: pestaña de control.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 68. Configuración del sistema motor-controlador: pestaña de parámetros del sistema....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 69. Ventana de Torque Profile</i>	<i>82</i>

<i>Figura 70. Registro de datos en el Software UQM</i>	83
<i>Figura 71. Menú del registro de datos</i>	84
<i>Figura 72. Adquisición de datos del Software UQM</i>	85
<i>Figura 73. Menú de adquisición de datos</i>	86

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Módulos de Baterías</i>	5
<i>Tabla 2. Características de las baterías de tracción</i>	64
<i>Tabla 3. Cuadro resumen de los componentes del BMS</i>	70
<i>Tabla 4. Herramientas del registro de datos</i>	83
<i>Tabla 5. Variables del registro de datos</i>	84
<i>Tabla 6. Sucesos para parar la adquisición de datos.....</i>	85

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Para continuar con la puesta a punto del vehículo eléctrico en desarrollo por la universidad de Zaragoza se hace necesario comenzar a estudiar las distintas configuraciones que se pueden aplicar al sistema motor-controlador.

La forma de conducción del vehículo por parte del usuario depende completamente de la configuración del sistema motor-controlador.

Por ello, es imprescindible comenzar con el análisis de los ajustes necesarios a aplicar en el sistema motor-controlado, en la búsqueda de una conducción adecuada a las necesidades reales a las que se pretende que responda el vehículo.

1.2 Alcance y Objetivos

Este Trabajo Fin de Grado analiza el comportamiento en marcha del vehículo ante la aplicación de distintos ajustes en el motor o en la salida de éste.

El vehículo está equipado con un motor eléctrico y un controlador para gobernar su funcionamiento. A través de un programa informático del controlador se pueden cambiar y ajustar diversos parámetros del motor además de obtener gran cantidad de datos de éste para realizar su estudio después.

Se pretende encontrar o comenzar la búsqueda de la configuración óptima de los parámetros del motor-controlador para que la conducción del vehículo cumpla con todas las solicitudes de una conducción real, tanto en un entorno urbano como interurbano.

Para ello, se ha realizado un estudio que ha consistido en la realización de una serie de ensayos de conducción del vehículo, variando diversos parámetros del motor-controlador para después estudiar los resultados obtenidos, tanto a través del software del motor-controlador, como los obtenidos a través de la experiencia propia de conducción.

2. ESTADO PREVIO Y DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DEL VEHÍCULO

Como se ha dicho, el vehículo aún está en su periodo de puesta a punto. Esta puesta a punto se ha ido llevando a cabo a lo largo de varios proyectos anteriores y aún quedan varias tareas a realizar para que el vehículo esté totalmente terminado y ofrezca las mejores prestaciones y condiciones de seguridad. A continuación se muestra una descripción de los principales sistemas del vehículo y su estado antes de realizar el proyecto.



Figura 1. Vehículo estudiad. Zytel Zero.

Sistema motor-controlador

Este sistema consiste en un motor PH 145 de corriente continua sin escobillas de imanes permanentes, con 400 Nm de par máximo y 8000 rpm de velocidad máxima y un controlador del propio fabricante, UQM. Además del control del motor, el controlador permite el diagnóstico y la lectura de la velocidad, de la tensión, de la intensidad y la temperatura del motor y del controlador.

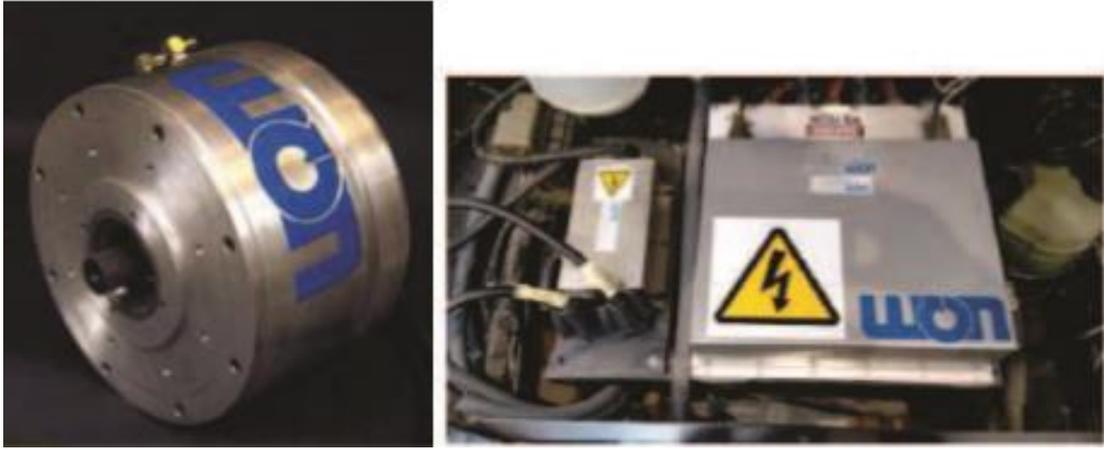


Figura 2. Motor y controlador UQM

Baterías de tracción

El vehículo está equipado con 106 baterías de tracción conectadas en serie. Son baterías de LiFePO₄ de 180 Ah y 3'4 V cada una, que se conectan y alimentan al sistema motor - controlador y que suponen el combustible del vehículo.



Figura 3 Batería de LiFePO₄

Están distribuidas en cuatro compartimentos en el vehículo como se puede observar en el Anexo B. Todas las baterías de tracción están conectadas con el sistema de control de baterías BMS y se puede comprobar su estado en cualquier instante a través de éste.

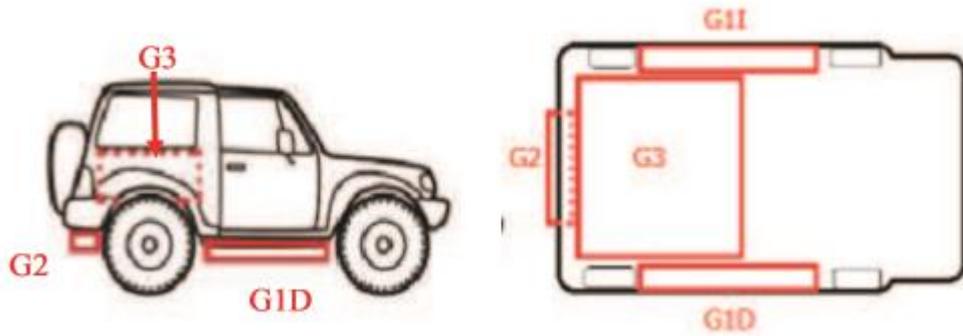


Figura 4. Distribución de los cajones de baterías en el vehículo

El conjunto de baterías proporciona una energía total de 64.872 Wh, a una tensión nominal continua de 360'4 voltios, con una tensión mínima total de 212 V (considerando la tensión mínima por batería de 2V) y un peso total de 593'6 Kg.

Para llevar a cabo la conexión de las baterías se utilizan pletinas de cobre recubiertas con un protector de material termoplástico a su alrededor.



Figura 5. Pletina de cobre y su doble protección de aislamiento

Además los bornes de todas las baterías se recubren con tapones protectores de plástico de color rojo (bornes positivos) y negro (bornes negativos).



Figura 6. Tapones protectores de plástico

La conexión de las baterías de los distintos cajones se realiza a través de cables de sección de 50 mm² con aislante XLPE y con un tubo de poliamida para su protección.



Figura 7. Cable de sección 40 mm² y tubo de poliamida

Las 106 baterías se agrupan en 11 módulos. En la Tabla 4 se muestra dónde está localizado cada módulo, el número de las baterías que tiene y las baterías que le corresponden

Nº Módulo	Localización	Cantidad de baterías	Nº de baterías
0	Lat izq	10	01-10
1	Lat izq	7	11-17
2	Inferior	9	18-26
3	Lat dcho	8	27-34
4	Lat dcho	8	35-42
5	Interior	10	43-52
6	Interior	10	53-62
7	Interior	10	63-72
8	Interior	10	73-82
9	Interior	10	83-92
10	Interior	4	103-106
11	Interior	10	93-102

Tabla 1. Módulos de Baterías

Sistema de alimentación auxiliar

Teóricamente se compone de dos baterías de 12V conectadas en paralelo situadas en la parte delantera del vehículo, debajo del capó, que alimentan los sistemas auxiliares del vehículo como son el automático, la bomba de refrigeración, la dirección asistida, el cierre centralizado, las luces, ...

Al realizar la primera toma de contacto con el vehículo apareció un problema en el sistema de alimentación auxiliar. Las baterías auxiliares se habían estropeado por el largo periodo de tiempo que habían pasado sin utilizarse y no se podían cargar, por lo que el coche no se podía poner en marcha ni se podía encender el automático. Ante esta situación, se intentó cargar otras baterías auxiliares ya usadas que había guardadas en la nave. Sin embargo, ninguna de las baterías que se intentó cargar funcionó, ya que estaban todas estropeadas también.

Por eso, se compró una única batería auxiliar de emergencia, también de 12 V, y se sustituyó por las dos iniciales, quedando únicamente una batería auxiliar en lugar de dos. Se está a la espera de un encargo de dos baterías nuevas para instalarlas en el vehículo.

Sistema de control

El sistema de control está formado por un automático programable que controla y monitoriza las principales variables del vehículo y que también va provisto de una pantalla táctil situada en el salpicadero. El automático monitoriza el circuito de carga

suave que evita los picos de intensidad en la carga del controlador. También, a través de él se realiza el encendido y apagado del BMS y de la bomba de refrigeración del automóvil, se controla el sentido de la marcha y se habilita o deshabilita el controlador



Figura 8. Autómata programable



Figura 9. Pantalla táctil del autómata

También se dispone de un sistema de control de baterías, el BMS. En él, aparecen en tiempo real los valores de la tensión de cada batería, la tensión global, la temperatura de cada módulo y la corriente que entra o sale del conjunto de baterías, entre otros datos. Este sistema de control es manual, es decir, su función consiste en mostrar si las baterías se encuentran dentro de unos límites y a partir de ahí poder elegir la mejor forma de actuación.



Figura 10. Sistema de control de baterías, BMS

En la pantalla principal, el BMS proporciona la tensión total de las baterías, la intensidad que recorre las baterías, la energía restante almacenada, la batería a mayor tensión, la batería a menor tensión y la sonda que registra mayor temperatura.

El BMS permite controlar tanto la carga de las baterías, limitada por la batería de mayor tensión, como la descarga de éstas, limitada por la batería de menor tensión. Su encendido se realiza a través de la tecla F1 de la pantalla del autómeta. El BMS también permite introducir valores límite, tanto en carga como en descarga.

En cuanto a la introducción de límites, se puede ajustar la tensión máxima y mínima, que puede alcanzar una batería, la intensidad máxima del conjunto, y la temperatura máxima de los módulos. Los valores correctos a introducir son los siguientes: 3,65 voltios como tensión máxima, la cual limita la carga; 2 voltios como tensión mínima, la cual limita la descarga; la intensidad máxima varía de los 500 amperios para la carga a los 700 para la descarga, y por último un límite máximo de temperatura de 45°C.

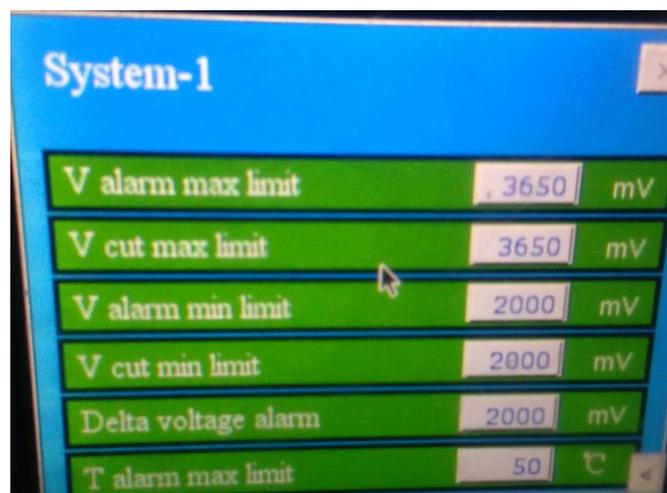


Figura 11. Pantalla de introducción de límites

** El resto de características de su funcionamiento y como efectuar los cambios anteriores, aparecen detalladas en el Anexo C

Caja reductora

Cuando se equipó al vehículo con el motor eléctrico se le incluyó una caja reductora a la salida de éste que permitía que el vehículo funcionara con dos marchas distintas: la marcha directa en la que la salida del motor se conecta directamente con las ruedas, y la marcha corta en la que se incluye una reductora a las salida del motor que aumenta la potencia transmitida a las ruedas pero limita la velocidad máxima que se puede alcanzar en éstas.

El cambio de marcha se realiza con una palanca situada entre los dos asientos del vehículo, en el mismo lugar donde suele estar la palanca de cambio de marcha en un vehículo con motor de combustión interna. Esta palanca solo tiene dos posiciones: hacia delante cuando se aplica la marcha corta y hacia atrás cuando se aplica la marcha directa o larga. El cambio de marcha se debe realizar cuando el vehículo está parado.



Figura 12. Palanca de cambio de marchas

Software del sistema motor controlador

La configuración y el diagnóstico del sistema motor-controlador se realizan a través del programa que proporciona el fabricante. Este programa software proporciona un entorno para cambiar los valores de configuración del sistema, además de registrar las condiciones del sistema motor-controlador.

Los parámetros del motor que se han estudiado en este proyecto son los siguientes:

Modos de control

Hay tres modos de control en el sistema motor UQM (control de par, control de velocidad y control de tensión) aunque en este proyecto sólo se han utilizado dos (control de par y control de velocidad).

Al controlador llegan dos señales de control por parte del usuario que se corresponden con la señal “Accel” de acelerador y la señal “Brake” de freno. Estas dos señales tienen comportamientos diferentes según el modo de control utilizado en el vehículo como se explicará a continuación. Teóricamente, estas dos señales deberían provenir de dos pedales: el pedal de acelerador eléctrico y el pedal de freno eléctrico. Sin embargo, en este vehículo no se ha instalado pedal de freno eléctrico, sino que hay un pedal de acelerador y un pedal de frenado mecánico a través de un freno de disco que nada tiene que ver con el controlador.

Al no existir pedal de freno eléctrico y ser necesario enviar una señal de este tipo al controlador, se ha instalado un potenciómetro en la placa de conexiones con el que se puede enviar una señal eléctrica de valor variable al controlador que se corresponde con la señal de freno eléctrico “brake”

-Control de par: Es el modo de funcionamiento más común para el motor. Cuando el control se realiza de forma analógica (como es el caso de este trabajo), el par motor se ordena como un porcentaje de la escala completa a través de los controles analógicos o señales, “acelerador” (solicitud de par positivo) y “freno” o “brake” (solicitud de par negativo). Las dos señales de entrada se compensan entre sí, siendo el par resultante la diferencia entre ambas señales.

Así por ejemplo, si con el potenciómetro se fija la señal “brake” en un 30%, se deberá que accionar el acelerador hasta un recorrido mayor del 30% del mismo para obtener un par positivo en el motor y que el vehículo comience a moverse. Si se acciona el acelerador hasta el final de su recorrido, el par de aceleración que tendrá el vehículo será de un 70% del par máximo del motor, ya que el par resultante será la resta del par dado por el acelerador menos el par dado por la señal del potenciómetro ($100\% - 30\% = 70\%$).

Por otro lado si nos encontramos con el vehículo en marcha y liberamos completamente el acelerador (0% de su recorrido), en ese instante se aplicará un par negativo o par de frenado del motor de un valor del 30% del par máximo.

-Control de velocidad: En este modo de funcionamiento el controlador del motor trata de mantener la velocidad de giro demandada por el usuario. Cuando se realiza el control de forma analógica, la velocidad se ordena como el valor solicitado a través de los controles analógicos, es decir, a través de las señales de “Acelerador” y “Freno”. La señal del “Acelerador” ahora corresponde a la velocidad demandada en cada instante y la señal de “Freno” es ahora el porcentaje del par motor máximo permitido por el controlador para alcanzar la velocidad demandada en cada instante.

Si por ejemplo mantenemos la señal del potenciómetro en 30% como en el caso anterior, tendremos que el máximo par que nos podrá aportar el motor, tanto para acelerar como para frenar y conseguir la velocidad deseada en cada instante será del 30 % del par máximo. Esta velocidad vendrá determinada por el recorrido del acelerador. Así, si llevamos el acelerador al final de su recorrido, estaremos demandando en ese instante la velocidad máxima de giro del motor que hayamos fijado previamente (en los ensayos es de 4000 rpm), y para lograr alcanzar esa velocidad se dispondrá, como máximo, de un par del 30% del par máximo del motor.

Señal del potenciómetro

Como se ha comentado anteriormente, el vehículo no tiene equipado un pedal de freno eléctrico que mande una señal de entrada al controlador, por lo que se ha sustituido esta señal por una señal eléctrica gobernada por un potenciómetro.

Esta señal se corresponde con la señal de nombre “brake” y, como se ha explicado en los modos de control, dependiendo del mismo la señal tendrá un funcionamiento u otro.

El valor de la señal se podrá variar a través de la posición del cursor potenciómetro

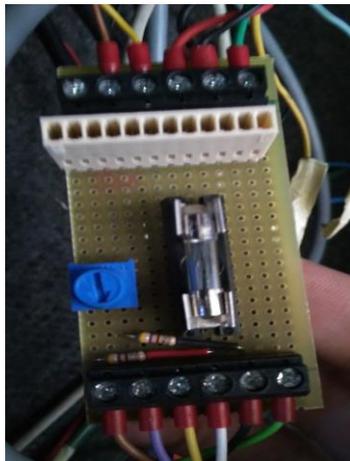


Figura 13. Potenciómetro (en azul)

Límite de aceleración

El controlador del vehículo dispone de una característica que permite activar un límite de aceleración en el motor a un nivel definido por el usuario, a través de la configuración del sistema. La aplicación de este límite es diferente según el modo de control en el que se encuentre el vehículo:

- En control de velocidad, el límite de aceleración hace que los cambios de velocidad requeridos por el usuario se realicen a un ritmo que no supere nunca el límite definido. Por ejemplo, si se define un límite de aceleración de 150 rpm / seg y

el usuario realiza una petición de velocidad de 1200 RPM, a través del acelerador, mientras el motor está en reposo, entonces el controlador elevará la velocidad de cero a 1200 rpm en un periodo de 8 segundos ($\frac{1200-0 \text{ rpm}}{150 \text{ rpm/s}} = 8 \text{ seg}$). Si después se realiza una petición de 1500 rpm, el controlador tardará 2 segundos en elevar la velocidad. Y si seguidamente se le pide al controlador una velocidad de 300 rpm, el motor disminuirá su velocidad a ese valor en 8 seg).

Hay que tener en cuenta que este límite de aceleración es la aceleración máxima que se puede lograr. Más rápido que este límite no se podrá realizar cambios en la velocidad. Sin embargo si no se dispone de par suficiente en el motor para lograr este límite de aceleración, los cambios de velocidad se realizaran en periodos de tiempo mayores.

- En el control de par, el límite de aceleración actúa de manera que una vez se supera el límite definido por el usuario, el controlador comienza a disminuir el par suministrado al motor con el fin de disminuir la aceleración excesiva hasta el nivel definido por el usuario. El controlador solo actúa si se aplica un par excesivo, ya que únicamente puede disminuir el par motor.

Por ejemplo, si se define un límite de aceleración de 150 rpm / seg y se emite al controlador una solicitud de pleno par mientras el motor está en reposo, entonces el controlador UQM desarrollará pleno par. A medida que el motor comienza a girar y la velocidad va aumentando, la aceleración se calcula y el controlador disminuirá el par entregado cuando la aceleración supere los 150rpm/s. Una vez que se devuelva la aceleración a 150 rpm, se mantendrá esta aceleración mientras el par solicitado por el usuario sea suficiente. Si la solicitud de par se reduce a cero, inmediatamente se eliminará el par. Si se emite una solicitud de par negativo en este punto, el controlador UQM entregará el par negativo solicitado hasta que la deceleración supere los 150rpm/s. A continuación, proporcionara un par menos negativo para controlar la deceleración a 150 rpm/s.

Curva de par-velocidad

La curva de perfil de par controla los límites de par que actúan sobre el motor en distintos rangos de velocidad.

El controlador del motor permite cambiar estos valores límites de par a distintos rangos de velocidades, tanto para pares positivos como pares negativos para modificar al gusto del usuario la curva.

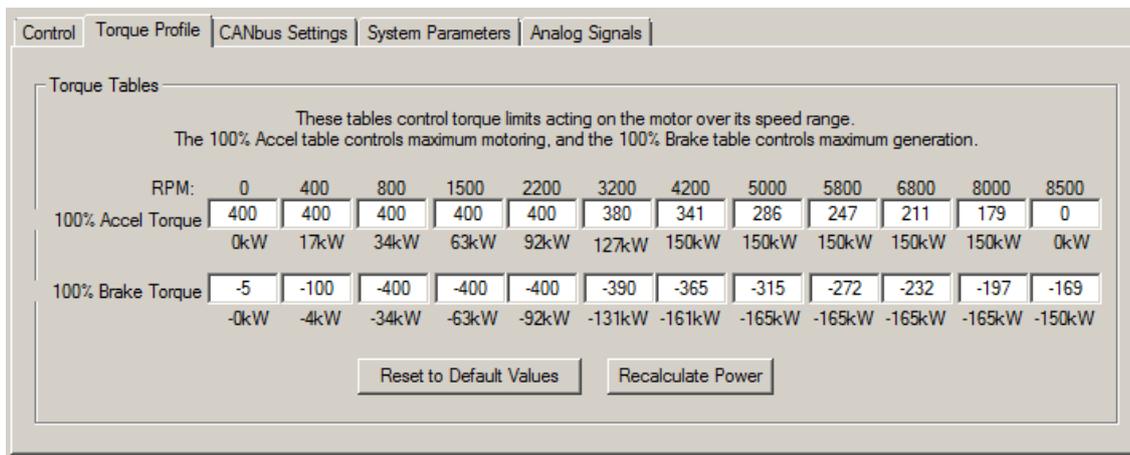


Figura 14. Pantalla del software de la curva par-velocidad

La tabla de 100% accel torque controla el par positivo o de aceleración máximo que el motor puede entregar. La Tabla de 100% brake torque controla el par negativo o de freno máximo que el motor puede entregar.

Límite de velocidad

El software también permite establecer un límite a la velocidad de giro del motor en la pestaña system parameters. El límite de velocidad puede ajustarse tanto para la dirección hacia adelante como para la dirección marcha atrás

Para establecer un límite de velocidad hay que tener en cuenta cuatro características:

Speed Límit: Es el valor de la velocidad en rpm en el que se desea que el límite comience a actuar

RPM Range: rango de velocidad en rpm de manera que el límite estará actuando completamente si la velocidad del motor alcanzara el límite de velocidad más este rango de rpm.

Torque limiting: Se trata de la forma en la que se desea que se aplique el límite. Hay dos formas distintas de limitación de la velocidad:

- Accel → Zero Torque: Si selecciona esta opción, entonces a la velocidad límite el par motor comenzará a ser disminuido y será completamente eliminado en el momento en que la velocidad alcance la parte superior del rango de rpm (límite de velocidad más rango), ofreciendo en ese momento el motor un par nulo o cero.
- Accel → Brake Torque: Si selecciona esta opción, al llegar al límite se eliminará el par motor y, si se sigue aumentando la velocidad, el motor comenzará a aplicar un par de frenado. Si la velocidad alcanzara la parte superior del rango de rpm (límite de velocidad más rango) entonces el motor aplicaría en ese momento su máximo par de frenado disponible.

Quadratic: por defecto, el límite de aceleración se aplica de forma lineal. Sin embargo, al marcar esta casilla la limitación se aplicará de forma cuadrática (aplicada más tarde pero de manera más rápida al final).

System friction

El “System friction” o fricción del sistema es un valor de par de la cantidad de fricción que el motor encontrará en su sistema. El controlador utilizará este valor para corregir la salida y sus medidas de par para que se adapten mejor a sus peticiones.

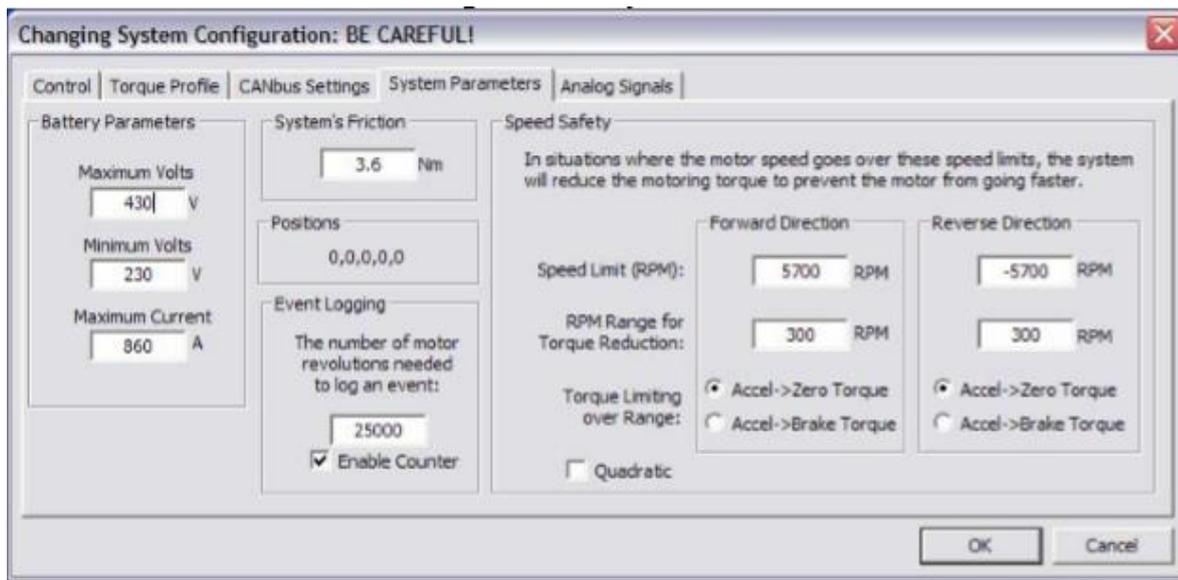


Figura 15. Pantalla del Software de los parámetros del sistema

Además de la elección de los parámetros nombrados, el software permite configurar otros parámetros del sistema, como la tensión e intensidad máxima...

Las principales características de este controlador se detallan en el Anexo D.

Sistema de adquisición de datos

Hay tres formas de obtener datos del vehículo: con el software del sistema motor controlador UQM, mediante el BMS (Battery Management System), y con una aplicación del dispositivo móvil.

El registro de datos a través del software mide diversos parámetros del motor-controlador de forma continua e ilimitada en el tiempo con un intervalo definido por el usuario que tiene un valor mínimo de un cuarto de segundo, y los guarda en un archivo de hoja de cálculo.

Sistema de carga

Este sistema permite la conexión entre el cargador y el vehículo permitiendo la carga del conjunto de todas las baterías de tracción.

Sistema de refrigeración

El vehículo dispone de un sistema de refrigeración que se encarga de asegurar que no se alcancen temperaturas muy altas en el sistema motor-controlador. Para ello dispone de una bomba de refrigerante, un radiador principal, un vaso de expansión para equilibrar las presiones del circuito y almacenar el líquido refrigerante y diversos manguitos y sus recorrierías.

Sistemas auxiliares

Se refiere a sistemas como son las luces, la dirección asistida, el cierre centralizado...

3. ENSAYOS

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es la realización de los ensayos de conducción donde se prueben los distintos ajustes aplicados. Después del pertinente trabajo de documentación del funcionamiento de todos los sistemas y la preparación del vehículo, se comenzó a preparar los ensayos a realizar y los parámetros del vehículo a analizar en ellos.

3.1 Parámetros estudiados en los ensayos

A continuación se presentan los parámetros del vehículo que se han estudiado a lo largo de los ensayos de conducción:

-Marcha utilizada: Como se ha explicado anteriormente el vehículo está equipado con una caja reductora que permite aplicar dos marchas distintas en la conducción. Durante los ensayos se ha estudiado la influencia de las dos marchas disponibles, la marcha corta y la marcha larga o directa

-Modo de control: Los dos modos de control que se han analizado durante los ensayos han sido el control de par y el control de velocidad

-Señal de “freno” o señal del potenciómetro: Se ensayado con tres valores distintos de la señal del potenciómetro con el objetivo de analizar su influencia real en la conducción del vehículo. Estos valores de la señal han sido del 10%, 25% y 40% en todos los ensayos.

-Límite de aceleración: Otro parámetro de los estudiados en este proyecto es el de la aplicación de un límite de aceleración al motor. Se ha ensayado con dos valores de este límite (300 rpm/s y 100 rpm/s) y sin la aplicación de éste.

-Curva par-velocidad Se han ensayado dos curvas distintas, la que viene dada por defecto en el software y otra curva modificada que llamamos curva 1. A continuación mostramos las dos curvas ensayadas:

Curva por defecto:

Torque Tables												
These tables control torque limits acting on the motor over its speed range. The 100% Accel table controls maximum motoring, and the 100% Brake table controls maximum generation.												
RPM:	0	400	800	1500	2200	3200	4200	5000	5800	6800	8000	8500
100% Accel Torque	400	400	400	400	400	380	341	286	247	211	179	0
	0kW	17kW	34kW	63kW	92kW	127kW	150kW	150kW	150kW	150kW	150kW	0kW
100% Brake Torque	-400	-400	-400	-400	-400	-390	-365	-315	-272	-232	-197	-169
	-0kW	-17kW	-34kW	-63kW	-92kW	-131kW	-161kW	-165kW	-165kW	-165kW	-165kW	-150kW

Figura 16. Pantalla de valores de la curva par-velocidad por defecto

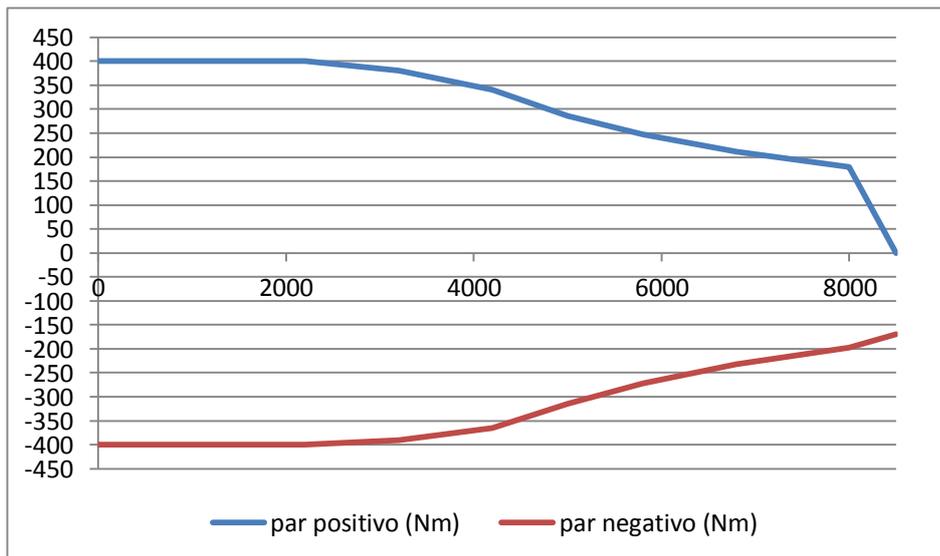


Figura 17. Curva par-velocidad por defecto

Curva modificada 1

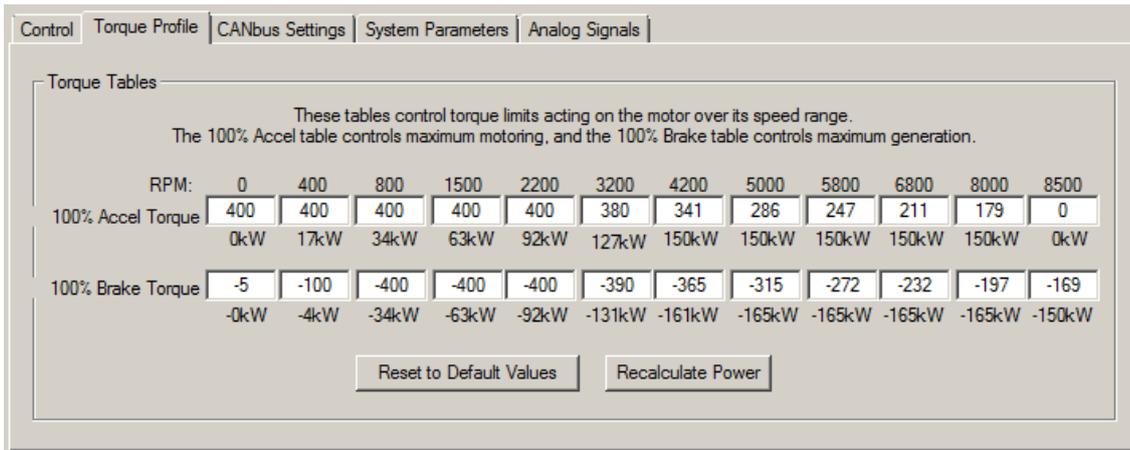


Figura 18. Pantalla de valores de la curva par-velocidad modificada 1

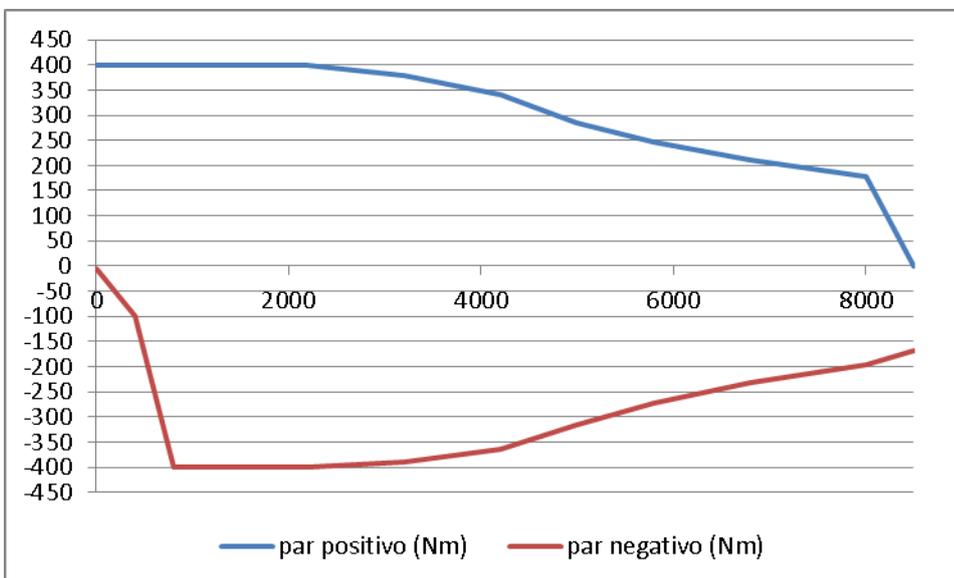


Figura 19. Curva par-velocidad modificada 1

La causa de la aplicación tanto de los distintos límites como de las distintas curvas se irá explicando durante el apartado de análisis de los ensayos.

-Límite de velocidad: En la ronda de ensayos número 4 se estudió el comportamiento del límite velocidad. La explicación del estudio se verá más adelante

-System Friction: En la cuarta ronda de ensayos también se analizó la influencia de la fricción del sistema y se explicará más adelante cuando se analice dicha ronda de ensayos.

3.2 Protocolo

En todos los ensayos se siguió el mismo protocolo para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento y puesta en marcha del vehículo. Este protocolo fue elaborado en proyectos anteriores y ha sido mejorado en base a las experiencias vividas a lo largo de este trabajo. Se puede comprobar el protocolo seguido en el Anexo A.

Como se ha explicado, durante los ensayos se conectaba el ordenador al vehículo de manera que el programa software del controlador permitía realizar la configuración deseada de los ajustes para la realización del ensayo e iba recopilando y almacenando multitud de datos. Una vez terminada la prueba, se dispone de documentos Excel con todos los datos recopilados por el programa y se puede proceder al estudio e interpretación de los mismos.

Con los datos obtenidos se realizan los cálculos y modificaciones convenientes y se elaboran una serie de gráficas para realizar el estudio de una forma más clara y detallada.

3.3 Circuito

El circuito donde se realizaron todos los ensayos corresponde a uno de los parkings de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura, el cual se ve en la Figura siguiente, donde aparece el recorrido marcado en rojo y el sentido elegido en azul. El parking tiene una pequeña pendiente siendo la dirección de bajada la que va de derecha a izquierda en la figura. Una vuelta al circuito implica una distancia en torno a los 400 metros, donde los tramos B (bajada) y S (subida) miden 100 metros y los tramos I (izquierda) y D (derecha) 50 metros. Las vueltas al circuito comenzaban y terminaban en la marca de color negro.



Figura 20. Vista aérea del circuito. Fuente: googlemaps.com

En los ensayos las vueltas al circuito se realizaban de manera que la recta de bajada se realizaba a una velocidad moderada, se frenaba antes de llegar a la primera curva y al salir de la segunda se accionaba el acelerador hasta el final de su recorrido de manera que se pudieran alcanzar las velocidades, pares, aceleraciones... máximas posibles en cada ensayo. Esta máxima aceleración se mantenía hasta algo más de la mitad de la recta de subida para llegar a la tercera curva a una velocidad moderada y acabar la vuelta dando la última curva.

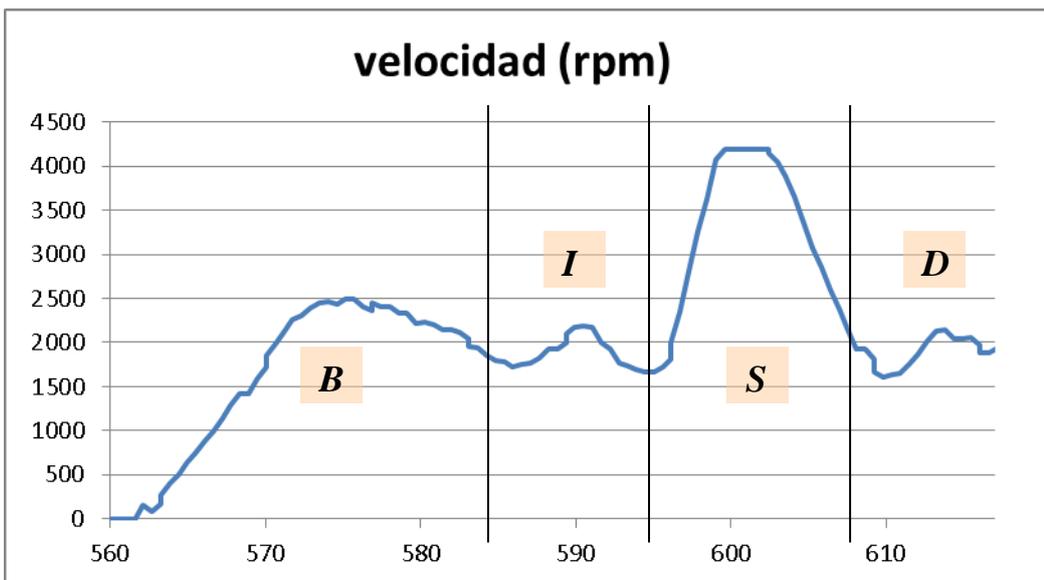


Figura 21. Ejemplo de perfil de velocidad del motor (rpm) frente al tiempo (s) a lo largo de una vuelta al circuito

En la figura se muestra de forma ampliada la velocidad del motor a lo largo de una vuelta, donde se puede ver el primer pico de velocidad correspondiente a la bajada del circuito. El segundo pico, de menor tamaño corresponde a la salida de la primera curva donde se volvía a aumentar ligeramente la velocidad. El tercer pico, el de mayor tamaño, corresponde a la subida, donde se aceleraba con la máxima capacidad y para acabar la vuelta, el último pequeño pico corresponde a la salida de la tercera curva. Todas las vueltas no tienen un perfil idéntico ya que se trata de una conducción humana con las diferencias de conducción en cada vuelta que ello conlleva, aunque sí que tienen un perfil similar como se verá a continuación.

3.4 Análisis y Descripción de los ensayos

RONDA DE ENSAYOS NÚMERO 1

Durante la ronda de ensayos número 1 se analizó la influencia de la señal del potenciómetro en los dos modos de control empleados (par y velocidad) y en las dos marchas (larga o directa y corta).

Para ello, se realizaron doce vueltas al circuito con cada una de las 4 combinaciones de control y marcha.

Dentro de estas 12 vueltas de cada uno de los ensayos, se realizaron 4 vueltas con distintos valores de la señal del potenciómetro de manera que los ensayos fueron los siguientes:

Ensayo 1: Control de par y marcha directa

- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 10%
- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 25%
- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 40%

Ensayo 2: Control de velocidad y marcha directa

- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 10% (En realidad se hicieron 2 vueltas, se paró para comprobar las baterías de los cajones y se hizo otra vuelta más después)
- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 25%
- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 40%

Ensayo 3: Control de par y marcha corta

- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 10%

- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 25% (en realidad fueron 3 vueltas)
- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 40%

Ensayo 4: Control de velocidad y marcha corta

- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 10%
- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 25%
- 4 vueltas con la señal del potenciómetro al 40% (En realidad se realizaron 2 vueltas, parada de comprobación, y 2 vueltas más)

A continuación se va a proceder con la exposición y el análisis de los resultados obtenidos.

Análisis de las gráficas de velocidad

En el primer grupo de gráficas que se muestra a continuación viene representado el régimen o velocidad de giro del motor a lo largo de cada uno de los ensayos.

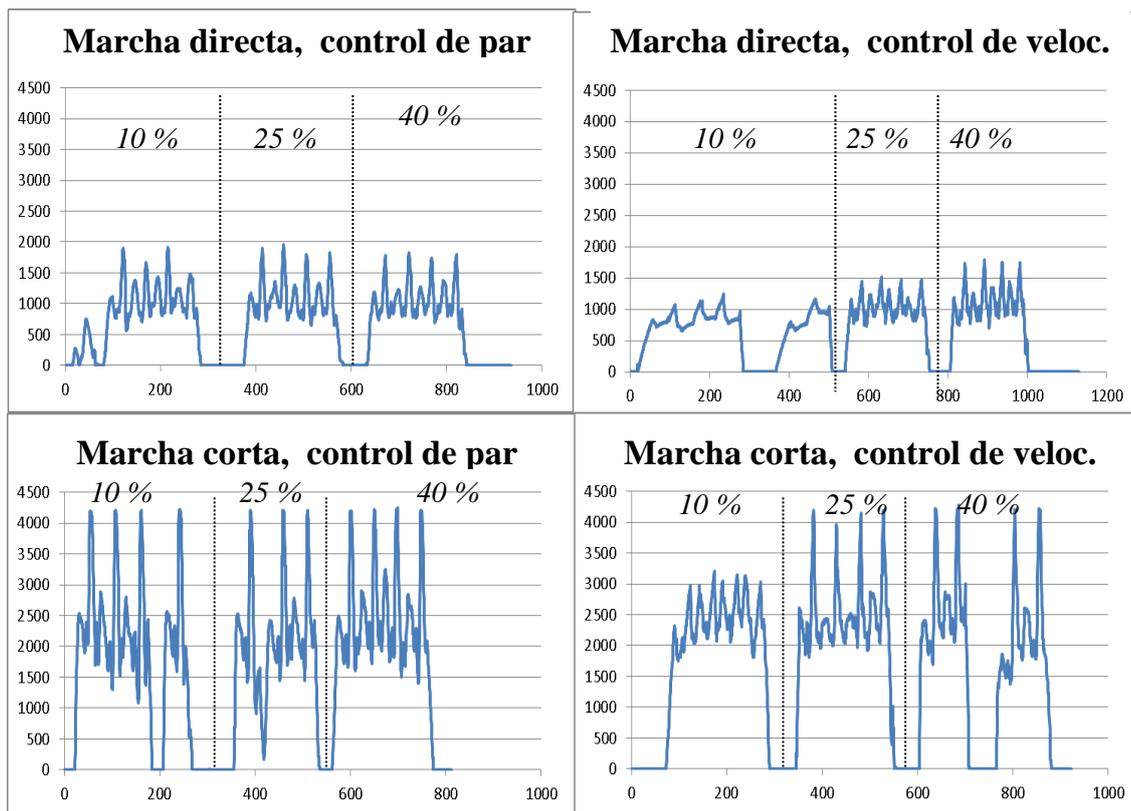


Figura 22. Velocidad del motor (rpm) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro

Se puede ver que en los ensayos aparecen los perfiles de velocidad explicados anteriormente para una vuelta al circuito pero esta vez con las 4 vueltas por ciclo. La forma más clara de verlo es fijarse en los 4 picos de altas velocidades correspondientes a las subidas de la pendiente del circuito en cada vuelta.

En general, una observación muy clara que se puede extraer de estas gráficas es la clara diferencia que aparece en las velocidades de giro del motor para las dos marchas distintas.

Se puede ver que en la marcha corta, se alcanzan velocidades de giro mayores que en la marcha larga. En marcha corta la salida del motor se conecta a una reductora que disminuye la velocidad (y aumenta el par) en rueda con respecto a la del motor. Por otro lado, al conducir en marcha larga, la salida del motor se conecta directamente con las ruedas sin ningún tipo de reductora. En esta prueba como en las demás, se ha intentado realizar todos los ensayos con la misma velocidad del vehículo, de ahí que en los ensayos con marcha corta el motor trabaje más revolucionado. Así, se tienen velocidades de giro que llegan al límite impuesto (4000 rpm) en el caso de la marcha corta, mientras que en la directa no sobrepasan las 2000 rpm.

Otra observación importante sobre las gráficas se encuentra en el control de velocidad. Se puede ver que con esta configuración, en los dos ensayos, las velocidades máximas de giro que se alcanzan van aumentando conforme aumenta el porcentaje de par disponible. Esto es debido a que con menor porcentaje de par máximo disponible, al motor le cuesta más tiempo alcanzar la velocidad demandada por el conductor, y al ser el circuito relativamente pequeño, ésta no tiene tiempo para llegar a valores altos. Lo podemos ver más claro en la marcha directa:

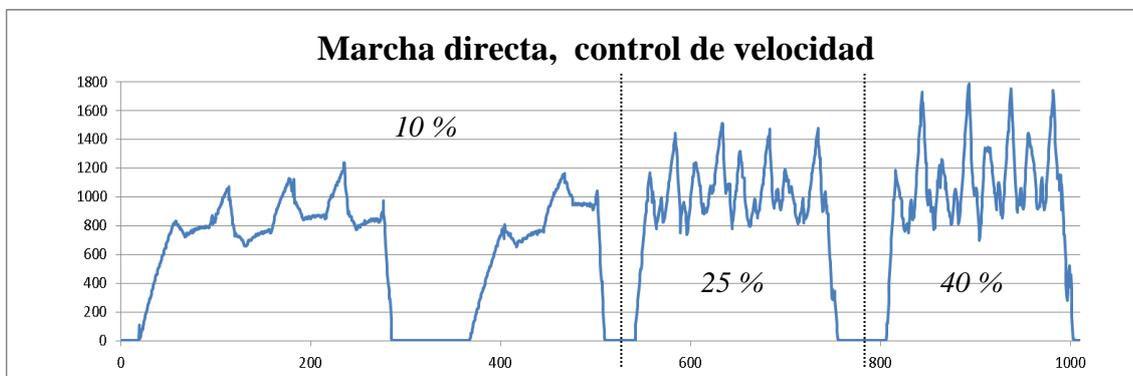


Figura 23. Velocidad del motor (rpm) frente al tiempo (s) en el ensayo de marcha directa y control de velocidad

Aquí se ve que para el 10% de par se alcanzan velocidades máximas entre las 1000 y las 1200 rpm. Para el 25% de par las velocidades máximas son del orden de 1400-1500 rpm y para el 40% de par se llegan a las 1800 rpm.

Si nos centramos en el control de par, podemos observar que, en cuanto a las velocidades, el valor de la señal del potenciómetro no afecta en gran medida al perfil de velocidad, es decir, para las tres señales distintas se ve que las velocidades en cada ensayo son similares. Sin embargo, que en los ensayos en control de par se alcancen las mismas velocidades sin importar la señal del potenciómetro, no quiere decir que

esta señal no influya en nada. Como se verá más adelante, aunque se alcancen las mismas velocidades, el modo de conducción varía con la señal del potenciómetro.

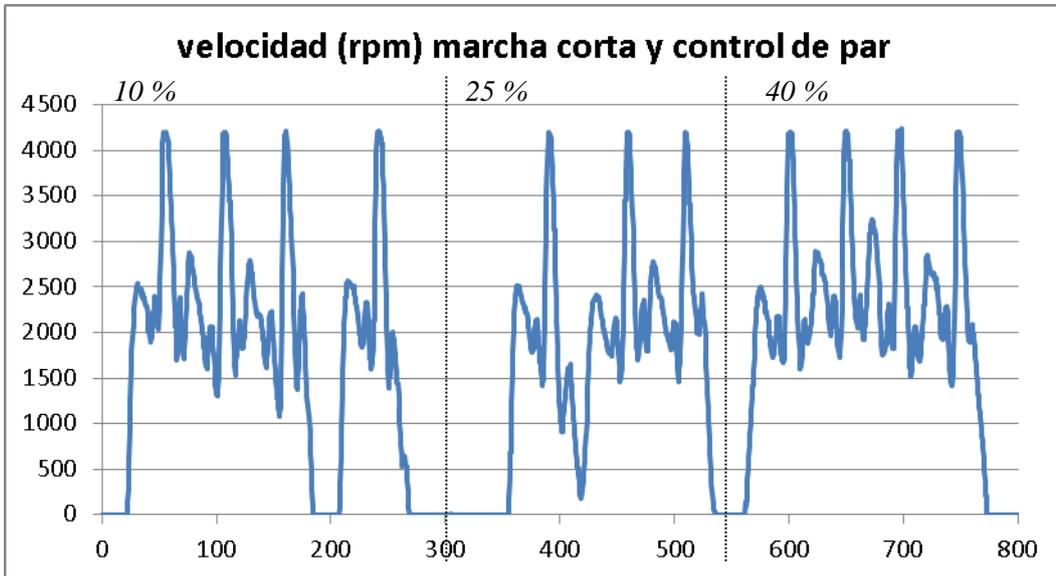


Figura 24. Velocidad del motor (rpm) frente al tiempo (s) en el ensayo en marcha corta y control de velocidad

La figura anterior corresponde al ensayo en marcha corta y control de par y se ve de forma clara como los perfiles de velocidad para los tres valores del potenciómetro son muy similares. En los tres casos se alcanzan velocidades máximas de unas 4200 rpm.

Análisis de las gráficas de par motor

A continuación pasamos al estudio de las gráficas de par. De la misma manera que con la velocidad, el controlador toma los datos del par motor en cada instante y los ordena en una tabla, a partir de la cual obtenemos las siguientes gráficas:

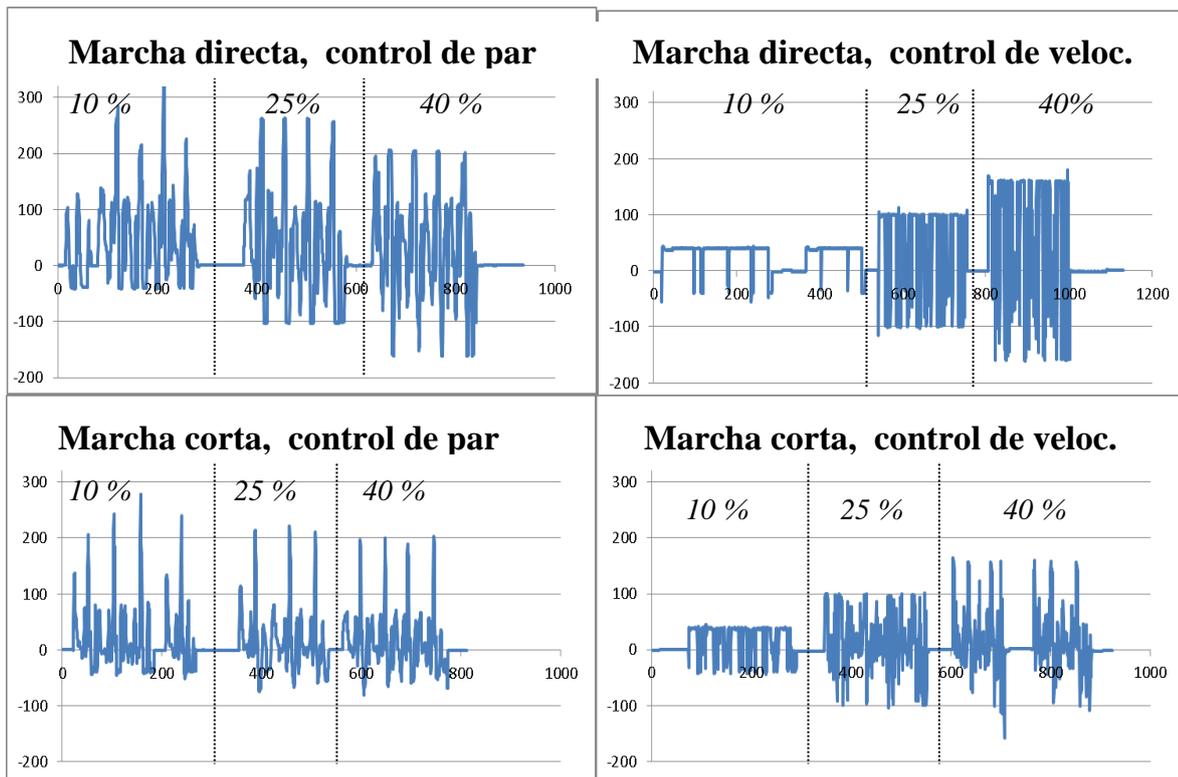


Figura 25. Par motor (Nm) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro

Analizando el par motor es cuando más claramente se ve la influencia del valor de la señal del potenciómetro en los ensayos.

En control de par se ve que al aumentar el valor de la señal, el par máximo de aceleración (positivo) va disminuyendo y el par máximo de deceleración (negativo) va aumentando. Esto se ve muy bien en la gráfica de la marcha larga:

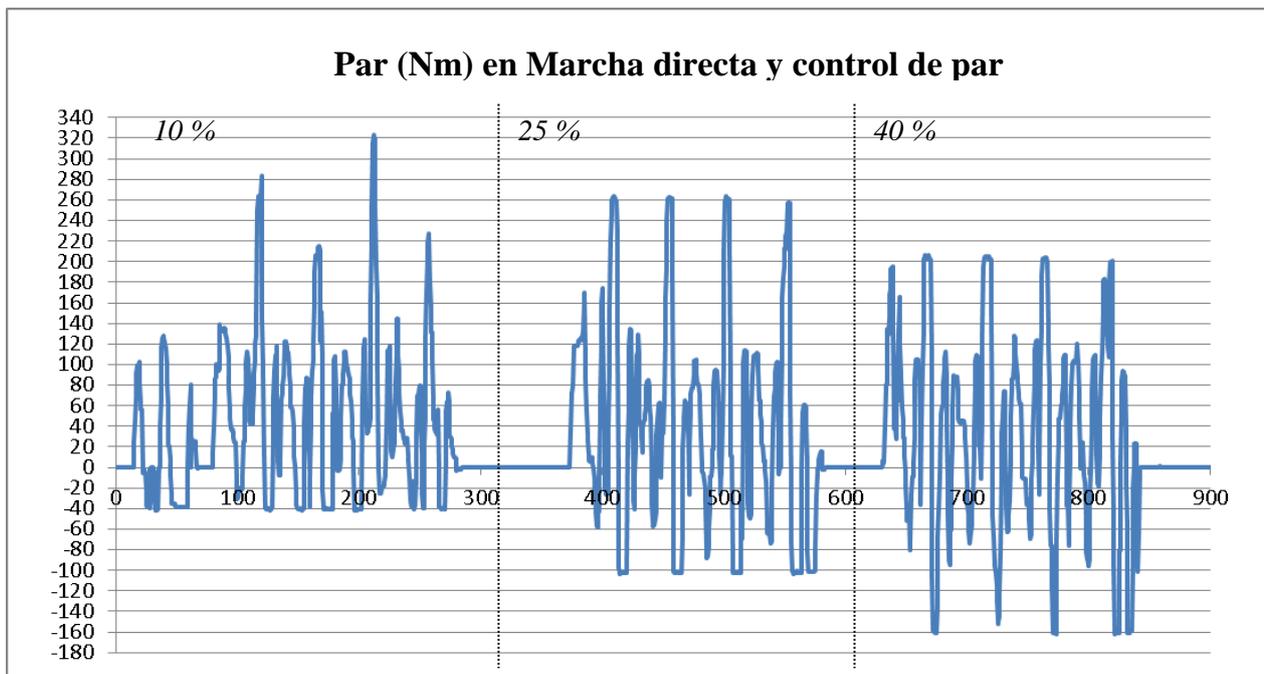


Figura 26. Par motor (Nm) frente al tiempo (s) en el ensayo de marcha directa y control de par

Con un 10% de par de frenado se tienen pares máximos positivos de 320 Nm y pares máximos negativos de -40 Nm. Con el 25% de señal del potenciómetro nos encontramos que el par oscila entre 260 Nm y -100 y con el 40% de señal la oscilación va desde 200 Nm a -160 Nm.

Se puede observar que en los tres casos la amplitud del par es la misma, 360 Nm, y que lo que cambia son los valores máximos y mínimos entre los que esta amplitud se desarrolla.

Esto, como se ha explicado en el apartado de modos de control, es porque en control de par la señal del potenciómetro es una señal de par negativo opuesto a la señal de par que proviene del acelerador. La señal del potenciómetro se mantiene fija durante todo el ensayo y se resta a la señal que proviene del acelerador en cada momento siendo el par en el motor en cada instante el resultado de esta resta.

Con un 10% de par de frenado o deceleración, llevando el pedal del acelerador al final de su recorrido se tiene una capacidad de par de aceleración del 90% del par máximo por lo que se alcanzan los valores más altos del ensayo (320 Nm). En cambio los momentos en los que no se acciona el acelerador, se tiene un par de deceleración pequeño (-40 Nm), correspondiente a ese 10 % introducido por el potenciómetro. Con un 25 %, el par máximo de aceleración que se alcanza con el acelerador en el final de su recorrido es menor que el anterior, y el par máximo de frenado al soltar el acelerador es mayor. Y con el 40% sucede lo mismo.

Teóricamente, la amplitud de par debería ser de 400 Nm que es el par máximo teórico del motor y no 360 Nm. Esta diferencia puede deberse a las resistencias pasivas del vehículo, rozamientos...

Estos cambios producidos por la señal del potenciómetro en el par del motor suponen lógicamente cambios también en el modo de conducción del vehículo como se verá a continuación:

Como se ha visto anteriormente en las gráficas de velocidad, en los ensayos con control de par se llegaron a alcanzar las mismas velocidades sin importar el valor de la señal del potenciómetro. Sin embargo, la forma de conducir no era la misma en cada uno de los tres casos. Durante la conducción se pudo notar claramente que conforme se aumentaba el valor del potenciómetro había que aumentar el recorrido del pedal de aceleración para que el vehículo iniciara la marcha. Con una señal de 10%, casi al comenzar a accionar el acelerador se iniciaba la marcha en el vehículo. En cambio, con el 40% de señal, hasta que no se llevaba el pedal hasta más o menos la mitad de su recorrido, el vehículo no iniciaba la marcha. Lógicamente pasaba lo contrario a la hora de liberar el pedal cuando lo que se quería era disminuir la velocidad del vehículo. En este caso, cuando se tenía el acelerador accionado y se deseaba reducir la velocidad, había que liberar el pedal en menor medida cuanto mayor era la señal del potenciómetro.

Otro hecho que viene relacionado con los anteriores, era que cuanto mayor era la señal de del potenciómetro al accionar completamente el acelerador, menor era la capacidad de aceleración del coche. En el caso contrario, cuando se liberaba completamente el acelerador estando en marcha, el vehículo frenaba antes o avanzaba menos distancia conforme aumentaba la señal del potenciómetro, es decir, el vehículo tenía más freno motor al aumentar la señal.

A continuación se muestran tres gráficas que ilustran perfectamente el comportamiento descrito anteriormente:

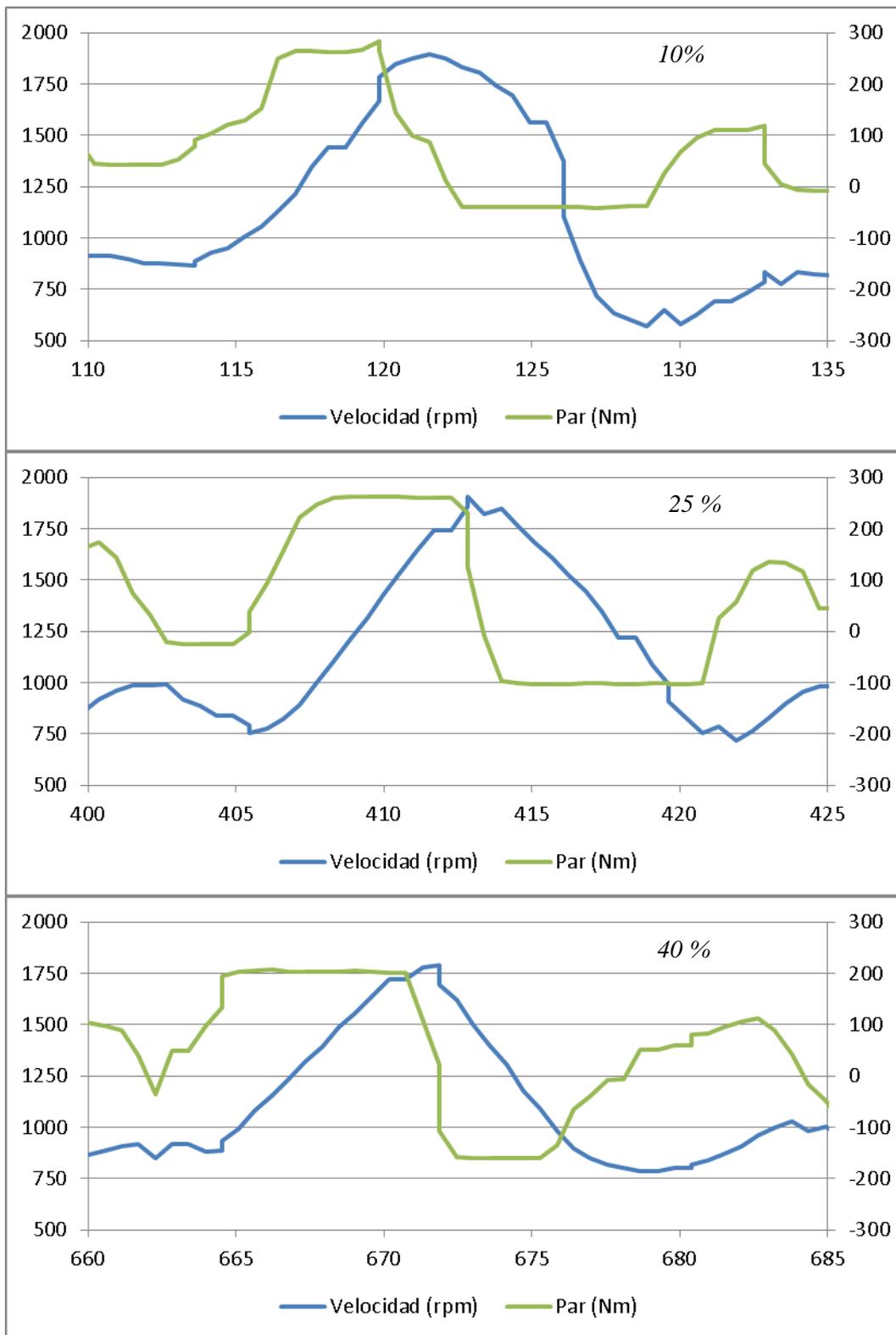


Figura 27. Velocidad del motor (rpm) y Par motor (Nm) frente al tiempo (s) en el tramo de máxima aceleración del circuito para el ensayo en marcha directa control de par, y para las tres señales del potenciómetro

Las tres gráficas anteriores corresponden al ensayo de marcha larga y control de par y muestran de forma detallada el par y la velocidad del motor en el tramo de la subida larga del circuito donde se comienza acelerando al máximo que nos permita el vehículo, para terminar de acelerar completamente a la mitad de la recta

aproximadamente. Cada gráfica corresponde con una señal distinta del potenciómetro y en ellas la velocidad se ordena en el eje de la derecha en rpm y el par en el eje de la izquierda en Nm.

Lo más interesante de las gráficas se encuentra en las curvas de par. Como nos encontramos en control de par, con el acelerador el conductor solicita en todo el momento el par deseado. De esta manera hay que fijarse en los tramos horizontales o llanos de la curva que coinciden con la subida y la bajada de la velocidad. El tramo llano de la curva de par que coincide con la subida en la curva de velocidad corresponde al tiempo que se mantiene el acelerador en el final de su recorrido. Por otro lado, el tramo llano que coincide con la bajada de la velocidad corresponde al tiempo en el que se libera completamente el pedal de aceleración.

Fijándose en estos tramos, lo primero que se observa es lo mismo que ya se ha visto anteriormente. Con el aumento de la señal del potenciómetro, el par máximo de aceleración o positivo disminuye y el par máximo de frenado o negativo aumenta.

Lo nuevo que nos ofrecen estas gráficas está en el tiempo que duran los periodos de aceleración máxima y frenado máximo. Al aumentar la señal del potenciómetro, los periodos de aplicación de la máxima aceleración aumentan y los periodos de no aplicación de aceleración disminuyen.

Y es que al aumentar la señal del potenciómetro se disponía de menor par positivo máximo y por tanto menos capacidad de aceleración por lo que para conseguir la misma velocidad había que mantener el acelerador accionado más tiempo. Lo contrario pasaba en el frenado, al aumentar la señal se disponía de mayor par negativo y mayor capacidad de frenado al dejar de accionar el acelerador, por lo que había que mantener el acelerador libre menos tiempo para frenar, el vehículo retenía más pero aceleraba menos.

En control de velocidad el comportamiento es diferente al control de par. Tanto el par máximo de aceleración como el de deceleración van aumentando conforme aumenta la señal del potenciómetro, a diferencia que en control de par donde el par de aceleración disminuía y el de deceleración aumentaba.

En este caso el comportamiento del par es así porque ahora la señal del potenciómetro nos da el valor más alto de par alcanzable por el motor, tanto para acelerar como para frenar. Este par más alto corresponde a un porcentaje del par máximo de motor. Así con la señal del 10 % el par más alto que se puede alcanzar en valor absoluto es el 10% de 400 Nm (par máximo), es decir, 40 Nm y así sucesivamente.

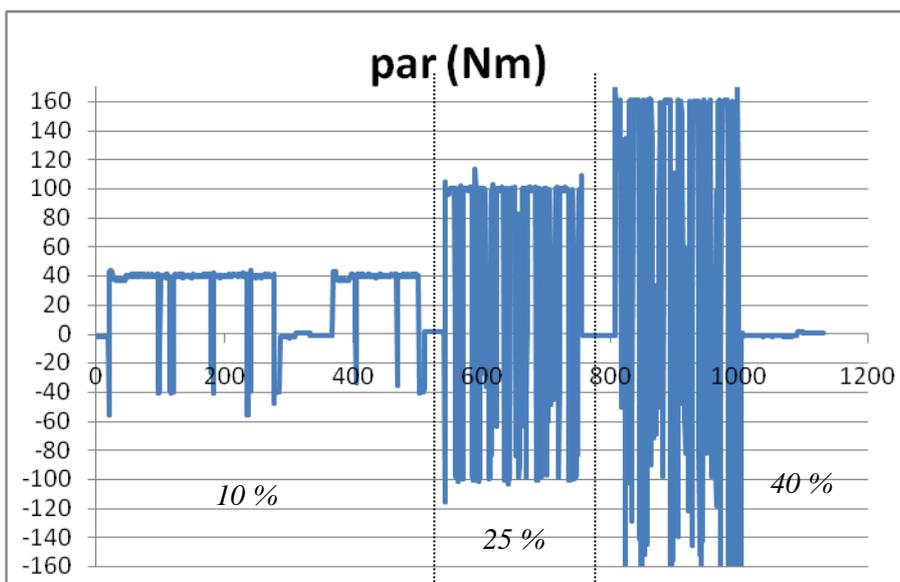


Figura 28. Evolución del par motor (rpm) frente al tiempo (s) en control de velocidad para distintos valores de la señal de freno

En control de velocidad, el recorrido del pedal de aceleración corresponde a la velocidad demandada. Al variar la posición del pedal se le solicita al motor que cambie la velocidad de un valor determinado a otro (en control de par lo que se solicitaba era el cambio del valor del par).

Este modo de control, tiene varios problemas para la realización de este tipo de ensayos en los que se producen grandes cambios de velocidad debido a la poca longitud del circuito.

El primer problema aparece cuando tenemos valores altos de la señal del potenciómetro (25% o 40%). En este caso, el motor dispone de gran cantidad de par para satisfacer rápidamente los cambios de velocidad que se soliciten con el acelerador. Con estas configuraciones se notó que al variar la posición del pedal de manera poco gradual se le estaban solicitando al vehículo grandes cambios de

velocidad en poco tiempo. Con los altos valores de par de aceleración o frenado que se permitían con la señal del potenciómetro, el motor podía lograr estos cambios de velocidad muy rápidamente, produciéndose así aceleraciones y frenados repentinos.

A continuación se muestra una gráfica correspondiente al ensayo con marcha directa y control de velocidad, en el tramo de 40% de señal del potenciómetro que ilustra perfectamente lo explicado antes. En ella vienen representados la velocidad (en rojo) y el par motor (en azul). La velocidad se ordena en el eje de la izquierda o primario, mientras que el par se ordena en el eje de la derecha o secundario.

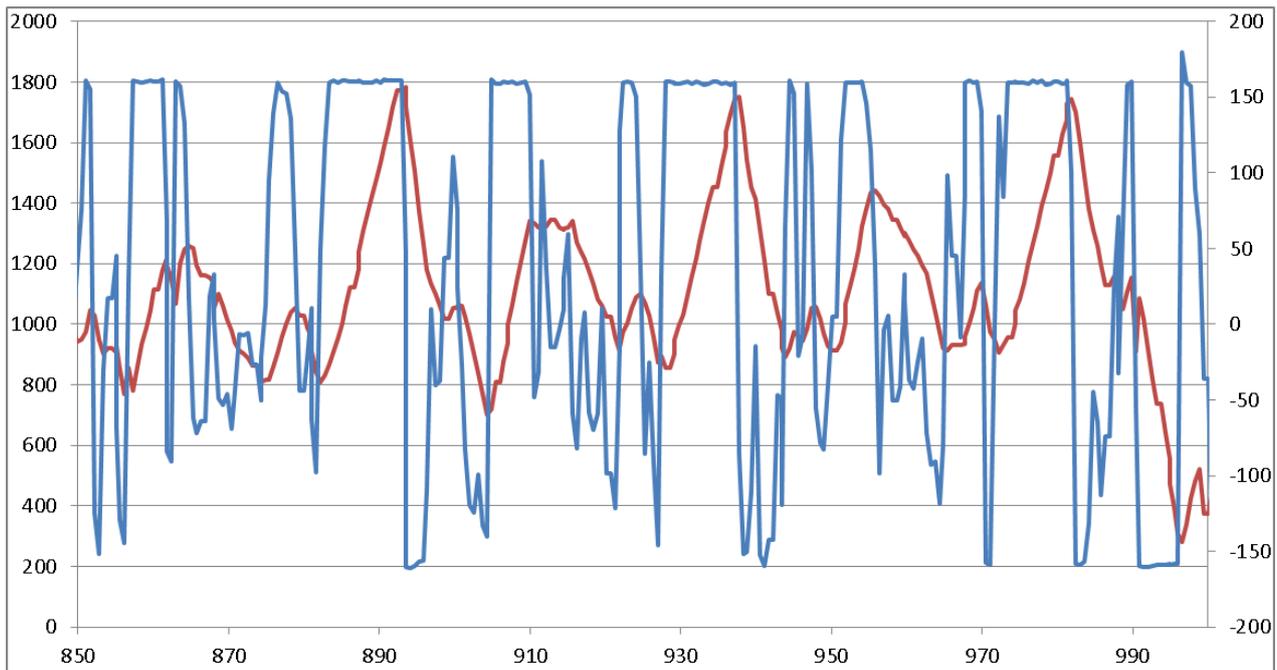


Figura 29. Evolución de la velocidad del motor (rpm) y par motor (Nm) frente al tiempo (s) en control de velocidad con un 40 % de la señal del potenciómetro

Se puede ver perfectamente que ante cambios grandes de velocidad, tanto positivos como negativos, el motor aplica el par máximo del que dispone (160 Nm) para lograr los cambios de velocidad en el menor tiempo posible. Al aplicar todo el par disponible tan rápidamente, el vehículo sufre aceleraciones o frenados bruscos que dificultan su control y suponen un gran problema desde la perspectiva del confort.

El segundo problema aparece cuando la señal del potenciómetro está en el 10%. En este caso, el motor sólo dispone del 10% del par máximo para mover el vehículo y satisfacer las demandas de velocidad del usuario.

En el ensayo de marcha larga con un 10 % de señal, se pudo comprobar que la fuerza de tracción que tenía el vehículo era insuficiente para llevar una conducción satisfactoria, por lo menos a bajas-medias velocidades que son las que se alcanzan en estos ensayos.

Si se intentaba poner en marcha el vehículo desde parado en una ligera pendiente ascendente el motor no conseguía poner en marcha el vehículo. Por otro lado, si la puesta en marcha se realizaba en llano o ligeramente cuesta abajo la aceleración del vehículo era demasiado baja para satisfacer las demandas de una conducción convencional. Al vehículo le costaba alcanzar un régimen de marcha aceptable en torno a una vuelta entera al circuito. Del mismo modo si se liberaba el acelerador cuando se llevaba una velocidad media, el coche tardaba mucho tiempo en comenzar a frenar, por lo que había que utilizar muy a menudo el freno mecánico instalado en el vehículo. En resumen, el vehículo tardaba mucho tiempo en satisfacer las demandas del usuario.

Con valores tan bajos de par permitido en el motor, el cambio de velocidades se realizaba muy lentamente como se puede ver en la gráfica siguiente:

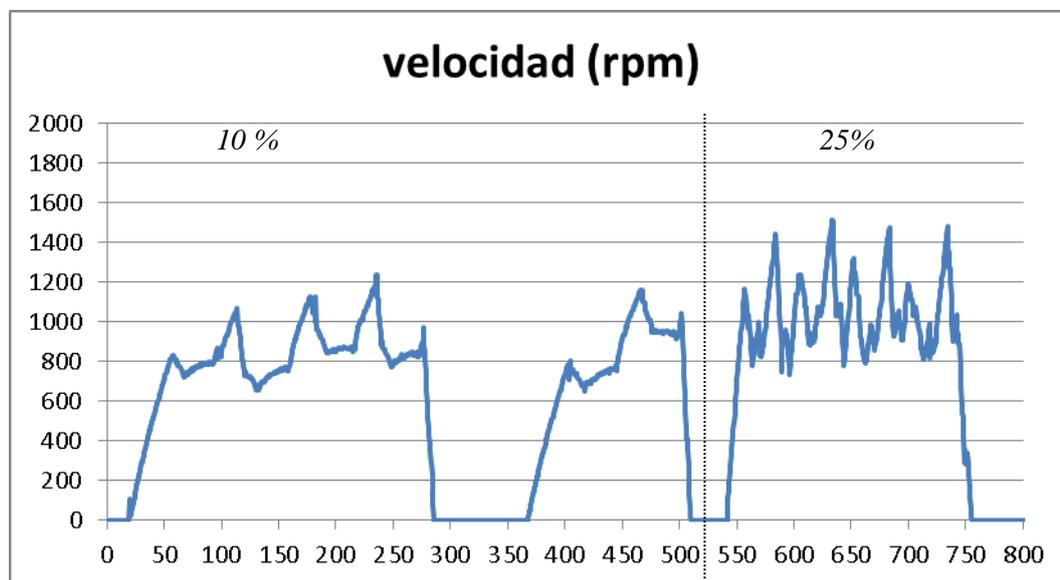


Figura 30. Velocidad del motor (rpm) frente al tiempo (s) en el ensayo de marcha larga y control de velocidad, con valores de la señal de freno del 10% y 25%

En esta gráfica se ven los ensayos en marcha larga y control de velocidad con 10 % y 25% de señal del potenciómetro.

No sólo se ve que las velocidades máximas que se alcanzan son menores con el 10% que con el 25%, como se ha dicho antes. También se puede ver, sin tener en cuenta el tiempo que duró la parada, que se tardó mucho más tiempo en realizar el ensayo con el 10%. En este ensayo se dieron 3 vueltas que costaron aproximadamente 500seg-100seg (correspondientes a la parada)= 400 segundos. Con el 25 % de señal, se tardó aproximadamente 150 segundos en dar 3 vueltas.

Así pues, en control de velocidad con valores bajos del potenciómetro era imposible llevar a cabo una conducción satisfactoria por la poca fuerza de tracción que tenía el vehículo. Y por otro lado, con valores más altos del potenciómetro aparecían

problemas de aceleraciones y frenados súbitos muy a menudo que dificultaban el control del vehículo y suponían una gran incomodidad para los ocupantes del vehículo.

Análisis de las gráficas de aceleración

Ahora se muestran las gráficas de aceleración de motor en rpm/seg:

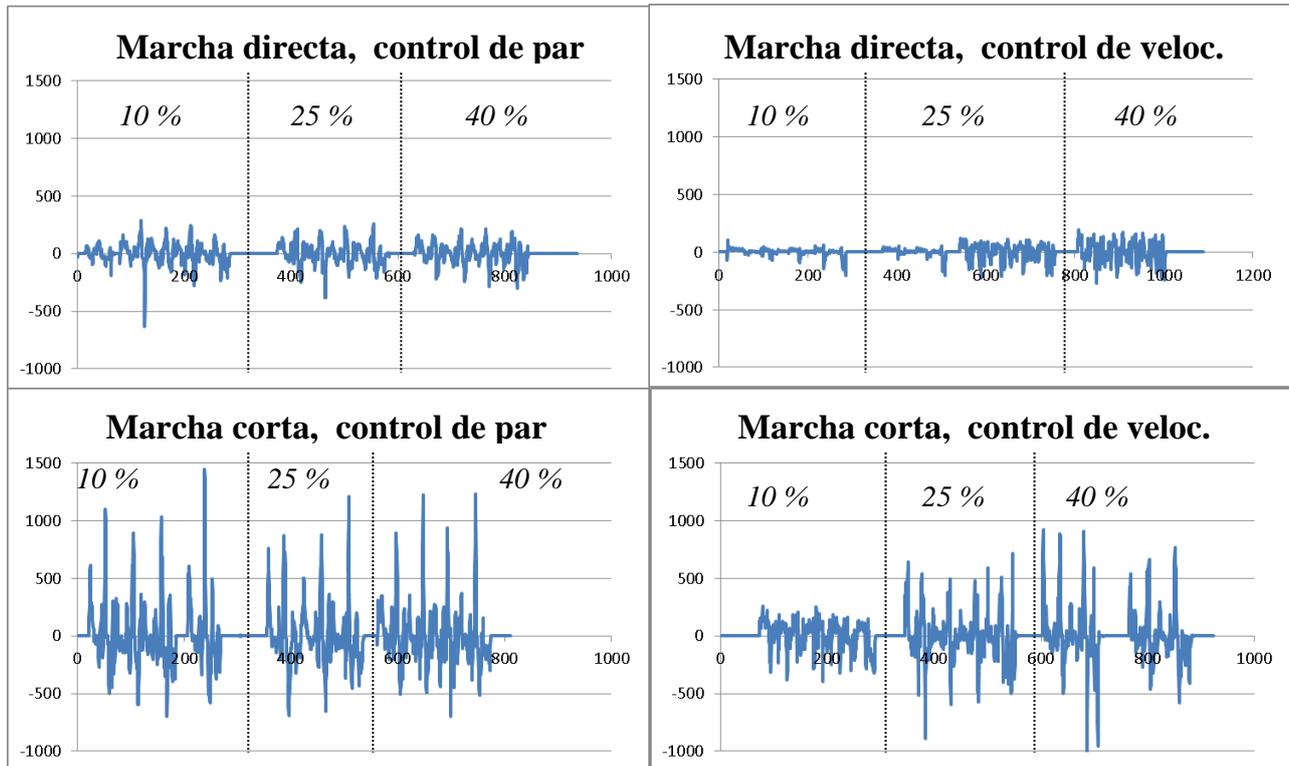


Figura 31. Aceleración (rpm/s) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro

En estas gráficas lo más destacable es la gran diferencia de aceleración, tanto positiva como negativa, que se consigue con marcha directa y corta. Con marcha corta se consiguen aceleraciones mucho más altas que con la marcha directa. En control de par, tanto en marcha corta como en marcha larga, se conseguían aceleraciones similares en los tres ciclos. Se puede deducir que incluso con un 40% de señal del potenciómetro el coche no pierde capacidad de aceleración en control de par. No pasa lo mismo, como se ha dicho anteriormente, con la deceleración. En este caso con un 40% de señal del potenciómetro el coche al liberar el pedal de aceleración recorría menos metros que con 25% y 10%.

En control de velocidad, cuando el potenciómetro daba un 10% de par, al coche le costaba acelerar, teniendo incluso problemas para mover el vehículo en el caso de la marcha directa. En este caso, el vehículo necesitaba realizar una vuelta al circuito para llegar alcanzar una velocidad razonable y al accionar el acelerador al máximo durante

la subida no se conseguía alcanzar aceleraciones aceptables para la conducción convencional de un vehículo. Con el 25% y el 40%, esto ya no sucedía. En estos casos el motor ya puede alcanzar unos valores de par suficientes para satisfacer las demandas de aceleración del conductor.

Análisis de las gráficas de temperatura

Durante la conducción del vehículo, el motor y el controlador sufren un calentamiento. Alcanzar temperaturas muy altas en el motor y el controlador puede suponer un gran peligro para la vida de éstos. Con el sistema de refrigeración que hay instalado actualmente en el vehículo se consigue aminorar los calentamientos aunque no con la eficacia que se desearía.

En cuanto a las temperaturas alcanzadas durante los ciclos, es importante centrarse en las que alcanzan los IGBTs en las gráficas que se muestran a continuación, ya que son los elementos de potencia del controlador y constituyen la parte más crítica de éste en cuanto a temperaturas se refiere.

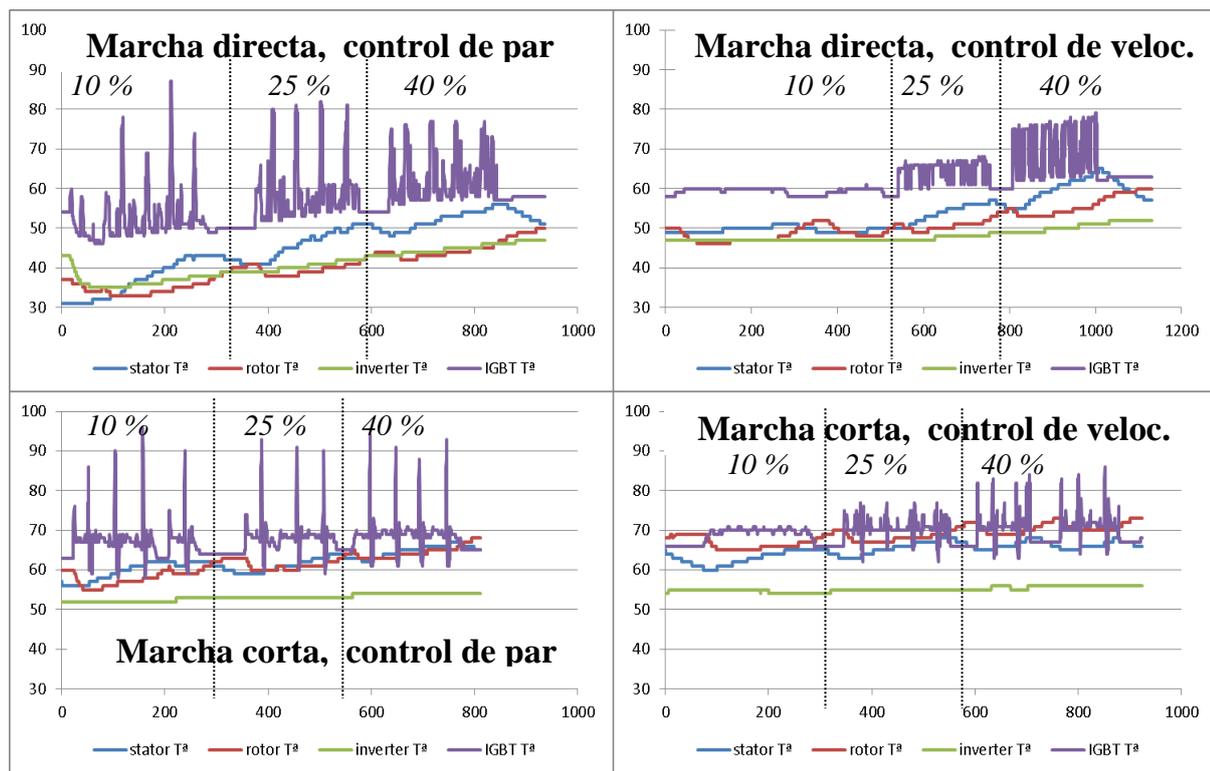


Figura 32. Temperatura del sistema motor-controlador (°C) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro

Lo primero que nos muestra esta imagen es como la temperatura media de los IGBTs sigue un comportamiento lógico y va aumentando conforme se van realizando los ensayos. En el primer ensayo se comienza con los IGBTs a unos 55°C, mientras que en

el siguiente ensayo empieza cerca de los 60°C y se sigue con esta tendencia ascendente para los siguientes.

En control de par se puede ver que se producen subidas de temperatura de mayor amplitud que en control de velocidad. Esto se explica remontándonos a las gráficas de par. Ahí se puede ver que se alcanzaban mayores pares para control de par que para control velocidad, es decir, en los IGBTs circula una mayor corriente y se producen mayores subidas de temperatura.

La temperatura en los IGBTs, por tanto, está íntimamente ligada al par, hecho que se demuestra a continuación:

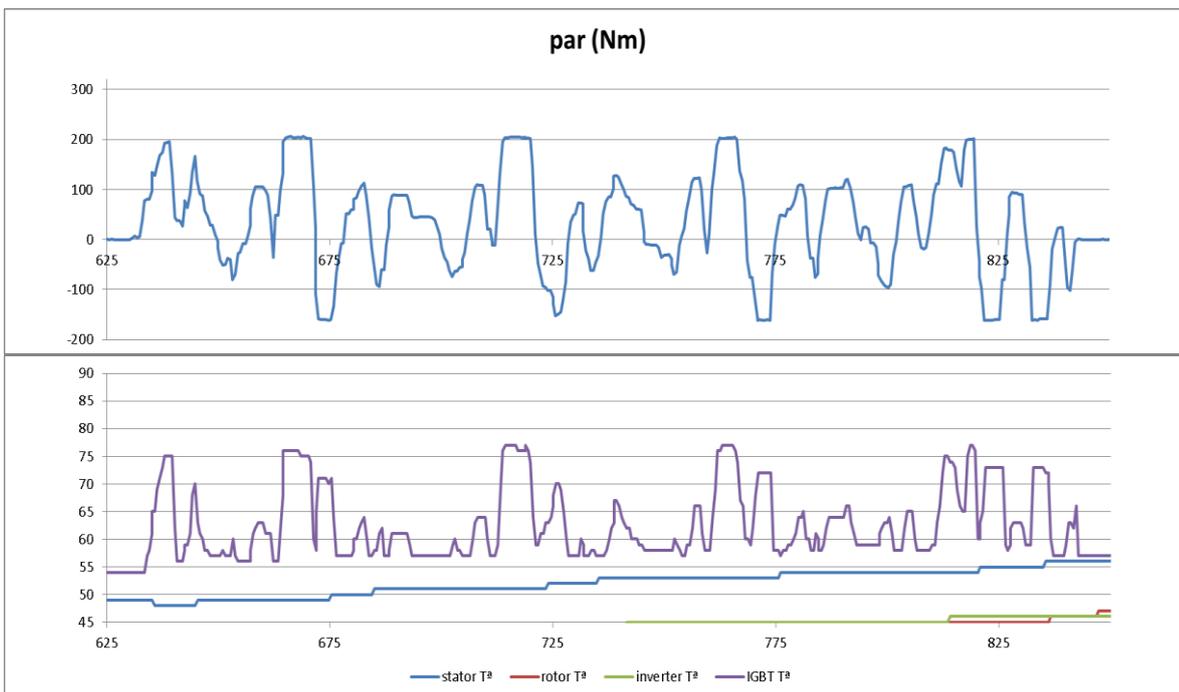


Figura 33. Evolución del Par motor en Nm (arriba) y la temperatura de los IGBTs en °C (abajo) frente al tiempo en segundos, en el ensayo de marcha larga y control de par con un 25% de la señal del potenciómetro

En estas tablas se muestra el segundo ciclo (25 % de señal del potenciómetro) del ensayo con control de par y marcha larga en vista ampliada. Se ve que aumentos en los valores de par en cada instante se corresponden con aumentos en la temperatura de los IGBT. Esta subida de temperatura se da tanto en pares de aceleración (positivos) como en pares de deceleración (negativos).

Si profundizamos en el control de par podemos notar que conforme aumentamos el porcentaje de la señal del potenciómetro, la amplitud en las temperaturas va descendiendo. Es decir, se producen picos de calentamiento menores conforme aumenta la señal

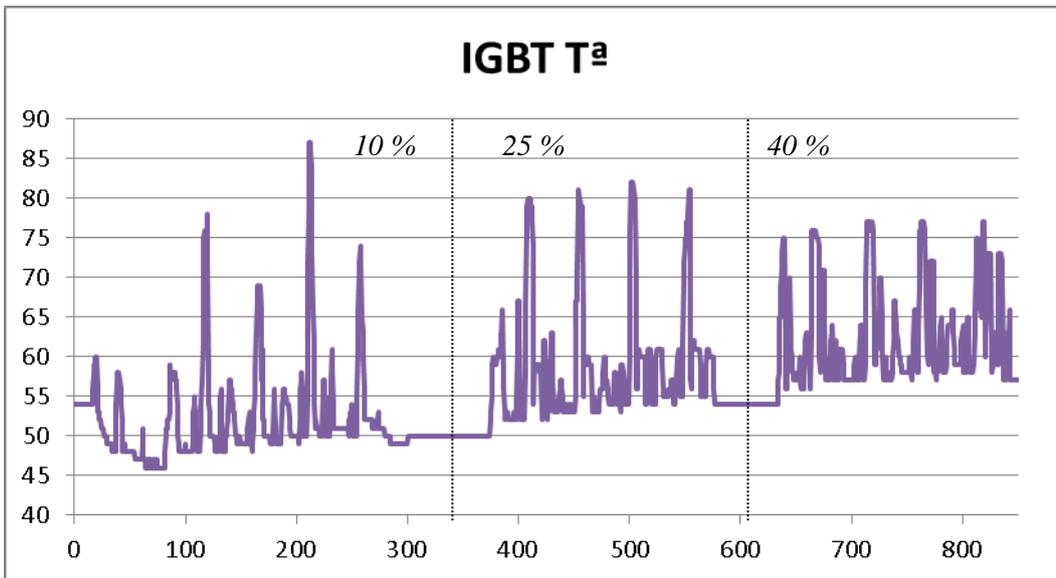


Figura 34. Temperatura de los IGBTs (°C) frente al tiempo (s) en el ensayo de marcha directa y control de par

Para estudiar más a fondo esto, a continuación se exponen tres gráficos correspondientes al mismo ensayo que la gráfica anterior, cada una con las diferentes señales del potenciómetro.

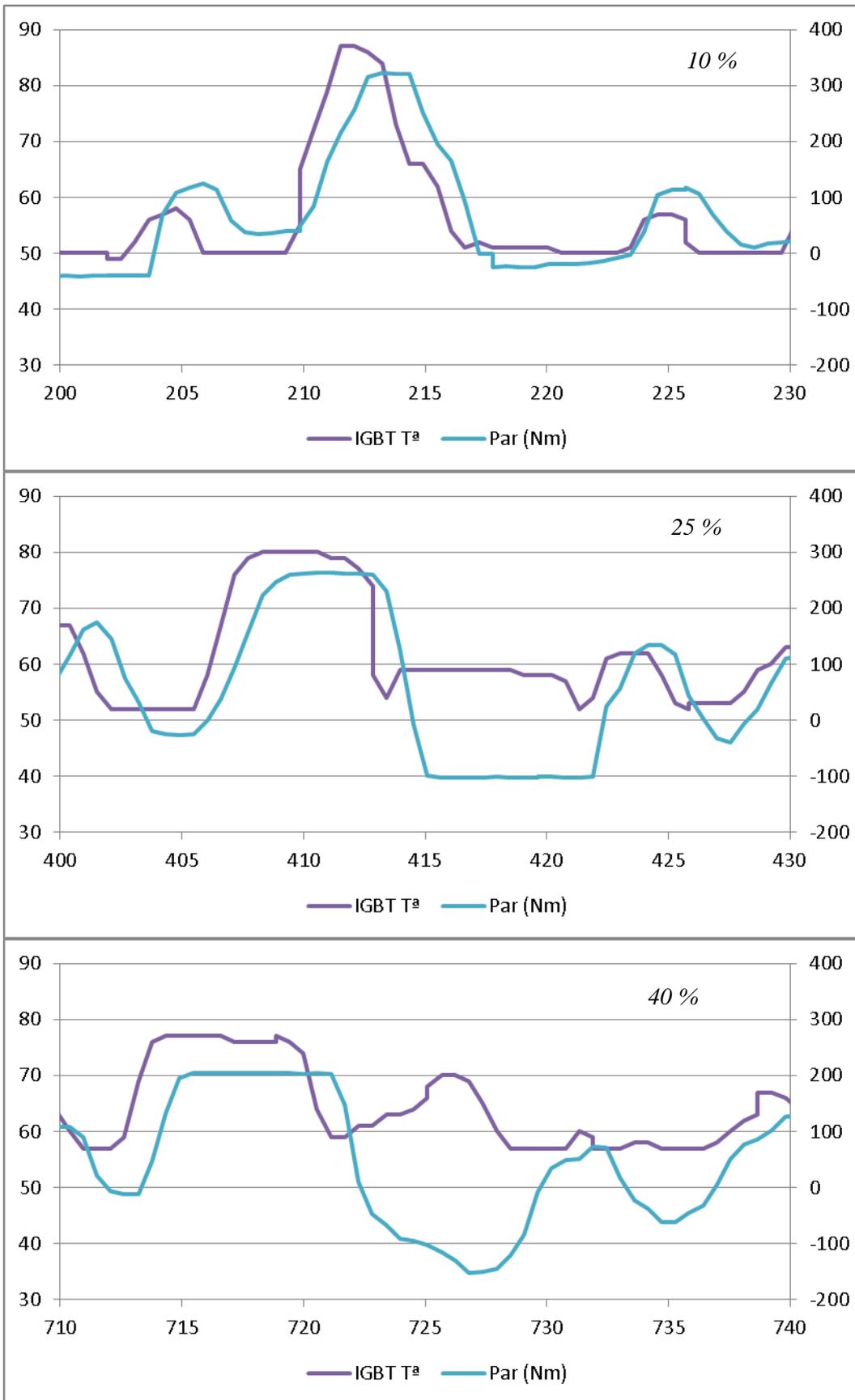


Figura 35. Temperatura de los IGBTs (°C) y par motor (Nm) frente al tiempo (s) en el tramo de máxima aceleración del circuito para el ensayo en marcha directa y control de par, y para las tres señales del potenciómetro

De estas gráficas se obtiene la conclusión de que los aumentos de temperatura en los IGBTs van ligados con los aumentos en los valores del par y no con el tiempo que duran estos aumentos, es decir, que parece ser mejor de cara a no alcanzar temperaturas peligrosas fijar valores altos de la señal del potenciómetro en el que se alcancen menores pares aunque sea durante más tiempo.

En control de velocidad pasa lo contrario, conforme aumenta el porcentaje de señal del potenciómetro se van alcanzando mayores temperaturas ya que también se alcanzan mayores pares.

Así pues, se concluye que al aumentar el par en el motor aumenta también la temperatura en los IGBT.

Análisis de las gráficas de energía

Por último, para acabar con el análisis de los cuatro ensayos se muestran las gráficas de energía consumida durante cada uno de éstos. En ellas aparecen 4 tipos distintos de energía. Los kWh mec se refieren a la energía mecánica consumida (positiva) o absorbida (negativa) por el vehículo. Por su parte los kWh elec nos muestran la energía eléctrica consumida o absorbida por el motor a lo largo del ensayo. Por último aparecen los kWh elec + y los kWh elec – que se refieren respectivamente a los kWh eléctricos cedidos por las baterías al motor y a los kWh eléctricos recuperados por las baterías mediante el frenado regenerativo del vehículo. Así pues la suma de estas dos últimas energías en todo momento nos da como resultado los kWh elec: $(\text{kWhelec}+) + (\text{kWhelec}-) = (\text{kWhelec})$

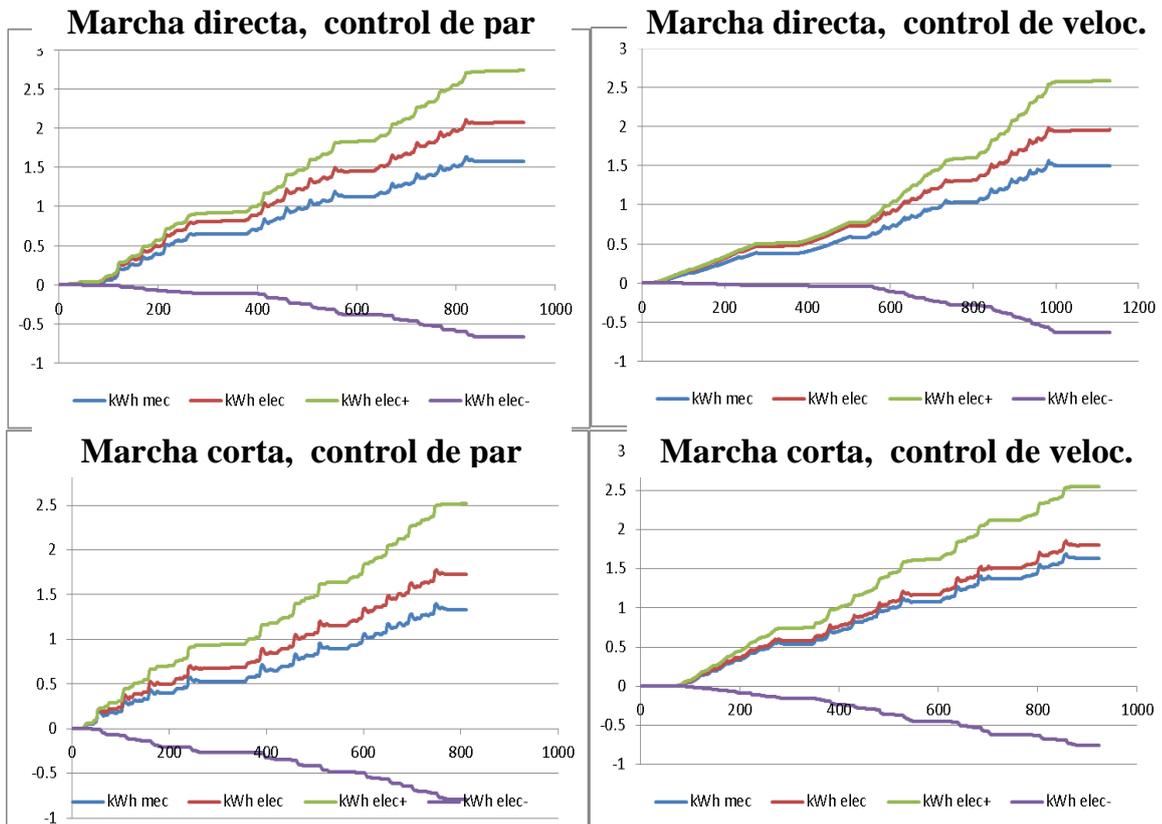


Figura 36. Energías (kWh) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro

Las cuatro gráficas son muy similares y existen pocas diferencias entre ellas. Una observación destacable aparece en el último ensayo (control de velocidad y marcha corta), donde la diferencia entre la energía mecánica y la energía eléctrica es menor. Parece ser que esta configuración es la más eficiente energéticamente hablando ya que es en la que mayor proporción de energía eléctrica consumida por el motor es transformada en energía mecánica.

RONDA DE ENSAYOS NÚMERO 2

Durante la segunda ronda de ensayos se analizó la influencia que tenía la aplicación de un valor límite de aceleración en el motor en los dos modos de control empleados (par y velocidad) y en las dos marchas (larga o directa y corta).

Cuando se activa el límite de aceleración a través de la configuración del sistema, el controlador trata de limitar la aceleración máxima del motor eléctrico al nivel definido por el usuario.

El objetivo de aplicar un límite de aceleración, era mejorar la conducción, principalmente en control de velocidad. En los ensayos anteriores con control de velocidad y valor alto de la señal del potenciómetro, se producían cambios de velocidad bruscos (aceleraciones y frenados grandes). Por ello, se decidió realizar ensayos similares, aplicando un límite de aceleración al motor

Se realizaron nueve vueltas al circuito con cada una de las 4 combinaciones de control y marcha. El límite de aceleración del motor que se aplicó fue 300 rpm/s.

Dentro de estas 9 vueltas de cada uno de los ensayos, se realizaron 3 vueltas con distintos valores de la señal del potenciómetro de manera que los ensayos fueron los siguientes:

Ensayo 1: Control de par y marcha corta

- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 10% y límite de aceleración de 300 rpm/s
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 25% y límite de aceleración de 300 rpm/s
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 40% y límite de aceleración de 300 rpm/s

Ensayo 2: Control de velocidad y marcha corta

- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 10% y límite de aceleración de 300 rpm/s
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 25% y límite de aceleración de 300 rpm/s (en realidad fueron 2)
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 40% y límite de aceleración de 300 rpm/s

Ensayo 3: Control de velocidad y marcha directa

- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 10% y límite de aceleración de 300 rpm/s
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 25% y límite de aceleración de 300 rpm/s
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 40% y límite de aceleración de 300 rpm/s

Ensayo 4: Control de par y marcha directa

- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 10% y límite de aceleración de 300 rpm/s
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 25% y límite de aceleración de 300 rpm/s
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 40% y límite de aceleración de 300 rpm/s

Si recordamos, al aplicar el límite de aceleración, éste funciona de manera distinta según el modo de control que se utilice:

- En control de velocidad, ante la solicitud de un cambio de velocidad por parte del conductor, el controlador ordena al motor que alcance ese cambio de velocidad con una aceleración nunca mayor al valor del límite deseado por el usuario.

Por ejemplo, si se fija el límite de aceleración en 100 rpm / seg y se solicita un cambio de velocidad que va de 0 rpm a 1200 rpm, el controlador impulsará al motor a esa velocidad en un tiempo nunca menor de $1200 \text{ rpm} / 100 \text{ rpm/seg} = 12$ segundos.

Hay que tener en cuenta que el motor alcanzará las 1200 rpm en 12 segundos, si el par disponible del motor es suficiente para alcanzar esa aceleración deseada. Si no se dispone de par suficiente en el motor, éste naturalmente no alcanzará la velocidad deseada en ese tiempo, sino que lo hará en un periodo de tiempo mayor.

- En control de par, cuando se activa el límite de aceleración el controlador disminuye el par disponible en el motor para bajar el valor de la aceleración cuando ésta supera el límite fijado.

Por ejemplo, si se define un límite de aceleración de 150 rpm / seg y el usuario emite, a través del acelerador, una solicitud de aumento de par, entonces el controlador UQM permitirá que se desarrolle plenamente ese par mientras no se alcancen aceleraciones con el valor del límite.

Cuando se supere el límite de aceleración, el controlador comenzará a retirar par del motor hasta alcanzar los 150 rpm/seg y en ese momento mantendrá ese par para mantener la aceleración.

Estos límites de aceleración se refieren tanto a aceleraciones positivas o aumentos de velocidad, como a aceleraciones negativas o disminuciones de velocidad.

Durante los ensayos con el límite de aceleración de 300 rpm/s no se notó ninguna diferencia en los ensayos de control de par. Los datos recogidos por el programa así como las gráficas de par, velocidad... fueron muy similares a los ensayos sin límite de aceleración y no se exponen a continuación. En cuanto a las sensaciones de conducción, tampoco se percibió ninguna diferencia significativa con los ensayos anteriores.

En cambio, en control de velocidad sí que se percibieron diferencias de conducción. En primer lugar se consiguió lo que se buscaba. Introduciendo el límite de aceleración se consiguió eliminar o atenuar las aceleraciones y frenados bruscos que se producían en los ensayos anteriores.

Sin embargo apareció un nuevo problema. El límite de aceleración actúa tanto para limitar aceleraciones positivas como para limitar aceleraciones negativas o de frenado del motor. Se observó que cuando se liberaba el acelerador para disminuir la velocidad el vehículo no respondía a la solicitud de forma inmediata. El coche seguía avanzando a la misma velocidad durante unos pocos segundos desde que se soltaba el acelerador hasta que comenzaba a frenar. Este comportamiento suponía una gran dificultad para controlar el vehículo y era necesario utilizar el pedal de freno mecánico con bastante frecuencia y de manera muy agresiva. En definitiva, este tipo de conducción suponía un gran peligro para un conductor acostumbrado a una conducción muy diferente como es la que se realiza en los vehículos convencionales.

A continuación se muestran las gráficas de aceleración en control de velocidad de los ensayos anteriores, en los que no se fijó ningún límite en la aceleración, y los ensayos en los que se fijó el límite de 300 rpm/s:

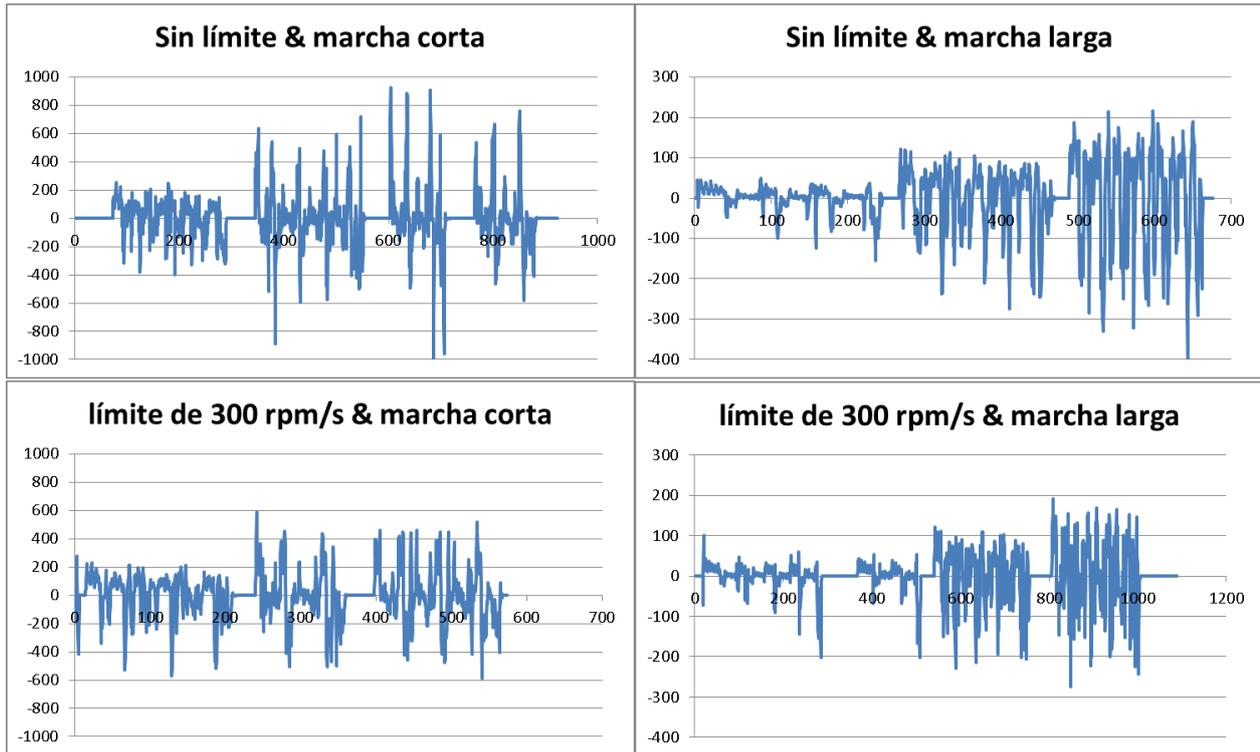


Figura 37. Aceleración (rpm/s) frente al tiempo (s) según el modo de control, la marcha y la señal del potenciómetro

En las gráficas queda demostrado que las aceleraciones alcanzadas con el límite de 300 rpm/s son menores que sin aplicar ningún límite para el control de velocidad. El límite consigue disminuir las aceleraciones máximas alcanzadas y los problemas de aceleraciones y frenadas repentinas que se buscaba eliminar, pero añade el problema comentado anteriormente de la pérdida de control en la frenada.

RONDA DE ENSAYOS NÚMERO 3

Las conclusiones sacadas de la segunda ronda de ensayos fueron que el límite de aceleración de 300 rpm/s no suponía ningún efecto en control de par y suponía un problema para mantener el control del vehículo y llevar una conducción segura en control de velocidad.

Por ello en la tercera ronda de ensayos se decidió probar otra modificación distinta. Se decidió modificar la curva de par-velocidad del motor eléctrico. Durante los ensayos anteriores se condujo con la curva de par que venía por defecto en el software:

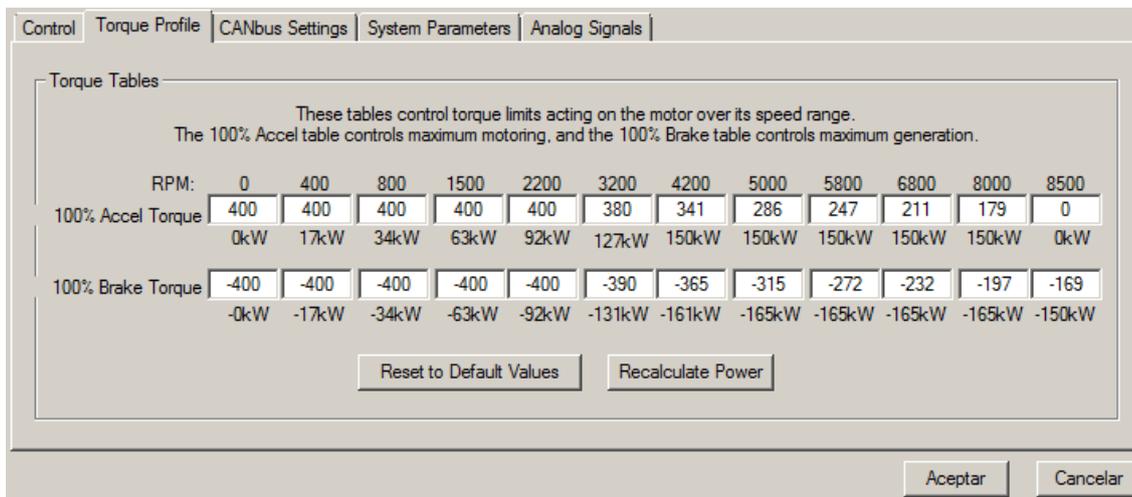


Figura 38. Pantalla de valores de la curva par-velocidad por defecto

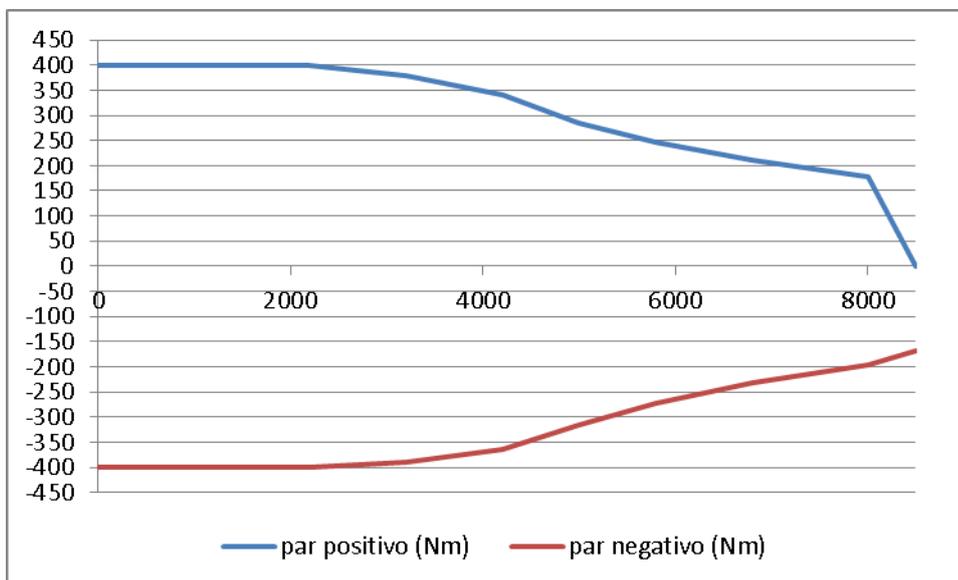


Figura 39. Curva par-velocidad por defecto

En ella se puede ver el máximo par alcanzable por el motor a diversas velocidades tanto para acelerar como para frenar.

Para la tercera ronda de ensayos se decidió variar la curva del par de frenado en su comienzo disminuyendo los valores máximos del par a velocidades bajas para ver si así se conseguía evitar los frenados repentinos que se producían en control de velocidad a bajas velocidades y con valores altos de señal del potenciómetro:

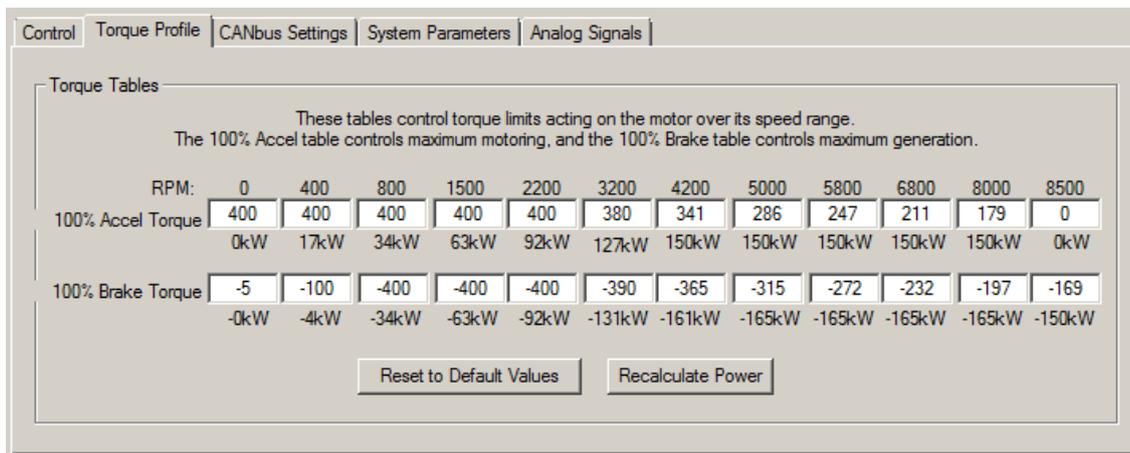


Figura 40. Pantalla de valores de la curva par- velocidad modificada 1

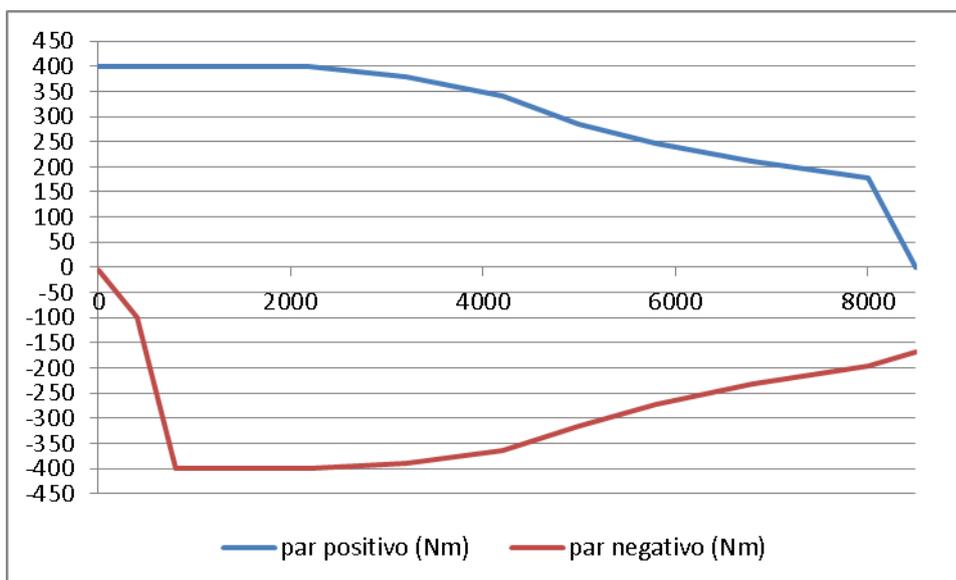


Figura 41. Curva par-velocidad modificada 1

Al principio se pensó realizar ensayos con esta nueva curva, de la misma manera que hasta entonces. Se pensó realizar ensayos con los dos modos de control del motor (velocidad y par) y con las dos marchas distintas (larga y corta). Sin embargo, en control de velocidad que era donde más interesaba comprobar el resultado no pudo realizarse ningún ensayo.

La causa de esto se cree que está en el sensor del motor que lee la dirección del motor. Este sensor tiene dos posiciones, 1 y -1. Cuando el motor gira en sentido hacia delante el sensor da una señal de valor 1 y cuando lo hace marcha atrás de una señal de valor -1. El problema apareció al intentar arrancar el coche desde parado. En control de velocidad, cuando el coche está parado la señal que envía el sensor por defecto es -1. Al querer iniciar la marcha, el controlador interpreta que tiene que aplicar el par negativo y al ser este de un valor de -5 Nm, el motor con ese par no es capaz de poner en marcha el vehículo.

En control de par la señal del sensor en parado es 1 y entonces no se tuvo ese problema. Por ello se decidió realizar todos los ensayos con control de par pero variando la curva de par en unos y aplicando un límite de 100 rpm/s en otros. Se decidió aplicar este límite más restrictivo porque en los ensayos con límite de 300 rpm/s no se notó ninguna diferencia con los ensayos sin límite.

Así pues, los ensayos que se realizaron esta vez fueron los siguientes:

Ensayo 1: Control de par y marcha directa

- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 10% y curva de par modificada
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 25% y curva de par modificada
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 40% y curva de par modificada

Ensayo 2: Control de par y marcha directa

- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 10% y límite de aceleración de 100 rpm/s
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 25% y límite de aceleración de 100 rpm/s (en realidad fueron 4)
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 40% y límite de aceleración de 100 rpm/s

Ensayo 3: Control de par y marcha corta

- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 10% y límite de aceleración de 100 rpm/s
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 25% y límite de aceleración de 100 rpm/s
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 40% y límite de aceleración de 100 rpm/s

Ensayo 4: Control de par y marcha corta

- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 10% y curva de par modificada
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 25% y curva de par modificada
- 3 vueltas con la señal del potenciómetro al 40% y curva de par modificada

En cuanto a los ensayos con el límite de aceleración de 100 rpm/s, sí se percibieron diferencias con respecto a los ensayos anteriores en los que no se fijó ningún límite o

se fijó uno de 300 rpm/s. Se comprobó que en la etapa de máxima aceleración del circuito, el vehículo no aceleraba de manera constante. Lo que sucedía era que el vehículo realizaba las aceleraciones de manera discontinua, es decir, durante periodos de tiempo el coche aumentaba la velocidad y entre estos periodos la velocidad se mantenía constante o no aumentaba tan rápidamente.

A continuación se muestran dos gráficas que corresponden al pico de máxima aceleración del circuito. Las dos corresponden a ensayos con control de par en marcha larga y una señal del potenciómetro del 10 %. La gráfica de la izquierda corresponde al ensayo donde se aplicó un límite de aceleración de 300 rpm/s y en el cual no se vieron diferencias con respecto a no aplicar ningún límite. La gráfica de la derecha corresponde al ensayo con límite de aceleración de 100 rpm/s:

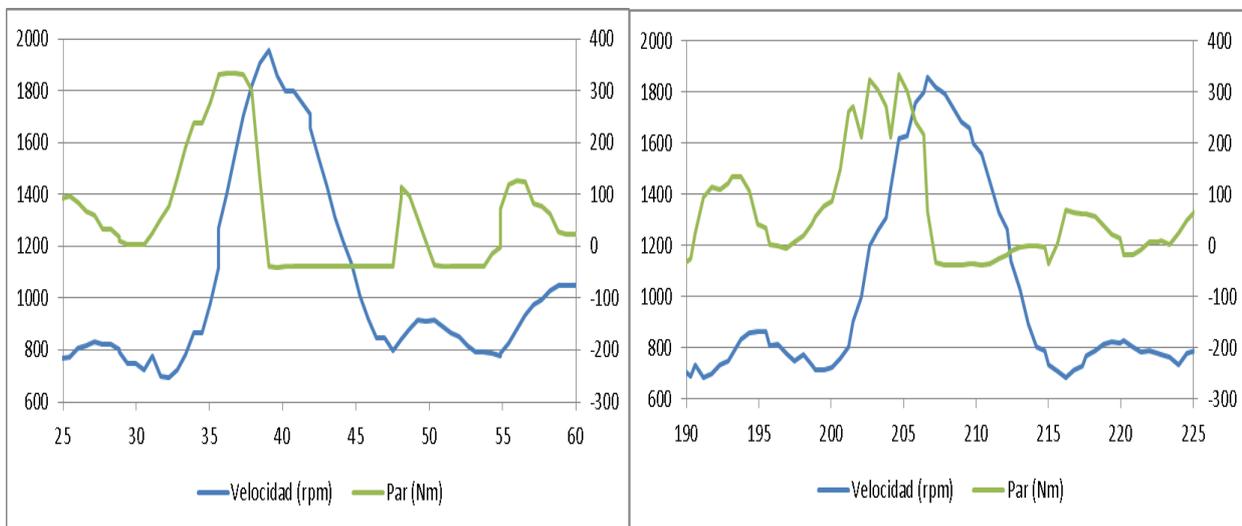


Figura 42. Velocidad (rpm) y Par motor (Nm) frente al tiempo (s) en el tramo de máxima aceleración en el ensayo de marcha directa control de par y 10 % de señal del potenciómetro. Sin límite de aceleración (dcha) y con límite de aceleración de 300 rpm/s (izda)

Se observa que con el límite de 100 rpm/s, cuando se acelera al máximo en la curva de par aparecen unas oscilaciones en forma de picos en los que el par aumenta y disminuye ligeramente y de forma rápida. Estos picos se corresponden con lo percibido en la conducción donde se notaban discontinuidades en la aceleración. El límite de 100 rpm/s es más restrictivo que el de 300 rpm/s y entonces sí se nota su actuación. Cuando el vehículo alcanza aceleraciones mayores que el límite impuesto, el controlador disminuye el par en el motor hasta que la aceleración vuelve a estar por debajo del límite, en ese momento el par vuelve a aumentar hasta que se vuelve a sobrepasar el límite de aceleración.

Así pues, se ha comprobado cómo funciona en la práctica el límite de aceleración, y se puede concluir que no supone una modificación recomendable, a menos que se estudie más detalladamente el valor a aplicar. Las discontinuidades que introduce en la aceleración con los valores ensayados pueden suponer un problema para mantener el control del vehículo durante la conducción.

Ya se comprobaron los problemas que introducía en control de velocidad y ahora se han comprobado con control de par. Por ello no se recomienda su uso si no se realiza antes un estudio más detallado con el objetivo de encontrar el valor adecuado a introducir en el límite.

Para el análisis de los ensayos en los que se modificó la curva de par del motor, hay que centrarse en los periodos donde se llegaba al final de cada ensayo y se soltaba el acelerador para que el vehículo parase. Esto es así, porque la curva se modificó en las situaciones donde nos encontramos con velocidades del motor bajas y en las que se está aplicando un par de frenada.

En estas situaciones se comprobó como el vehículo frenaba finalmente para alcanzar el reposo de una manera más gradual y lenta y los datos recogidos en los ensayos así lo corroboran:

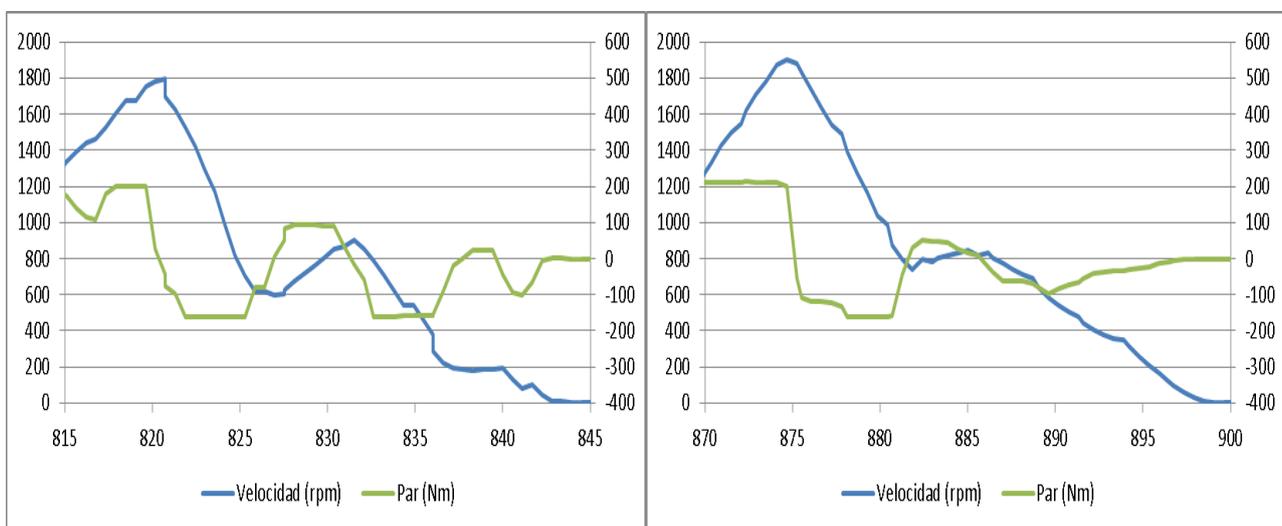


Figura 43. Velocidad (rpm) y Par motor (Nm) en el tramo de detención del vehículo, control de par, marcha directa, 40% de señal del potenciómetro. Curva par-velocidad por defecto (dcha) y curva par-velocidad modificada 1 (izda)

Las gráficas corresponden las dos a ensayos en control de par con marcha larga y una señal del 40% de señal del potenciómetro, y en ellas se muestra el momento final del ensayo donde se soltaba el acelerador para dejar el vehículo en reposo. En ellas se muestra la velocidad (que se ordena en el eje de la izquierda) y el par (que se ordena en el eje de la derecha).

La gráfica de la izquierda corresponde a un ensayo con la curva de par inicial y la de la derecha a un ensayo con la curva de par modificada.

Se puede ver que la curva de velocidad del ensayo con la curva modificada tiene una bajada final más gradual que la del ensayo con la curva inicial. Con la curva modificada el motor dispone de menos par de frenado a bajas velocidades por lo que la parada del vehículo se alcanza de manera más gradual.

Por último, podemos comprobar que en la curva modificada a partir de 400 rpm, se tiene un valor de par de frenado por debajo de -100 Nm. -100 Nm es el valor máximo de par de frenado que se le impuso al motor por debajo de las 400 rpm. Se puede ver en las gráficas que por debajo de esta velocidad el par de frenado siempre es menor que -100 Nm.

En cambio, en la gráfica de la curva inicial se puede ver que para velocidades más bajas de 400 rpm, el motor da un par mayor que -100 Nm en algunos momentos de tiempo.

Con esto, se ha comprobado que al modificar la curva de par el comportamiento real se corresponde con el teórico, al menos en control de par.

RONDA DE ENSAYOS NÚMERO 4

Durante la ronda de ensayos número 4 se analizó la influencia del modo de aplicación de la limitación de velocidad en los dos modos de control empleados (par y velocidad) y en la marcha larga o directa. También se analizó la influencia de añadir un valor alto al parámetro de fricción del sistema.

Como se ha explicado en el apartado 2, el software permite establecer un límite a la velocidad de giro. Para establecer un límite de velocidad hay que tener en cuenta cuatro características:

Speed Limit: Es el valor de la velocidad en rpm en el que se desea que el límite comience a actuar. En estos ensayos se fijó un valor de 1000 rpm para que fuera fácilmente alcanzarlo y analizar así el comportamiento

RPM Range: rango de velocidad en rpm de manera que el límite estará actuando completamente si la velocidad del motor alcanzara el límite de velocidad más este rango de rpm.

Torque limiting: Se trata de la forma en la que se desea que se aplique el límite. Hay dos formas distintas de limitación de la velocidad:

- Accel → Zero Torque: con esta opción cuando se alcance la velocidad límite el par motor comenzará a ser disminuido y será completamente eliminado en el momento en que la velocidad alcance la parte superior del rango de rpm (límite de velocidad más rango), ofreciendo en ese momento el motor un par nulo o cero.
- Accel → Brake Torque: Si selecciona esta opción, al llegar al límite se eliminará el par motor y, si se sigue aumentando la velocidad, el motor comenzará a aplicar un par de frenado. Si la velocidad alcanzara la parte superior del rango de rpm (límite de velocidad más rango) entonces el motor aplicaría en ese momento su máximo par de frenado disponible.

Quadratic: por defecto, el límite de aceleración se aplica de forma lineal. Sin embargo, al marcar esta casilla la limitación se aplicará de forma cuadrática (aplicada más tarde pero de manera más rápida al final).

Por otro lado, el “System friction” o fricción del sistema es un valor de par de la cantidad de fricción que el motor encontrará en su sistema. El controlador utilizará este valor para corregir la salida y sus medidas de par para que se adapten mejor a sus peticiones.

Para realizar el estudio de los parámetros nombrados se realizaron 5 ensayos que se describen a continuación

Ensayo 1: Control de par y limitación de velocidad Accel → Zero Torque

- 3 vueltas con límite de velocidad lineal, rango de 100 rpm y con la señal del potenciómetro al 10%
- 3 vueltas con límite de velocidad lineal, rango de 100 rpm y con la señal del potenciómetro al 25%
- 3 vueltas con límite de velocidad lineal, rango de 100 rpm y con la señal del potenciómetro al 40%

Ensayo 2: Control de par y limitación de velocidad Accel → Brake torque

- 1 vuelta con límite de velocidad lineal, rango de 100 rpm y con la señal del potenciómetro al 10%
- 1 vuelta con límite de velocidad lineal, rango de 300 rpm y con la señal del potenciómetro al 10%
- 1 vuelta con límite de velocidad cuadrático, rango de 300 rpm y con la señal del potenciómetro al 10%

- 1 vuelta con límite de velocidad cuadrático, rango de 300 rpm y con la señal del potenciómetro al 25%
- 1 vuelta con límite de velocidad cuadrático, rango de 300 rpm y con la señal del potenciómetro al 40%

Ensayo 3: Control de velocidad y limitación de velocidad Accel → Brake torque

- 1 vuelta con límite de velocidad cuadrático, rango de 300 rpm y con la señal del potenciómetro al 10%
- 1 vuelta con límite de velocidad cuadrático, rango de 300 rpm y con la señal del potenciómetro al 25%
- 1 vuelta con límite de velocidad cuadrático, rango de 300 rpm y con la señal del potenciómetro al 40%

Ensayo 4: Control de velocidad y limitación de velocidad Accel → Zero Torque

- 3 vueltas con límite de velocidad lineal, rango de 100 rpm y con la señal del potenciómetro al 10%
- 3 vueltas con límite de velocidad lineal, rango de 100 rpm y con la señal del potenciómetro al 25%
- 3 vueltas con límite de velocidad lineal, rango de 100 rpm y con la señal del potenciómetro al 40%

Ensayo 5: Control de velocidad y limitación de velocidad Accel → Zero Torque

- 2 vueltas con límite de velocidad lineal, rango de 100 rpm, con la señal del potenciómetro al 40% y con una fricción de 10 Nm.
- 2 vueltas con límite de velocidad lineal, rango de 100 rpm, con la señal del potenciómetro al 40% y con una fricción de 1 Nm.

A continuación se va a proceder con la exposición y el análisis de los resultados obtenidos.

Ensayos de Accel → Zero torque

En cuanto a los dos ensayos con el límite de velocidad Accel → Zero torque (Ensayos 1 y 4), con las tres señales distintas del potenciómetro (excepto con un 10% en control de velocidad que no se llegó a 1000 rpm) se obtenían resultados iguales. Se notó que al llegar a 1000 rpm, el coche empezaba a decelerar de manera suave hasta que llegaba a alcanzar la velocidad máxima de 1100 rpm. Cuando se llegaban a las 1100 rpm se producían vibraciones pequeñas en el motor y el sistema de transmisión que suponían una ligera molestia en cuanto al confort de los ocupantes.

A continuación, se muestra un ciclo del ensayo en control de par y con un 10% de señal del potenciómetro en el que se ve cómo actúa el límite de velocidad perfectamente.

En la gráfica se muestra la evolución de la velocidad (en azul) ordenada en el eje de la izquierda y el par motor (en rojo) ordenado en el eje de la derecha.

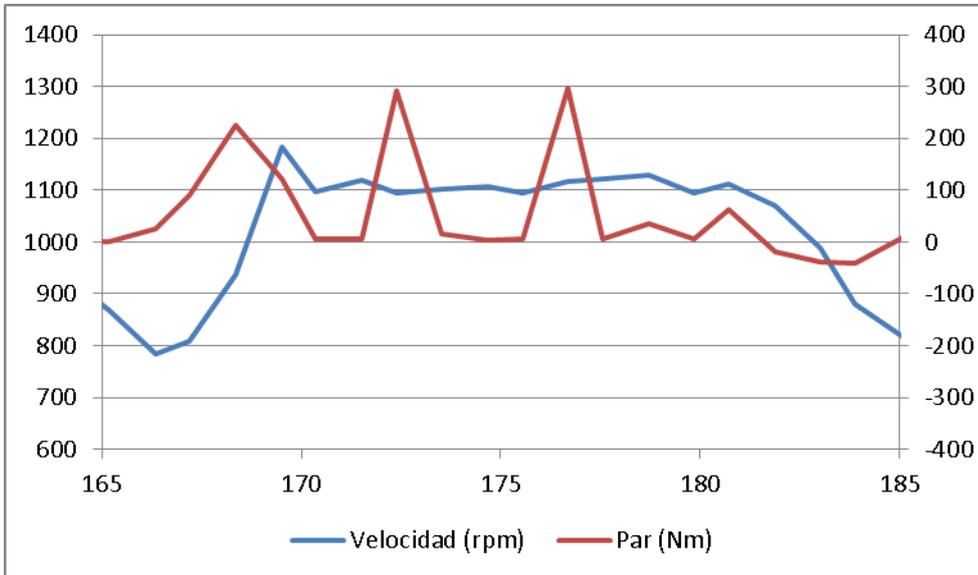


Figura 44. Velocidad (rpm) y Par motor (Nm) en un ciclo del ensayo en control de par con límite de Zero torque y con 10 % de señal del potenciómetro

Se observa que cuando se mantiene el pedal de aceleración al final de su recorrido y se alcanza la velocidad límite, el controlador sube y baja el par desde el máximo disponible a cero para mantener la velocidad en el límite impuesto. Así, aunque se esté accionando el pedal completamente durante todo el ciclo, la velocidad no sobrepasa el límite. Solamente sobrepasa el límite al principio ya que se tiene una aceleración muy grande. En el lapso de tiempo entre que el controlador recibe la señal de que se llega a las 1000 rpm y envía la orden de la aplicación del límite, la velocidad sigue aumentando hasta las 1200 rpm debido a esta aceleración tan grande. Pero una vez la consigue bajar a las 1100 rpm la mantiene casi constante.

Ensayos de Accel→Brake torque

Para el ensayo 2, en el que se probó el límite de velocidad Accel→Brake torque en control de par, se fue testigo de un comportamiento mucho más agresivo del límite de velocidad. En este caso para cada una de las 5 vueltas se acababa limitando la velocidad de una manera muy brusca. Al llegar a la velocidad máxima (límite + rango) el motor y la transmisión comenzaban a vibrar con mucha fuerza y se producía mucho ruido. Por ello, solo se dio una vuelta con cada configuración en este ensayo, ya que era evidente que el motor y la transmisión podían sufrir daños si se continuaba durante mucho tiempo con esta limitación.

Al realizar la primera vuelta con el rango de 100 rpm y ser testigo de este comportamiento, se decidió aumentar el rango a 300 rpm. Sin embargo las vibraciones fuertes siguieron apareciendo. Fue entonces cuando se decidió activar la casilla de “Quadratic” para que el límite se aplicara cuadráticamente, de manera más lenta al principio, y una vez se consiguiera frenar, se aplicara más rápido con el fin de eliminar el comportamiento indeseable. Sin embargo este comportamiento volvió a aparecer. Con esta última configuración se dieron dos vueltas más con 25% y 40% de señal del potenciómetro para acabar el ensayo sin evitar las fuertes vibraciones.

Por otro lado en el ensayo en control de velocidad (ensayo 3), con 10% de señal del potenciómetro no se llegó a alcanzar el límite de velocidad, pero con 25% y 40% sí. Hay que destacar que con el 25% de señal, las vibraciones que se producían al alcanzar el límite volvían a ser pequeñas, al igual que en los ensayos de Accel→Zero torque. Como el par de frenado máximo que tiene el motor en esta configuración es del 25% del total, no se producían las grandes vibraciones. Sin embargo con un par de frenado mayor, con una señal del 40%, las vibraciones fuertes volvieron a aparecer.

Ensayo del System Friction

En el ensayo 5 se probó la influencia de introducir una fricción grande en el sistema (10 Nm). Se quería comprobar si introduciendo esta fricción en control de velocidad, se eliminaban los repentinos cambios de velocidad que se buscaba eliminar en las rondas de ensayos 2 y 3. En cuanto a la experiencia en la conducción no se percibieron diferencias. Las aceleraciones y frenadas repentinas aparecían por igual con las fricciones de 10 Nm y 1 Nm.

Una vez analizados los resultados del software y las gráficas de velocidad y par, tampoco se encontraron diferencias, por lo que se deduce que la fricción del sistema no influye en la aparición de aceleraciones y frenados bruscos.

RESUMEN DE LOS ENSAYOS

A continuación se muestran unas matrices en las que aparecen todas las combinaciones posibles de ensayos con los parámetros estudiados en este proyecto. Aparecen marcados con una X los ensayos realizados en este proyecto y con la casilla vacía los ensayos que no se han realizado. La primera matriz se corresponde con los ensayos y parámetros de las rondas 1,2 y 3. La segunda matriz se corresponde con los ensayos y parámetros de la ronda 4 de ensayos.

			Curva par-velocidad defecto			Curva par-velocidad modif. 1		
			10% brake	25% brake	40% brake	10% brake	25% brake	40% brake
Marcha corta	Control de par	Sin límite acel.	X	X	X	X	X	X
		límite acel. 300 rpm/s	X	X	X			
		límite acel. 100 rpm/s	X	X	X			
	Control de velocidad	Sin límite acel.	X	X	X			
		límite acel. 300 rpm/s	X	X	X			
		límite acel. 100 rpm/s						
Marcha Larga	Control de par	Sin límite acel.	X	X	X	X	X	X
		límite acel. 300 rpm/s	X	X	X			
		límite acel. 100 rpm/s	X	X	X			
	Control de velocidad	Sin límite acel.	X	X	X			
		límite acel. 300 rpm/s	X	X	X			
		límite acel. 100 rpm/s						

Figura 45. Matriz de ensayos de las rondas 1,2 y 3

			Marcha Larga			
			límite vel. 1000+100 rpm		límite vel. 1000+300 rpm	
			límite lineal	límite cuadrático	límite lineal	límite cuadrático
Control de par	Accel--> Zero toque	10% brake	X			
		25% brake	X			
		40% brake	X			
	Accel--> brake toque	10% brake	X		X	X
		25% brake				X
		40% brake				X
Control de velocidad	Accel--> Zero toque	10% brake	X			
		25% brake	X			
		40% brake	X			
	Accel--> brake toque	10% brake				X
		25% brake				X
		40% brake				X

Figura 46. Matriz de ensayos de la ronda 4

4.CONCLUSIONES

Tras la realización de todos los ensayos se llega al momento de extraer las conclusiones pertinentes y definir las líneas a seguir en el futuro.

Se ofrecen a continuación las principales conclusiones de cada una de las rondas de ensayos:

Ronda de ensayos 1

-Marcha utilizada:

En cuanto a la marcha utilizada, se puede concluir que para circuitos con poca pendiente, no sería necesaria la utilización de la marcha corta. En marcha directa en el circuito de ensayos, el motor tiene suficiente fuerza para satisfacer las demandas de conducción perfectamente. Solamente se ha notado que la fuerza es insuficiente en control de velocidad y con un 10% de la señal del potenciómetro. Se puede concluir que para una conducción llana o con pendientes no muy grandes no sería necesaria la utilización de la reductora. Es más conveniente el uso de la directa donde el motor tiene la fuerza suficiente y no trabaja tan revolucionado

-Modo de control:

-En control de velocidad conforme se aumenta la señal del potenciómetro, el motor tiene más par disponible y es capaz de alcanzar mayores velocidades en menos tiempo y mayores frenadas también. Para valores altos de la señal, los cambios de velocidad se realizan de una manera muy brusca aunque el pedal se accione o libere de forma muy gradual, lo que supone un problema para la conducción. Estos cambios bruscos se producen de forma más continuada en tramos a velocidades bajas, donde se solicitan más cambios de velocidad al vehículo para dar curvas... Por otro lado, si se mantiene una señal del potenciómetro de valor bajo en marcha directa, el vehículo no tiene fuerza suficiente para acelerar y llevar a cabo una conducción satisfactoria.

-En control de par, incluso con un 40% de señal se pueden alcanzar las -mismas velocidades en el mismo tiempo que con un 10% y un 25%. Aunque se dispone de menos par de aceleración, éste es suficiente para satisfacer las demandas del usuario y además cuenta con la ventaja de retener el vehículo en mayor medida cuando se libera el pedal de aceleración, es decir, permite un mayor control en la frenada. Por ello se puede afirmar que para conducciones a bajas y medias velocidades (50-60 km/h máximo) la mejor opción, si se utiliza el control de par es fijar valores entre el 25% y el 50% de la señal del potenciómetro. Con estos valores, se tiene una capacidad de

aceleración muy buena y además cuando se libera el acelerador, una capacidad de frenado regenerativo satisfactoria

Temperatura del sistema motor-controlador:

Por último, en cuanto a las temperaturas, se ve una clara relación con el par motor. Pares muy altos pueden suponer calentamientos altos del motor-controlador, que podrían ser peligrosos si se mantienen durante mucho tiempo.

Rondas de ensayos 2 y 3

Límite de aceleración:

Al fijar un límite de aceleración para intentar eliminar los cambios bruscos de velocidad que se producen en control de velocidad, se consigue lo que se busca. Sin embargo aparece otro problema; el de la pérdida de control en la frenada. Al liberar el acelerador, el vehículo tarda demasiado en disminuir la velocidad debido al límite de aceleración impuesto. Esto supone un problema de seguridad.

En cuanto al control de par, la aplicación de un límite muy restrictivo supone la aparición de discontinuidades en los tramos de aceleración. La aceleración se produce a tramos lo que supone un comportamiento indeseable. No tiene sentido introducir límites de aceleración en control de par, ya que sin ellos el comportamiento es más satisfactorio.

Curva par-velocidad

No se ha podido comprobar el comportamiento del vehículo con la curva de par-velocidad modificada cuando interesaba, que era en control de velocidad. Al limitar el par de frenado a bajas velocidades buscando evitar las frenadas bruscas, no se ha podido poner en marcha el vehículo por el problema que se ha explicado del sensor de dirección.

En control de velocidad se ha comprobado que el comportamiento real al modificar la curva se corresponde con el comportamiento teórico.

Ronda de ensayos 4

Límite de velocidad:

En esta ronda de ensayos se ha comprobado que en dirección hacia delante es mejor introducir un límite de velocidad que baje el par motor a cero cuando se alcance la velocidad máxima.

Este tipo de límite parece no dañar el motor y la transmisión.

Por otro lado, si el límite introduce un par motor de frenado al alcanzar la velocidad máxima, se producen fuertes y ruidosas vibraciones en el motor que pueden ser dañinas, además de suponer una gran incomodidad en los ocupantes. Solamente se ha detectado que no aparecen estas vibraciones en control de velocidad con valores bajos de la señal del potenciómetro (25%).

Fricción del sistema: Introducir un valor alto a la fricción del sistema no ha supuesto ninguna diferencia apreciable en control de velocidad con el objetivo de aminorar las aceleraciones y frenadas bruscas.

Futuras líneas de actuación

Se ha comprobado que para una conducción a bajas-medias velocidades (50-60 km/h máximo) y con los parámetros del vehículo como están actualmente, el control de par es mucho más recomendable que el control de velocidad.

En un futuro se podría estudiar cual sería el modo de control más recomendable para una conducción a altas velocidades (90-100 km/s). En conducción por carretera a altas velocidades, el control de velocidad podría ser más recomendable. En esas circunstancias se suele mantener una velocidad constante o con pequeñas variaciones, por lo que sería interesante estudiar el control de velocidad en esa situación.

Si volvemos a conducciones a bajas-medias velocidades en control de velocidad, se ha comprobado que la aplicación del límite de aceleración soluciona los problemas de los cambios bruscos de velocidad, pero introduce el problema de la pérdida de control en frenada. Para el futuro se podría intentar ajustar el valor del límite de aceleración para ver si es posible que cumpla su objetivo y no introduzca el problema del frenado.

También sería interesante estudiar el comportamiento del vehículo con la curva par-velocidad modificada en control de par. Habría que estudiar una solución al problema del sensor de sentido de marcha. Así, se podría ensayar en control de velocidad con la curva modificada para ver si se eliminan las frenadas violentas a bajas velocidades.

En cuanto a la señal del potenciómetro se ha comprobado que valores bajos (10%) no son recomendables en los dos modos de control. En control de par se tiene poca capacidad de frenado y en control de velocidad no se tiene apenas capacidad de aceleración ni de frenado. Valores mayores del 40 % podrían suponer demasiada pérdida de capacidad de aceleración en control de par y a su vez demasiada capacidad e frenado en los dos modos de control. Por ello, se recomienda seguir buscando el valor óptimo de señal del potenciómetro entre valores que superen el 20% y no superen en demasiada cantidad el 40%.

En cuanto al límite de velocidad se ha comprobado que la mejor forma de limitar la velocidad en dirección hacia delante es con la aplicación del par motor cero (Accel →Zero torque).

Por último, en cuanto a la marcha utilizada, se ha comprobado que la marcha directa satisface las demandas perfectamente en terrenos llanos o con pequeñas pendientes. Se podría estudiar en el futuro la capacidad de la marcha directa de subir grandes pendientes que el vehículo pueda encontrar en una conducción real. Si el vehículo fuera capaz de subir las máximas pendientes que se puede encontrar en carretera con la marcha larga se podría eliminar la reductora instalada en el vehículo y funcionar solo con la directa.

5. BIBLIOGRAFÍA

Trabajos de Fin de Grado (TFG) previos sobre Zytel Zero

- Alejandro Horcas, 2015, Estudio de parámetros de las prestaciones del sistema motor-controlador de un vehículo eléctrico.**
- Roberto Lucas Martínez, 2015, Análisis y desarrollo de mejoras en los sistemas de regulación, puesta en marcha y control de un automóvil eléctrico.**
- Beatriz Albesa Soriano, 2015, Análisis del comportamiento y optimización del sistema de alimentación mediante módulos de baterías de un automóvil de altas prestaciones**

- Manual de uso y funcionamiento del BMS**
- Manual del controlador UQM**
- Apuntes de la asignatura Movilidad Eléctrica**

ANEXOS

ANEXO A: PROTOCOLO DE ENSAYO

**Antes de empezar una ronda de ensayos, comprobación desde el exterior del vehículo de que las baterías de tracción están en las condiciones físicas óptimas. Comprobación de los tornillos de los bornes de las baterías. Deben estar bien apretados para que no aumente la resistencia en el circuito de baterías. Colocar las barras o listones que evitan que las baterías de los cajones exteriores se muevan o se caigan durante la conducción.

1. Correcto estado de las baterías auxiliares

Comprobación de la tensión a la que se encuentran dichas baterías, puesto que son las que alimentan el autómata, necesario para la puesta en marcha del vehículo, y continuar con los siguientes pasos.

2. Comprobación estado del vehículo

Para ello introducimos la llave en el bombín y la giramos hasta la posición 1 (Accesorios). De esta manera podemos comprobar:

El correcto funcionamiento del autómata

Si no hay errores, se conecta el autómata y su pantalla auxiliar con el mensaje “Inicio Bien”.

El estado del sistema de carga suave

Se debe comprobar que el sistema está bien, indicado por el autómata por el mensaje anterior y visualizando la placa de leds (led verde del fusible debe estar enchufado y el resto apagados).

El estado del conjunto de baterías mediante el BMS

Conectado el autómata se debe pulsar el botón F1 de la pantalla táctil del autómata para enchufar el BMS. Entonces se comprueba que todas las baterías están cargadas correctamente y se toman los datos de estas.

3. Conexión del controlador del motor a un ordenador

Una vez comprobado el estado del vehículo se debe elegir la configuración deseada para la realización del ensayo, utilizando el programa del fabricante UQM. Para la configuración del ensayo se procede de la siguiente forma:

Elección del modo de control

Se debe elegir entre el control de par o el control de velocidad.

Selección de la opción “Change the direction of Forward” en la configuración del modo de control

En la misma ventana de la elección del modo de control se debe elegir esta opción para que la dirección del motor concuerde con las indicaciones del autómeta.

Elección del límite de la velocidad de giro del motor

Se debe limitar la velocidad máxima del motor requerida para el ensayo determinado.

Elección del nombre para el ensayo

En el recuadro del registro de datos se da un nombre y se elige la ubicación en la que se guardará el fichero con los datos. Este mismo nombre será el que defina cada prueba en la hoja de ensayos.

Elección del suceso de final de ensayo

Si se desea se fija un suceso que marque el fin del registro de datos.

Comienzo de la grabación del ensayo

Después de configurar todos los parámetros anteriores, se empieza el registro de datos pulsando el botón “Log” en el programa del controlador.

4. Arranque del vehículo

Tras realizar la configuración del motor-controlador se puede proceder al arranque del vehículo girando la llave a la posición 2. En ese momento comienza la carga suave de los condensadores del controlador. Los pasos a seguir en el arranque se detallan a continuación:

Comprobación la buena conexión de la carga suave

Se debe comprobar que el proceso se realiza correctamente, mediante los mensajes del autómeta y visualmente a través de la placa de leds.

Elección sentido de la marcha

Aunque la dirección de giro del motor puede elegirse en la posición 1 de la llave, es conveniente asegurarse que es la deseada en este punto.

Encendido de la bomba de refrigeración

Se enciende la bomba mediante la tecla F2 de la pantalla táctil del autómata con el objetivo de que no se alcancen temperaturas que comprometan al vehículo.

Precauciones de seguridad

Como en todo coche, se deben tomar precauciones antes de conducir, como ponerse el cinturón de seguridad y quitar el freno de mano.

Puesta en marcha del vehículo

Tras estos pasos ya se puede habilitar el motor a través del autómata y comenzar la realización del ensayo, ya sea en vacío, en los rodillos o circulando por la calzada.

5. Realización del ensayo

El ensayo se realiza con las características elegidas en los apartados anteriores. Al terminar el ensayo se presentan dos opciones:

Realizar otro ensayo

Si se desea hacer otra prueba con unas características diferentes, se debe inhabilitar el controlador mediante el autómata y volver al paso 2

Fin de los ensayos

Si por el contrario no se desea realizar más pruebas pasamos a la detención del vehículo que se explica en el paso 6.

6. Detención del vehículo

Para finalizar los ensayos se deben realizar las siguientes acciones:

Quitar la alimentación del motor

Para ello se debe girar la llave a la posición 1, abriéndose los relés del sistema de carga suave que cortan la alimentación de potencia al controlador.

Tomar datos de las baterías

Se apuntan los datos del estado de las baterías al acabar el ensayo para ello se pulsa la tecla F1.

Finalizar la grabación de datos

Para finalizar la grabación se pulsa el botón “Stop” en la sección de Registro de Datos del programa UQM.

ANEXO B: SISTEMA DE ALIMENTACION

Anexo B.1: Características de las baterías eléctricas

En la siguiente tabla se muestran las principales características de las baterías eléctricas instaladas en el vehículo, dadas por el fabricante.

Specification MODEL: SE180AHA		MODEL: SE180AHA		
 	Nominal Capacity	180Ah		
	Energy Density	116wh/kg@0.1C		
	Float Voltage	3.4V		
	Inner Resistance	< 1.0mΩ		
	Operating Voltage	Charge Voltage	3.6V	
		Discharge Cut-off Voltage	2.0V	
	Max Charge Current	≤3CA		
	Max Discharge Current	Constant Current	≤4CA(30s)	
		Impulse Current	≤12CA(5ms)	
	Standard Charge/Discharge Current	0.3CA		
Cycle Life	80%DOD	≥2000times		
	70%DOD	≥3000times		
Max Transient Temperature Resistance of Shell	170℃			
Long Term Shell Temperature Resistance	≤130℃			
Max Recommended Temperature	≤75℃			
Operating Temperature	Charge	0℃~55℃		
	Discharge	-25℃~55℃		
Low Temperature Discharge Efficiency	≥90%			
Self-discharge Rate/Month	≤3%(Monthly)			
Weight	5.6kg±0.1kg			

Tabla 2. Características de las baterías de tracción

Por otro lado el fabricante también suministra la curva de descarga de las baterías, como se puede apreciar en la figura 47.

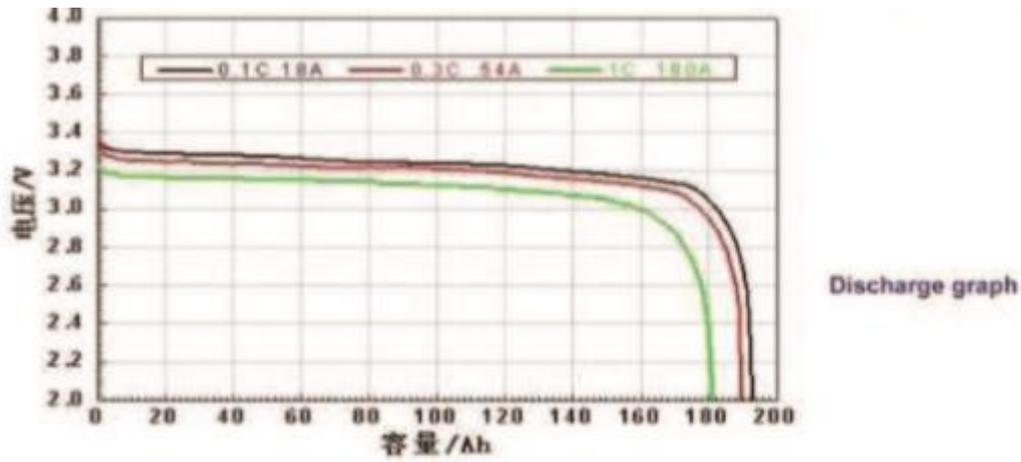


Figura 47. Curva de descarga

Anexo B.2 Distribución de los módulos de baterías

Como se ha comentado anteriormente las baterías se han distribuido en distintos módulos, dado que era imposible alojarlas todas juntas debido a la gran cantidad de baterías necesarias para obtener una elevada autonomía. En la Figuras 48 y 49 se representa gráficamente la colocación y unión de los distintos cajones instalados en el vehículo.



Figura 48. Esquema de la conexión de las baterías con su numeración

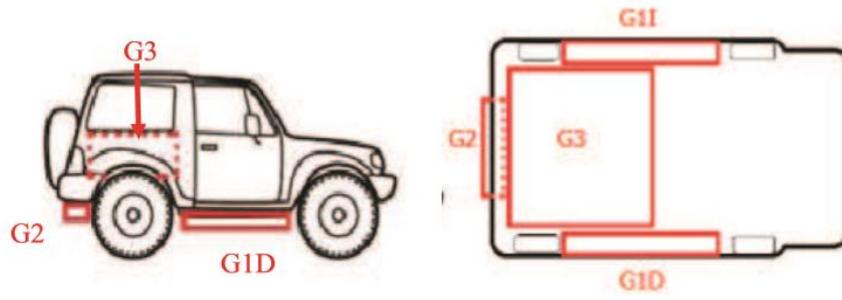


Figura 49. Distribución de las baterías de tracción

ANEXO C: SISTEMA DE CONTROL DE LAS BATERÍAS, BMS

Anexo C1: Configuración del sistema de control, BMS

En este Anexo se va a comentar la configuración del sistema de control de las baterías de potencia, BMS.

Descripción de componentes

El sistema consta de un módulo de comunicación de corriente, módulos de comunicación de tensión, un sensor Hall para la medida de la intensidad del circuito, el cableado de transferencia de datos, el controlador central y una pantalla táctil.

Controlador central

Es el encargado de adquirir y tratar toda la información recibida y alimentar a todos los componentes del sistema. En la Figura 50 se puede ver una imagen de dicho controlador.



Figura 50. Controlador central del BMS

Este controlador necesita una alimentación de 12 VDC, que toma de las baterías auxiliares (cuando se activa pulsando F1 en la pantalla del automático) a través de la conexión (1), ver Figura 51. La información de los diferentes módulos de tensión e intensidad le llega por medio del puerto (4), mientras que la comunicación con la pantalla se realiza a través de los puertos (6 y 7). El puerto (6) es la comunicación de datos y a través del puerto (7) se alimenta con los 24 VDC que necesita la pantalla.

Los puertos (2 y 3) no son utilizados, el puerto (2) realizaría la conexión con el cargador, y el (3) la comunicación CAN Bus.

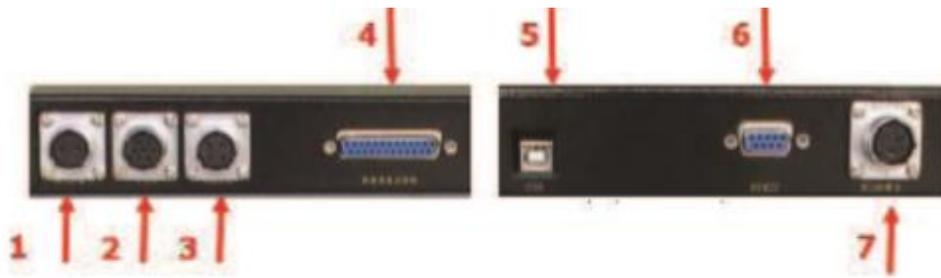


Figura 51. Conexiones controlador central

Pantalla táctil

Comunica los datos del estado de las baterías al conductor del vehículo. Esta pantalla es alimentada mediante el controlador, que le suministra los 24 VDC necesarios.

Módulos de tensión

Miden la tensión de un conjunto de hasta un máximo de 10 baterías y el valor de temperatura del conjunto. Esta información se traslada al controlador central por medio de su puesto de comunicaciones. En la Figura 52 se muestra un esquema con las conexiones de cada módulo.

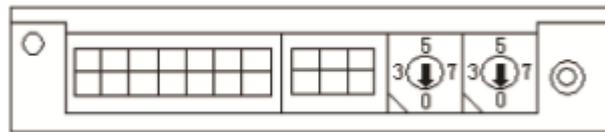


Figura 52. Módulo de tensión

A la izquierda se encuentran los pines de conexión con las baterías a través de los cuales el módulo registra la información de la tensión de hasta 10 baterías y la temperatura del conjunto.

El siguiente bloque de pines conecta al módulo con el controlador central y a través de él recibe la alimentación y transmite la información obtenida.

A continuación se pueden observar 2 números. Estos números han de configurarse correctamente ya que son la dirección del módulo. El módulo más próximo al controlador central llevará la dirección 00 y esta dirección irá aumentando de 1 en 1 hasta el último módulo colocado. Por último se encuentra un led rojo, que se ilumina si el módulo está alimentado y parpadea si se produce correctamente la transmisión de datos.

Módulo de intensidad

Este módulo está conectado al sensor Hall. Por medio de su puerto de comunicaciones suministra la lectura del sensor al controlador central, registrando la intensidad que circula por el sistema de baterías.

Su conexionado es similar al de los módulos de tensión, sólo que en vez de ir conectado a un bloque de baterías va conectado al sensor Hall. Para un correcto funcionamiento la dirección de este módulo debe ser $n+1$, siendo n el número de módulos de tensión colocados. En nuestro caso hay 12 módulos de tensión, que irán numerados del 00 al 11, por tanto el de intensidad ha de ser el 13.

Sensor Hall

Mide la corriente de entrada y salida al sistema de baterías. Para ello se ha pasado un cable del sistema de alimentación por el círculo central del sensor como se puede ver en la Figura 53.



Figura 53. Sensor Hall del BMS

Colocación en el vehículo

El controlador central, así como los diferentes módulos de tensión e intensidad se encuentran divididos entre los diferentes cajones del vehículo como se explicó en el sistema de alimentación del vehículo.

En los cajones laterales se encuentran 17 y 16 baterías respectivamente, por lo que es necesario tener 2 módulos de tensión para su control. En el faldón posterior se necesita otro módulo de tensión para el control de las 9 baterías colocadas allí. Mientras que en el cajón principal, donde hay 64 baterías son necesarios 7 módulos de tensión.

En la Figura 54 se puede observar la distribución de los módulos de tensión, el controlador central y el módulo de intensidad situados en el cajón principal de baterías de potencia.



Figura 54. Distribución de módulos en el cajón principal de baterías

Componente	Descripción	Función
Módulo de corriente	Dispone de 4 cables conectados al sensor hall y un puerto de comunicaciones	Comunicar la lectura del sensor hall al controlador central
Módulo de tensión	Dispone de 14 cables para obtener la muestra de tensión de cada batería, un sensor de temperatura y un puerto de comunicaciones	Medir la tensión de cada batería y el valor de temperatura del conjunto. Comunicación de las lecturas al controlador central
Sensor Hall	Sensor Hall ubicado a la salida del conjunto de baterías.	Medir la corriente de entrada y salida.
Cableado de transferencia de datos	Cableado de conexión en serie entre los módulos de tensión y corriente al controlador central	Conectar y transmitir los datos de cada módulo al controlador central.
Controlador Central	Controlador central	Alimentar a todos los componentes del sistema. Adquirir y tratar la información recibida para su visualización. Permite configurar las alarmas.
Pantalla táctil	Pantalla táctil ubicada en el salpicadero.	Comunicar los datos del estado de las baterías al conductor.

Tabla 3. Cuadro resumen de los componentes del BMS

Anexo C2: Modo de operación del sistema de control, BMS

Funcionamiento BMS

Al conectar la pantalla del BMS a través del autómatas, ésta nos da la siguiente información sobre el estado de las baterías como se puede ver en la Figura 55.

Los valores totales de tensión, intensidad, así como otros valores importantes como la batería con tensión mayor y la batería con menor tensión o la temperatura máxima a la que se encuentran los conjuntos de baterías.

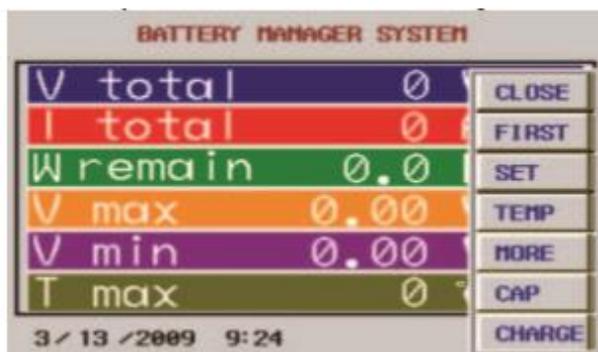


Figura 55. Información general de la pantalla del BMS

Además, dispone del botón menú, que al pulsarlo ofrecerá un desplegable con las diferentes opciones del sistema. Las opciones más interesantes a destacar son las siguientes:

Close

Devuelve a la página principal.

First

Vuelve a la elección de lenguaje.

More

Al pulsar este botón se obtiene en pantalla información detallada de la tensión de cada una de las baterías por separado, tal como se puede ver en la Figura 56. Con los cursores de la parte inferior se puede navegar por todas las baterías o volver al menú principal.

NO.	VOLTAGE	NO.	VOLTAGE
1	0.000 U	6	0.000 U
2	0.000 U	7	0.000 U
3	0.000 U	8	0.000 U
4	0.000 U	9	0.000 U
5	0.000 U	10	0.000 U

Figura 56. Información de la tensión de cada batería

Temp

Al pulsar este botón tendremos información de la temperatura de cada uno de los módulos. Los 2 primeros serán de los módulos colocados en el cajón lateral izquierdo, el 3 será el del faldón inferior, el 4 y 5 del faldón lateral derecho y los demás corresponderán al cajón principal trasero. Los valores se representarán tal como se muestra en la Figura 57.

sample temperature		sample temperature	
1	0 °C	6	0 °C
2	0 °C	7	0 °C
3	0 °C	8	0 °C
4	0 °C	9	0 °C
5	0 °C	10	0 °C

Figura 57. Valores de temperatura de cada módulo

Charge

Al pulsar este botón aparece la siguiente pantalla:

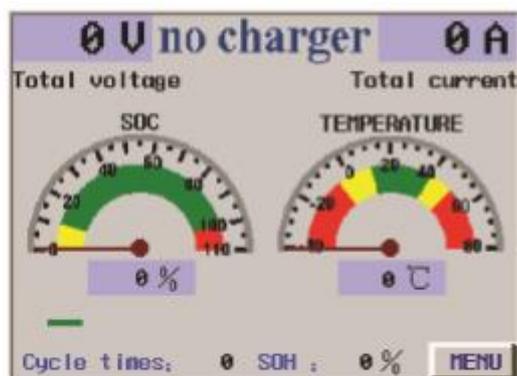


Figura 58. Estado de carga de las baterías

Indicador del estado del SOC

Cuando se está cargando, el indicador muestra el valor. Cuando no está cargando, el número del indicador es el valor de la corriente.

Estado de carga

No charger: el cargador no está conectado

Ready: el cargador está listo, se puede realizar la carga

Charging: el cargador está cargando

Stop: el cargador ha parado la carga

Cycle times	Tiempos de ciclo
SOC	Índice de salud del grupo de baterías
SOH	Magnitud eléctrica residual
Temperature	Marca la más alta del grupo de baterías

Al pulsar el botón MENÚ dentro de esta pantalla, aparece la siguiente:

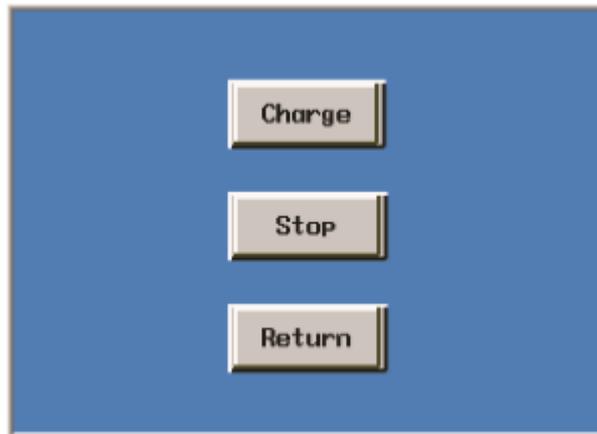


Figura 59. Menú de carga

Charge: cuando el estado de carga está preparado (ready), se elige este botón para cargar.

Stop: se elige esta tecla para detener el funcionamiento.

Return: si se selecciona esta tecla se vuelve a la pantalla principal

Existen tres fases durante la carga (esta opción de carga sólo se realiza en el caso de que el cargador y BMS estén conectados, no es nuestro caso)

-Precarga: Durante la precarga, el BMS controla la carga cargando a 0.05C (ratio de la capacidad), después de un minuto, si la batería con el voltaje más bajo está por encima del “límite mínimo de corte de tensión”, el cargador pasará a una fase de corriente constante; si por el contrario está por debajo, el cargador cargará a esta corriente hasta llegar a la situación anterior otra vez, donde o bien se volverá a cargar con corriente constantes o se parará la carga.

-Carga constante: Durante esta fase, el BMS controla la carga del cargador a la corriente más grande actual. Si la corriente más grande está por encima que la corriente de salida del cargador, el cargador se carga con la corriente de salida del cargador. Cuando está cargando y la batería con más voltaje está por encima del “límite superior de alarma de tensión”, el cargador pasará a la fase de carga por goteo.

-Carga por goteo: Durante esta fase, el BMS controla el cargador de inducción de corriente de salida hasta que la batería con la tensión más alta es 5mV menor que "límite superior de alarma de tensión", el cargador cargará en la corriente que se ha ajustado. La fase continua hasta que la corriente de salida se reduce a 0.025C, entonces el cargador detendrá la carga. La carga se dará por finalizada.

Cap

Al pulsar este botón aparece la siguiente pantalla:

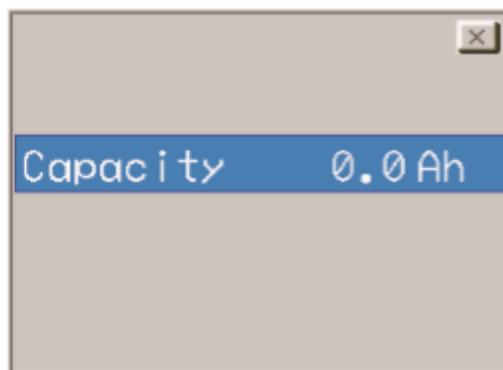


Figura 60. Capacidad global del conjunto de baterías

Set

Al pulsar Set se tendrá acceso a la configuración del sistema. En este caso se ha de introducir la contraseña facilitada por el fabricante. Inmediatamente aparece la siguiente pantalla.

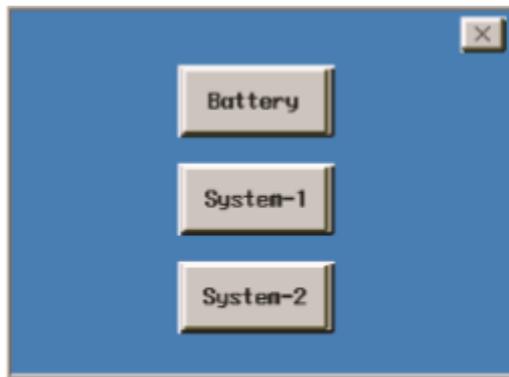


Figura 61. Pantalla de inicio de la opción SET

Si se selecciona el botón batería aparece el siguiente menú donde se podrá cambiar la configuración de los módulos como se puede ver en la Figura 62.

Module	Battery	Temperature
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0

Figura 62. Configuración módulos del BMS

Si se selecciona la tecla system-1, aparece la siguiente pantalla donde se pueden modificar distintos valores límites.

V alarm max limit	0	mV
V cut max limit	0	mV
V alarm min limit	0	mV
V cut min limit	0	mV
T alarm max limit	0	°C
T cut max limit	0	°C

Figura 63. Configuración de los límites

Voltage alarm upper limit:

Cuando el voltaje más elevado supere el valor introducido se activará una alarma. Una vez esté sonando, si el voltaje de la celda cae, y se sitúa 5mV por debajo del valor límite, la alarma se parará.

Voltage cut upper limit:

Cuando el voltaje mayor está por encima de este valor, la alarma sonará. Esta alarma no parará hasta que la potencia la corte. Este dato es fundamental para controlar la salida del cargador. Esto sólo tiene sentido en el caso de que existan conexión entre el BMS y el cargador.

Voltage alarm lower limit:

Cuando el voltaje más pequeño descienda por debajo del valor introducido se activará una alarma. Una vez esté sonando, si el voltaje de la celda crece, y se sitúa 5mV por encima del valor límite, la alarma se parará.

Voltage cut lower limit:

Cuando el voltaje menor está por debajo de este valor, la alarma sonará. La alarma no parará hasta que la potencia la corte. Cuando está cargando, la alarma no sonará. Sólo tiene sentido en el caso de que exista conexión entre cargador y BMS.

Delta voltage alarma:

Es la diferencia entre el valor de tensión más elevado y más bajo. Cuando la diferencia supere este valor sonará la alarma. Mientras suene la alarma, si la diferencia es menor que este límite, la alarma parará.

Temperature upper limit:

Cuando la temperatura del ambiente esté por encima de este valor, es sistema conectara la alarma. Mientras este sonando la alarma, si el valor más alto cae 4 °C por debajo de este valor, la alarma se parará.

Por último, si se pulsa el botón System-2, aparece la siguiente pantalla:

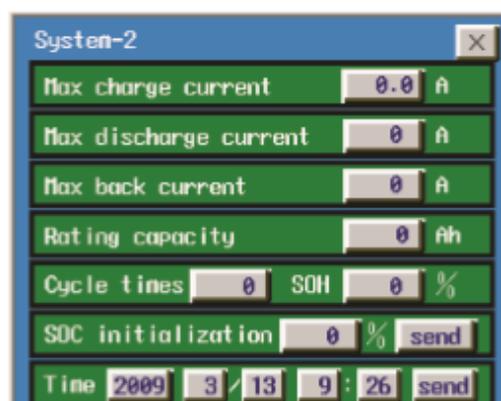


Figura 64. Configuración de los máximos

Charging current upper limit:

Cuando la corriente de carga total es superior a este valor, el sistema encenderá la alarma. El valor es el límite de corriente de carga

Discharging current upper limit:

Cuando la corriente total es superior a este valor, el sistema conectará la alarma. Mientras la alarma suena, si el total de corriente cae y es menor que el valor límite, la alarma se detendrá.

Rating capacitance:

Capacidad nominal de la celda, en tanto por ciento.

SOC initialization

Cada vez que se instala en el "sistema-2", este valor es 0%. La primera vez que se utiliza este sistema, es necesario configurar este valor, situado entre 0% ~ 105%.

Time

Sistema de memoria de tiempos. El sistema memorizará una vez se haya configurado este apartado.

Pulsando el botón "x" se guardarán dichas configuraciones.

ANEXO D: MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DE CONFIGURACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA MOTOR-CONTROLADOR UQM.

En este Anexo se explican las principales funciones del programa de configuración y diagnóstico del sistema motor-controlador. Se comentan las posibilidades de configuración de los parámetros del motor que resultan útiles para el vehículo eléctrico desarrollado.

Descripción del programa.

El programa que suministra el fabricante permite la configuración de los parámetros del motor-controlador proporcionando una gran flexibilidad en la configuración para obtener las máximas prestaciones del vehículo. Además permite visualizar y recoger la información de las condiciones del sistema a través de los diferentes sensores del controlador y del motor. La comunicación del controlador con el ordenador se realiza a través de un puerto de comunicación serie cruzado. La pantalla principal del programa se muestra en la siguiente figura.

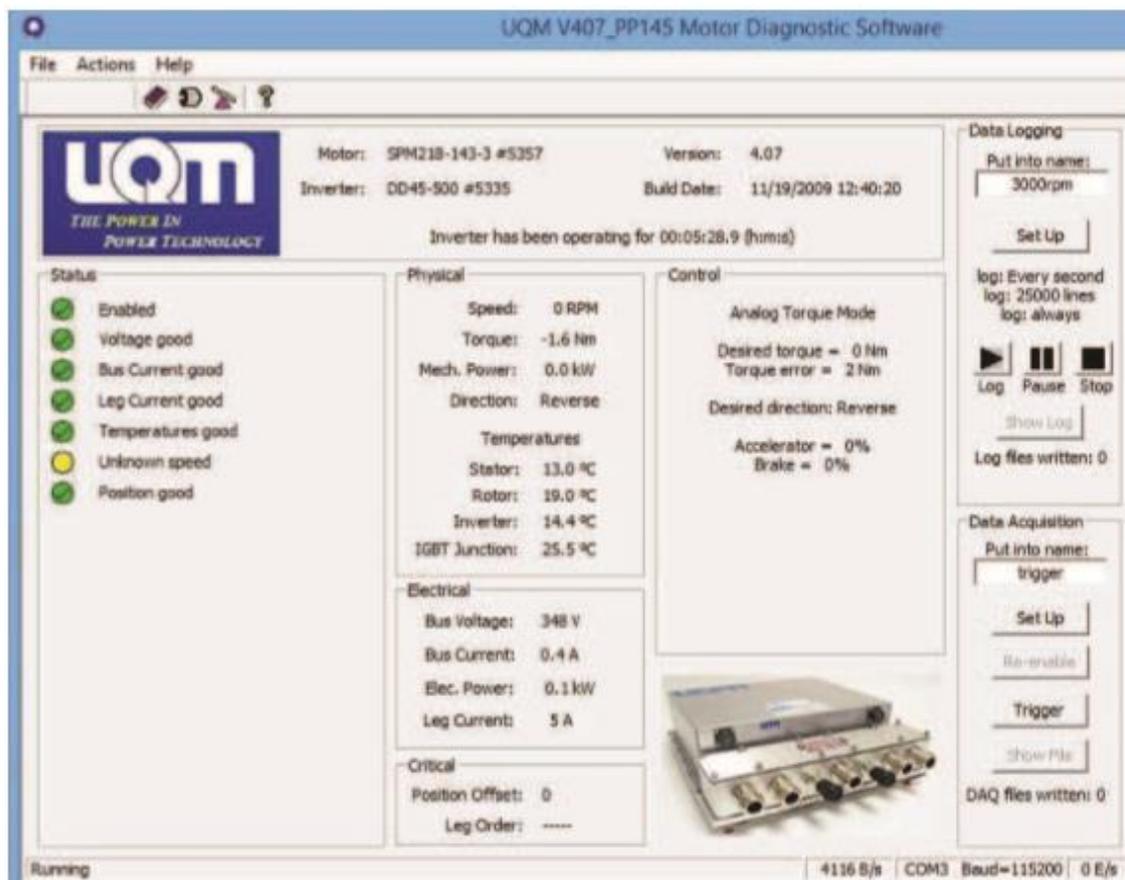


Figura 65. Pantalla principal del programa del motor-controlador

Como se aprecia en la figura anterior la pantalla está dividida en diferentes secciones que se describen a continuación:

Parte superior

Muestra las versiones de motor, controlador, software y la fecha del día.

Estado (Status)

Muestra el estado actual del sistema (tensión, corriente, temperatura...).

El color del círculo indica como es el funcionamiento: **verde** ↔ correcto, **amarillo** ↔ advertencia, **rojo** ↔ error grave

Físico (Physical): muestra el valor de las medidas físicas como la velocidad de giro, par motor, potencia mecánica, dirección de marcha y temperaturas.

Eléctrico (Electrical): muestra el valor de las medidas eléctricas (tensión, corriente y potencia eléctrica).

Crítico (Critical): informa sobre parámetros críticos de posición y orden de fases del motor.

Control: muestra el modo de control y sus principales parámetros.

Registro de datos (Data logging)

Controla la capacidad de registro de datos del programa.

Adquisición de datos (Data Acquisition): controla la capacidad de adquisición de datos del sistema motor-controlador.

Configuración del sistema

La configuración del sistema se muestra y se modifica en la ventana que se obtiene al elegir en el menú “Actions” la opción “System Configuration” (Figura 67).

Para modificar la configuración del sistema motor-controlador, el controlador debe estar deshabilitado (Disabled). Para conseguir este estado se tiene que pulsar sobre la pantalla táctil del autómatas la tecla ESC + la flecha hacia arriba. Así los cambios realizados tienen efecto al volver a habilitar (Enabled) el controlador.



Figura 66. Pantalla táctil del autómata

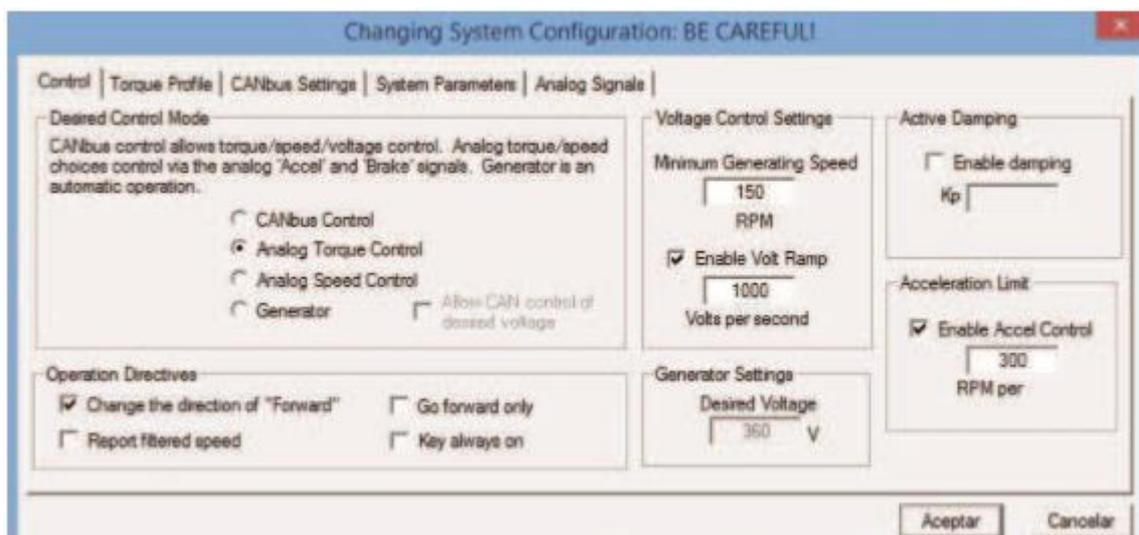


Figura 67. Configuración del sistema motor-controlador: pestaña de control

De todas las configuraciones posibles en este trabajo sólo se han utilizado las siguientes:

Modo de control deseado (Desired Control Mode): se debe elegir entre control de par o control de velocidad.

Directrices de operación (Operation directives): se pueden elegir las siguientes opciones en la operación del motor:

“Change the direction of Forward”: esta opción debe estar activada para que la dirección del motor se corresponda con la indicada por el autómata.

“Go Forward only”: se elige esta opción si se desea que el vehículo solo funcione marcha adelante.

“Key always on”: si se selecciona esta opción el controlador toma la alimentación de 12 VDC que necesita a partir las baterías de potencia y no de la entrada 12 VDC del pin N del conector Amphenol y que está conectado a las baterías auxiliares.

Límite de aceleración (Acceleration Limit): se puede elegir si se desea un límite máximo de aceleración (en rpm/s)

Una vez elegido el modo de control se deben configurar los parámetros del sistema en la pestaña “System Parameters”. En esta pestaña podemos modificar distintas variables como la tensión e intensidad máxima, o la velocidad máxima de giro del motor. Todo esto se muestra en la Figura 68.

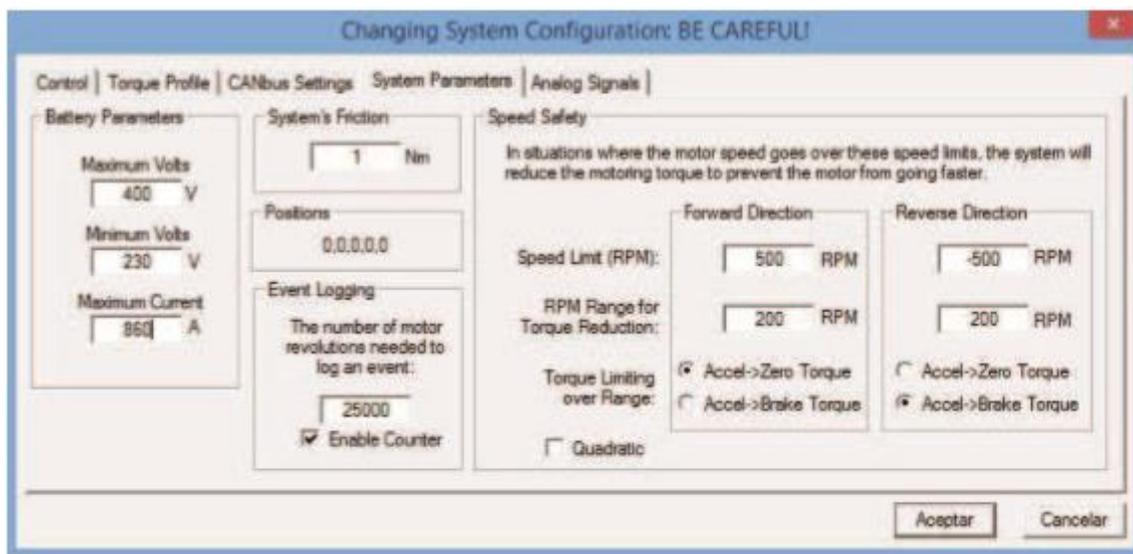


Figura 68. Configuración del sistema motor-controlador: pestaña de parámetros del sistema

De todas las configuraciones posibles en este trabajo sólo se han utilizado las siguientes:

“System’s Friction”: se puede introducir un par de fricción al sistema motor-controlador, que debe estar entre 1 Nm y 12 Nm.

“Speed Safety”: se puede fijar un límite de velocidad para que el motor no supere una velocidad deseada por el usuario. Este límite se puede fijar tanto en dirección hacia delante (Forward Direction) como en dirección hacia detrás (Reverse Direction).

Dentro de la aplicación de un límite de velocidad hay varios ajustes que se explican a continuación

- Speed limit (RPM): en esta opción se fija un valor de la velocidad a la que se desea que el límite comience a actuar.

- RPM Range for Torque Reduction: aquí se establece el rango de rpm entre el que el límite comenzará a actuar y estará actuando completamente una vez la velocidad llegue al speed limit.
- Torque Limiting over Range: Una vez la velocidad alcance el speed limit, hay dos posibilidades de aplicación del límite de velocidad a lo largo del rango:
 - Accel→Zero torque: Cuando se alcance el speed limit, el controlador comenzará a disminuir el par motor hasta que se llegué al final del rango en el que el par motor será cero.
 - Accel→Brake torque: Cuando se alcance el speed limit, el par motor de aceleración se hará cero, y comenzará a aplicarse un par de frenado que llegará al valor del máximo disponible al final del rango.
- Quadratic: El controlador aplicará, por defecto, el límite de velocidad de una forma lineal. Si se marca esta opción, el límite se aplicará de una forma cuadrática.

También se puede modificar la curva o perfil par-velocidad del motor en la opción “Torque profile”. Aquí se abre una ventana con distintos valores de par máximo alcanzable por el motor a distintas velocidades de giro. Estos valores de par máximo son tanto para pares de aceleración como para pares de frenado y se pueden modificar los valores a elección del usuario.

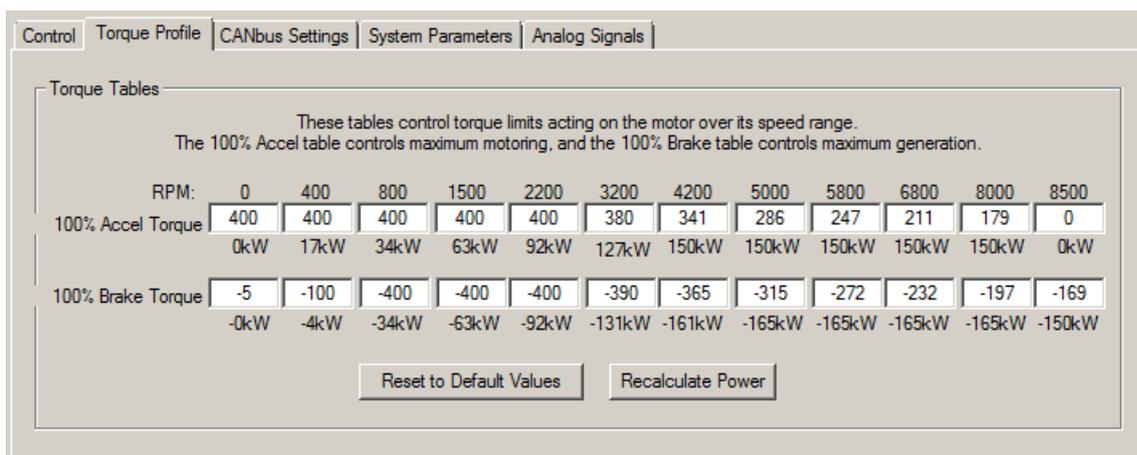


Figura 69. Ventana de Torque Profile

Configuración del registro de datos

Este registro de datos es una herramienta de diagnóstico que registra los datos de medición del sistema motor-controlador, en un archivo de hoja de cálculo en tiempo real, en intervalos que pueden variar entre un cuarto de segundo y varios segundos. El software de diagnóstico puede registrar datos indefinidamente, sólo limitado por el espacio en la unidad de disco del ordenador.

El registro de datos se controla a través de la esquina superior derecha de la pantalla principal del software de diagnóstico. En la Figura 70 se ilustran estos controles y en la Tabla 4 se describen sus funciones.

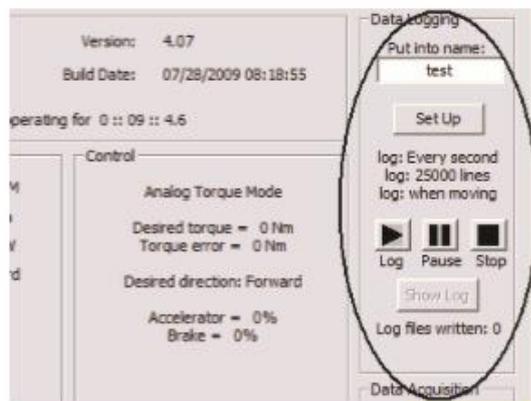


Figura 70. Registro de datos en el Software UQM

Nombre	Descripción
Put into name	Este cuadro de edición sirve para cambiar el nombre del archivo de forma rápida sin entrar en la configuración principal.
Set Up	Abre el menú principal de configuración del registro de datos.
Log	Inicia el registro de los datos en el archivo de registro. Si un archivo ya está registrando, se cierra el archivo y abre un nuevo archivo. Si está en pausa un archivo de registro, continuará el registro de datos.
Pause	Hace una pausa en el registro de datos en el archivo de registro.
Stop	Detiene el registro y cierra el archivo de registro.
Show Log	Inicia el programa de hoja de cálculo con el último archivo de registro de datos. Esta característica sólo funciona si tiene un programa de hoja de cálculo (Excel), que puede leer archivos con el formato CSV (variables separadas por coma).

Tabla 4. Herramientas del registro de datos

En el registro de datos se representan todos los parámetros que recoge el controlador, tanto variables de estado del sistema como indicación de los modos de control y seguridad activos en el momento del ensayo. En la Tabla 5 se representan los más útiles para la realización de este trabajo.

Nombre	Descripción
Tiempo	El tiempo de duración del ensayo partiendo desde cero
Velocidad (rpm)	Velocidad de giro del motor en revoluciones por minuto.
Tensión de alimentación (V)	Media de la tensión de alimentación en voltios
Potencia eléctrica (W)	Potencia eléctrica en vatios, calculada por el controlador a partir de la tensión y la corriente de alimentación

Tabla 5. Variables del registro de datos

El menú del registro de datos se representa en la siguiente figura.

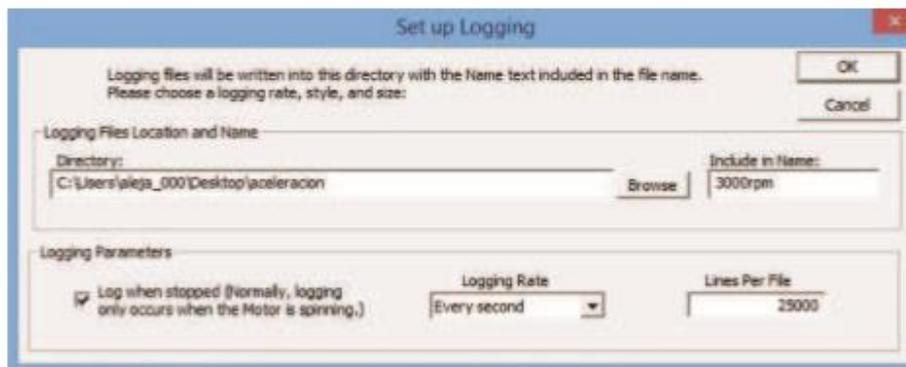


Figura 71. Menú del registro de datos

En este menú se puede elegir el nombre del archivo, el directorio en el que guardar el archivo, el rango temporal de grabación, el número de líneas de la hoja de cálculo y la opción de registrar datos únicamente si el motor está en movimiento.

Configuración adquisición de datos

La función de adquisición de datos de UQM es una herramienta de diagnóstico formidable para el diseño de los sistemas. El sistema motor-controlador UQM está midiendo el par, la tensión, la corriente y la velocidad de su sistema; y el DAQ hace que la información esté disponible con altas velocidades de muestreo. La longitud de los datos es limitada, y se registran en un archivo de hoja de cálculo después de ocurrir un evento desencadenante, que puede ser elegido por el usuario. En la Figura 72 se representa los controles de esta herramienta.

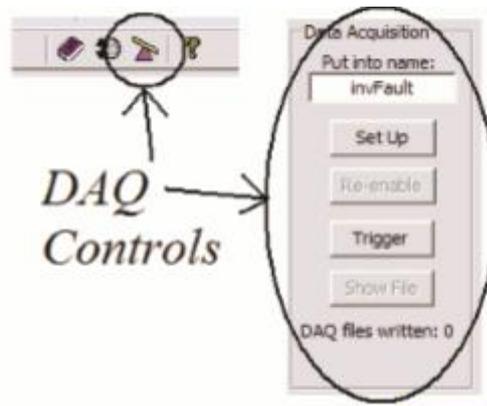


Figura 72. Adquisición de datos del Software UQM

Como se puede observar se puede acceder a esta función en su propio menú, situado en la esquina inferior derecha del menú principal; y también en la barra de herramientas situada en la parte superior.

Como se ha comentado el software registra datos hasta que ocurre un suceso determinado. En la Tabla 6 se representan algunos de estos sucesos que pueden ser elegidos por el usuario.

<i>Suceso desencadenante</i>	<i>Descripción</i>
Corriente de alimentación alcanza el nivel de disparo	Se fija un nivel máximo de corriente y el disparo (Comienzo de adquisición de datos) ocurre cuando la corriente de alimentación supera este valor.
Tensión de alimentación alcanza el nivel de disparo	Se fija un nivel máximo de tensión y el disparo (Comienzo de adquisición de datos) ocurre cuando la tensión de alimentación supera este valor.
Velocidad alcanza el nivel de disparo	Se fija un nivel máximo de velocidad (RPM) y el disparo (Comienzo de adquisición de datos) ocurre cuando la velocidad atraviesa este valor por encima o por debajo.
Par motor alcanza el nivel de disparo	Se fija un nivel máximo de par motor y el disparo (Comienzo de adquisición de datos) ocurre cuando el par cruza este valor en cualquier dirección.
Cambio de dirección	El disparo ocurre cuando la dirección del motor cambia, ya sea de hacia delante a hacia atrás o viceversa.
Salta modo de Control de Tensión Forzado	El disparo ocurre cuando el controlador está en el modo de control de tensión forzado.

Tabla 6. Sucesos para parar la adquisición de datos

El menú de Adquisición de datos se representa en la Figura 73.

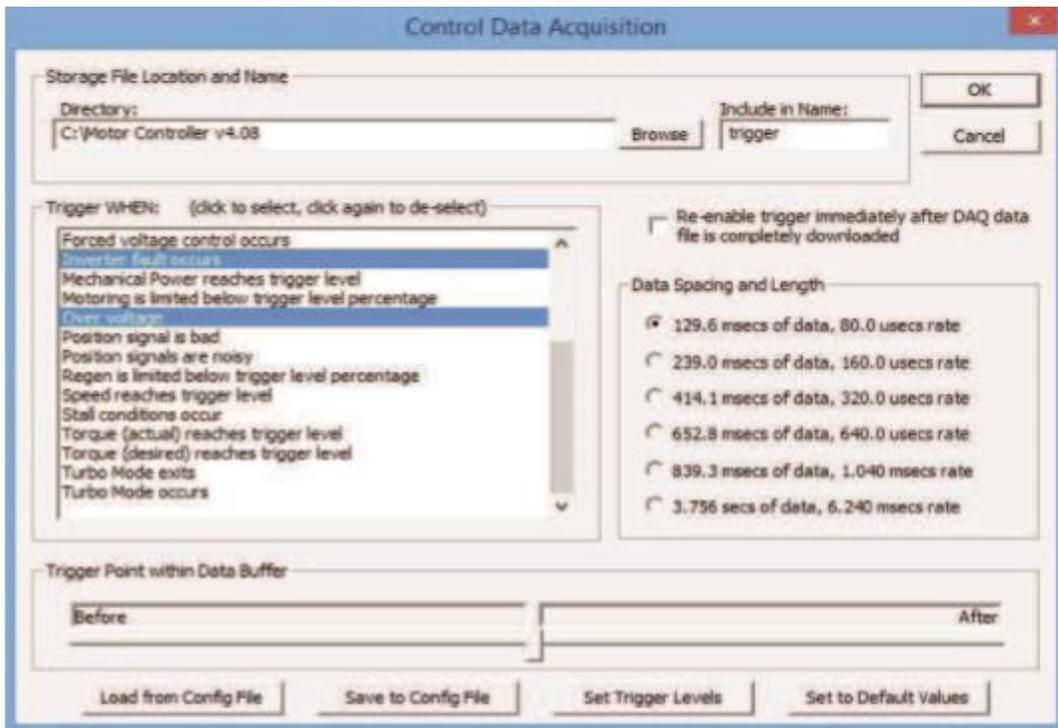


Figura 73. Menú de adquisición de datos

En este menú se puede elegir el nombre y directorio del archivo además de elegir el suceso desencadenante que produzca el comienzo de registro de datos. También se puede seleccionar el tiempo y la longitud del registro de los datos.