



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis del comportamiento y consumo de vehículo eléctrico tipo carro de golf con sistema de captación de energía solar integrado.

Analysis of the behavior and consumption of electric vehicle type golf cart with system of capture of solar energy integrated

Autor

Francisco Javier Granado Alfonso

Directores

Emilio Larrodé Pellicer

Juan Bautista Arroyo García

EINA

2018



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^{ña}. Francisco Javier Granado Alfonso

con nº de DNI 72990416-P 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 consumo de vehículo eléctrico tipo carro de golf
con sistema de captación de energía solar integrado.

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

Zaragoza, a 23 de noviembre de 2018

Fdo: _____

Análisis del comportamiento y consumo de vehículo eléctrico tipo carro de golf con sistema de captación de energía solar integrado.

RESUMEN

En el siguiente trabajo se lleva a cabo la puesta en marcha del vehículo eléctrico Zytel Park, tipo carrito de golf, que será considerado como sistema de referencia.

Para la puesta en marcha son necesarias diferentes acciones correctivas sobre el carrito.

Posteriormente se añadirá al techo del carrito, un sistema de captación solar, compuesto por una placa solar y un regulador, que permitirá la recarga de las baterías gracias a la radiación solar.

Se realizarán ensayos, tanto al sistema de referencia como al sistema modificado en diferentes contextos.

Al analizar los resultados, se buscarán evidencias que demuestren la mejora del consumo del vehículo modificado con respecto al de referencia.

El objetivo del trabajo será encontrar y cuantificar las ganancias conseguidas gracias a la introducción del sistema de captación.

Contenido

1.	Introducción	1
2.	Objeto y justificación	3
3.	Alcance.....	4
4.	Planteamiento, datos del problema.....	5
4.1	Puesta a punto	5
5.	Metodología de análisis.....	11
5.1	Herramienta de cálculo.....	11
6.	Realización de ensayos y resultados	14
6.1	Ensayo test.....	14
6.2	Descarga de baterías.....	16
6.2.1	Sin la placa solar montada.....	16
6.2.2	Con la placa montada sin usar captación solar	18
6.2.3	Con la placa montada y con captación solar	21
6.3	Carga de baterías	24
6.3.1	Carga con fuente de tensión	24
6.3.2	Carga solar	26
7.	Conclusiones.....	30
7.1	Vehículo en movimiento.....	30
7.2	Vehículo estacionado.....	31
7.3	Propuestas de continuación del TFG	31
8.	Bibliografía.....	35
	Anexo A: Registrador de datos USB-5106	36
	Anexo B: Trazador curvas I-V PVPM 6020C.....	40
	Anexo C: Circuito de acondicionamiento	44
	Anexo D: Placa del acelerador	47
	Anexo E: Zytel Park	48
	Características del vehículo	48
	Regulador.....	49
	Frenado regenerativo	52
	Motor eléctrico	55
	Anexo F: Protocolo ensayos	56
	Condiciones iniciales.....	56

Realización del ensayo	57
Resultados posteriores	57
Circuitos	58
Anexo G: Captación solar	60
Placa solar	60
• Ensayo 1.....	61
• Ensayo 2.....	62
• Conclusiones.....	63
Célula calibrada.....	63
Regulador solar	65
Ajuste de parámetros	66
Carga de baterías.....	70

Índice de figuras

Figura 1. Vehículo tipo carrito de golf	3
Figura 2. Proceso de corte del nuevo cableado	5
Figura 3. Nuevo cableado con conectores	6
Figura 4. Baterías instaladas	7
Figura 5. Neumáticos desgastados	8
Figura 6. Neumáticos nuevos	8
Figura 7. Acelerador. Puede verse el sensor Hall	9
Figura 8. Cables y mangueras sujetas al chasis	9
Figura 9. Interruptor placa solar	10
Figura 10. Datos GPS en Basecamp	12
Figura 11. Hoja " REAL data"	13
Figura 12. Resumen ajuste a cero	13
Figura 13. SOC con respecto a tensión. Fabricante Trojan	14
Figura 14. Vehículo al inicio de la carga	26
Figura 15. Vehículo al final de la carga	27
Figura 16. Resumen de datos de la carga solar registrados por el PL40	29
Figura 17. Vista superior de la placa solar instalada en el vehículo	32
Figura 18. Registrador datos	36
Figura 19. Configuración del registrador a través del software	37
Figura 20. Esquema de las sondas del registrador	38
Figura 21. Visualización y exportación de resultados	39
Figura 22. PVPM 6020C	40
Figura 23. Partes sistema de medición	41
Figura 24. Medida a través de PC	42
Figura 25. Placa de mediciones	44
Figura 26. Esquema de los divisores de tensión implementados	46
Figura 27. Placa del acelerador. Vista superior	47
Figura 28. Placa del acelerador. Vista inferior	47
Figura 29. Controlador Curtis	49
Figura 30. Conexión acelerador ITS	50
Figura 31. Conexión de acelerador utilizada	50
Figura 32. Relación de pines del controlador	51
Figura 33. Cableado del controlador	52
Figura 34. Esquema de funcionamiento de los motores de CC	53
Figura 35. Mapa de frenado regenerativo del controlador	54
Figura 36. Placa de características del motor	55
Figura 37. Ejemplo condiciones iniciales	56
Figura 38. Ejemplo de gráfica obtenida	58
Figura 39. Circuito 0	58
Figura 40. Circuito 1	59
Figura 41. Ensayo placa solar 1	61
Figura 42. Ensayo placa solar 2	62
Figura 43. Curva ensayo placa solar 2	63

Figura 44. Célula calibrada Fadisol C-0121.....	64
Figura 45. Regulador solar PL40	66
Figura 46. Esquema del menú del PL40.....	67
Figura 47. Resumen programas PL40	68
Figura 48. Resumen de parámetros PL40.....	69
Figura 49. Estados de carga PL	70

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de consumos según tipo de vehículo [2]	1
Tabla 2. Configuración de los ensayos a realizar	11
Tabla 3. Estado de las baterías en el ensayo 1	14
Tabla 4. Estado de las baterías en el ensayo 2	16
Tabla 5. Resumen de valores medios en los ensayos 3 y 4	18
Tabla 6. Resumen del ensayo 4	20
Tabla 7. Resumen de los valores medios en los ensayos 5 y 6	21
Tabla 8. Resumen de la radiación durante la carga solar	28
Tabla 9. Conclusiones vehículo en movimiento	30
Tabla 10. Conclusiones vehículo estacionado	31
Tabla 11. Radiación solar media diaria [1]	33
Tabla 12. Resumen de datos PVPM	43
Tabla 13. Dimensiones Zytel Park	48
Tabla 14. Especificaciones eléctricas Zytel Park	48
Tabla 15. Motor Zytel Park	48
Tabla 16. Baterías Zytel Park	48
Tabla 17. Especificaciones mecánicas Zytel Park	48
Tabla 18. Resumen resultados	63
Tabla 19. Calibración célula solar	65

Índice de gráficas

Gráfica 1. Tensión de las baterías durante el ensayo 1.....	15
Gráfica 2. Tensión de las baterías durante el ensayo 2.....	16
Gráfica 3. Potencias durante el ensayo 2.....	17
Gráfica 4. Velocidad del vehículo durante el ensayo 4.....	18
Gráfica 5. Corriente absorbida por el motor durante el ensayo 4.....	19
Gráfica 6. Tensión de las baterías durante el ensayo 4.....	19
Gráfica 7. Potencia consumida y regenerada durante el ensayo 4.....	19
Gráfica 8. Radiación solar durante el ensayo 5.....	22
Gráfica 9. Corriente de carga solar durante el ensayo 5.....	22
Gráfica 10. Potencias durante el ensayo 5.....	23
Gráfica 11. Potencias durante el ensayo 6.....	23
Gráfica 12. Tensión durante la carga con fuente.....	24
Gráfica 13. Corriente durante la carga con fuente.....	24
Gráfica 14. Tensión durante la carga con fuente corregida.....	25
Gráfica 15. Corriente durante la carga con fuente.....	25
Gráfica 16. Radiación solar el día del ensayo.....	26
Gráfica 17. Tensión durante la carga solar.....	27
Gráfica 18. Corriente durante la carga solar.....	28
Gráfica 19. Radiación solar durante el ensayo.....	28
Gráfica 20. Ejemplo curva característica medida.....	42
Gráfica 21. Caracterización de los sensores de intensidad.....	45
Gráfica 22. Curva ensayo placa solar 1.....	62
Gráfica 23. Calibración de la célula solar.....	65

1. Introducción

El transporte de personas y mercancías ha sido, es y será básico para nuestra calidad de vida en la actualidad, este transporte está mayoritariamente basado en motores de combustión interna, lo cual genera un alto impacto ambiental debido a su contaminación y dependencia de los recursos fósiles no renovables. Además, el rendimiento de estos motores es muy bajo, llegando a alcanzar en circuitos urbanos mínimos que rondan el 10%, lo que genera grandes consumos. A pesar de que en los últimos 30 años las emisiones se han reducido a la tercera parte, esto sigue sin ser suficiente y es necesaria una alternativa para el futuro. Este nuevo modelo de transporte debe de ser más eficiente y respetuoso con el medio ambiente, pero sin perder en prestaciones. Esta alternativa, es el vehículo eléctrico.

El primer vehículo de propulsión eléctrica data de entre 1832 y 1839 y a pesar de que estuvo en auge en 1900, superando en 10 a 1 a los de gasolina, hoy en día apenas son utilizados. Con la construcción de grandes carreteras, la autonomía empezó a jugar un papel muy importante y la gasolina tenía precios muy asequibles, por lo que el motor de gasolina fue ganando fuerza.

En la actualidad el motor eléctrico empieza a recuperar su presencia, pero mayoritariamente mediante hibridación con un motor de combustión y no tanto como propulsión primaria. Como podemos ver en la Tabla 1 el consumo de un VE es sustancialmente menor al de los vehículos con motores de combustión.

El VE y su papel para la mayor penetración de las ER				El Vehículo Eléctrico				
				Autonomía				
Consumo vehículo con motor de combustión en carretera								
Combustible	Dens kg /l	kWh /kg	kWh./ l	Cada 100 km				Cada km
				Consumo(l)	Kg	kWh	Coste	Wh
Gasóleo	0,84	12	10	6	5,04	60,48	8,3	605
Gasolina	0,735	11,86	8,6	8	5,88	69,74	11,6	700

Eléctrico	Cada 100 km			Peso de la batería (Kg)				
	kWh	kWh		Ión Litio	Ión litio	Ión Litio	Litio Aire	Litio Aire
	útiles	Consumidos	coste	Actual	en breve	Teórica	Futuro	Teórica
	15	18,5	1,3-3,15	123,9	85,8	44,6	13,4	2,1

Tabla 1. Resumen de consumos según tipo de vehículo [2]

El problema del VE radica en el almacenamiento de la energía ya que, aunque se están haciendo avances en el desarrollo de las baterías, en lo que a autonomía se refiere, no puede competir con los combustibles fósiles. Es por esto por lo que es necesario

estudiar nuevas formas de almacenar energía eléctrica o de producirla en los propios vehículos.

En este TFG se va a estudiar la viabilidad de producir energía eléctrica en el propio vehículo a través de captación de radiación solar. A lo largo del trabajo se comparará el comportamiento del vehículo inicial y el del nuevo sistema, cuantificando la ganancia obtenida.

2. Objeto y justificación

El objeto de este proyecto es la puesta a punto de un vehículo tipo carrito de golf (ver Figura 1) de tracción eléctrica alimentado con baterías y el estudio de la optimización del consumo de energía, mediante la utilización de un sistema auxiliar de captación de energía, consistente en una placa solar que asista a las baterías. Los datos referentes al vehículo se encuentran en el Anexo E: Zytel Park. El objetivo por tanto es desarrollar la configuración de gestión de energía del vehículo y realizar las pruebas para la validación del sistema. Asimismo, estudiar la mejora de los consumos de energía por la introducción del sistema auxiliar.



Figura 1. Vehículo tipo carrito de golf

3. Alcance

El alcance del trabajo abarca en primer lugar la puesta a punto del vehículo y análisis de la configuración inicial. Realizando las modificaciones y ajustes necesarios para su funcionamiento.

En segundo lugar, se prepararán los ensayos a realizar, se estipulará cuales van a ser y se diseñará un protocolo riguroso de actuación para cada uno de ellos.

En tercer lugar, se realizarán los ensayos. Cada uno tendrá una configuración determinada que buscará poner de manifiesto las diferencias observadas entre el modelo inicial y el prototipo ensayado.

En cuarto lugar, se obtendrán los datos, y se estudiarán de acuerdo a una metodología de análisis común a todos ellos. El análisis de los datos debe de facilitar la obtención de conclusiones.

El último lugar se obtendrán las conclusiones. Estas irán enfocadas a validar el sistema y comparar el comportamiento entre el modelo inicial y el estudiado en el trabajo.

4. Planteamiento, datos del problema

Inicialmente se dispone de un carrito de golf con un motor de 48V y baterías de tracción, que necesita una puesta a punto, ya que no está operativo. Van a ser necesarias una serie de modificaciones que se detallan en el siguiente epígrafe.

Para alcanzar los objetivos del trabajo, es necesario poder medir en todo momento la tensión de las baterías, la corriente absorbida por el motor, la corriente cedida por la placa fotovoltaica y la radiación solar captada. Estas magnitudes nos permitirán conocer el comportamiento del vehículo en todo momento y cuantificar su consumo. Para poder llevar a cabo la medición de todas las variables al mismo tiempo es necesario un registrador de datos, ver Anexo A: Registrador de datos USB-5106. Para adaptar el registrador a las necesidades del trabajo es necesario añadir algunos elementos, por lo que se fabrica un circuito de acondicionamiento de medidas, ver Anexo C: Circuito de acondicionamiento.

4.1 Puesta a punto

El vehículo venía de serie con unas baterías que se desecharon antes de iniciar este trabajo debido a su desgaste. Se va a proceder a instalar unas baterías que no tienen los mismos conectores que las antiguas, por lo que es necesario rehacer todo el cableado de potencia.



Figura 2. Proceso de corte del nuevo cableado



Figura 3. Nuevo cableado con conectores

Las baterías que se instalan han sido utilizadas previamente y se desconoce su estado de salud (SOH, State Of Health) actualmente, sobre todo de 3 de ellas, más antiguas que las demás, fácilmente reconocibles por ser de color amarillo, frente al azul del resto. El SOH es difícil de calcular y puede hacerse con diferentes modelos, pero sería necesario haber tenido monitoreadas las baterías durante sus usos previos. Al no poseer esa información, mediante un primer ensayo test se analizará el estado de las baterías. Después del ensayo test se decide descartar las 3 más antiguas ya que estas parecen haber agotado su vida útil y se sustituyen por unas iguales, también amarillas, sin ningún uso previo. Son baterías Tudor de 6V y 200Ah.



Figura 4. Baterías instaladas

El estado de los neumáticos delanteros no es el adecuado para realizar pruebas de conducción ya que se encuentran muy desgastados y se decide cambiarlos por seguridad.



Figura 5. Neumáticos desgastados



Figura 6. Neumáticos nuevos

En un primer momento se estudió la viabilidad de conectar el acelerador directamente al Curtis como se explica en el Anexo E: Zytel Park pero no fue posible y finalmente se utilizó la placa, ver Anexo D: Placa del acelerador. Al subir el carrito al elevador se pudo ver que la sirga del freno y algún cable colgaban del chasis con el riesgo de poder romperse durante la conducción, por lo que se aseguran con bridas.

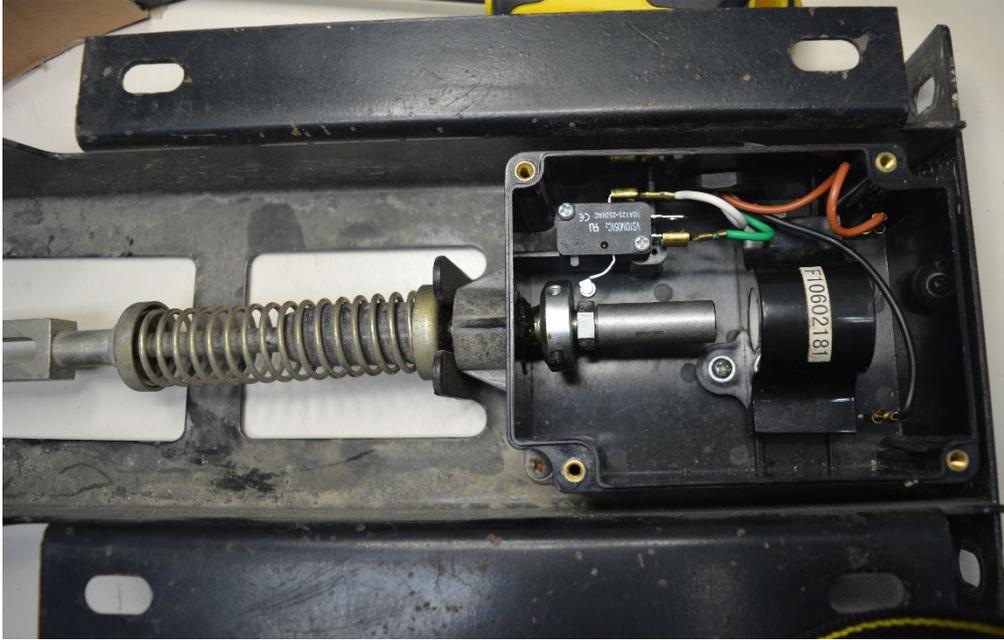


Figura 7. Acelerador. Puede verse el sensor Hall



Figura 8. Cables y mangueras sujetas al chasis

Para poder conectar y desconectar la placa solar de las baterías según el ensayo que se esté realizando, se añade un interruptor, que dejará la placa a circuito abierto cuando no se requiera su uso.

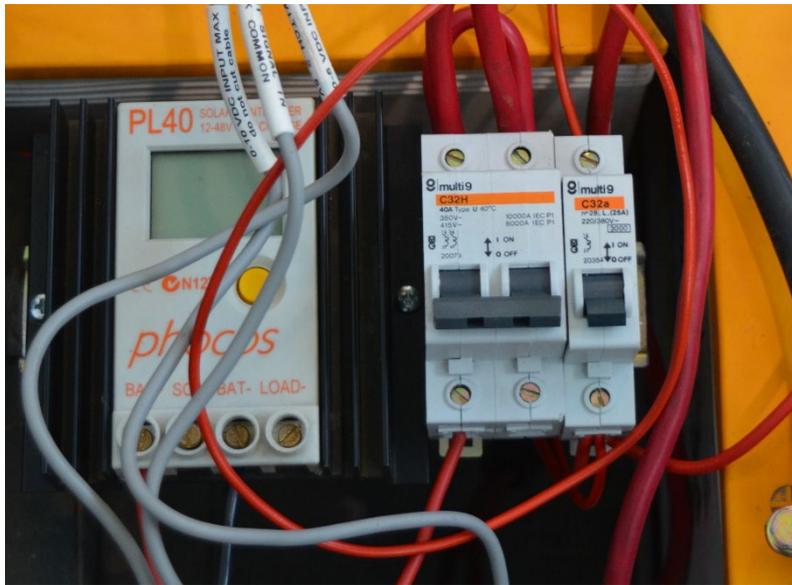


Figura 9. Interruptor placa solar

5. Metodología de análisis

Para alcanzar las conclusiones deseadas, se van a realizar ensayos con diferentes configuraciones en el vehículo de manera que se estudien todas las variables.

	movimiento del vehículo	placa solar montada	placa solar funcionando
Ensayo 1	SI	NO	NO
Ensayo 2	SI	NO	NO
Ensayo 3	SI	SI	NO
Ensayo 4	SI	SI	NO
Ensayo 5	SI	SI	SI
Ensayo 6	SI	SI	SI
Ensayo 7	NO	SI	NO
Ensayo 8	NO	SI	SI

Tabla 2. Configuración de los ensayos a realizar

Todos los ensayos siguen un conjunto de pautas, con el fin de conseguir repetibilidad, que se recogen en el Anexo F: Protocolo ensayos.

Los métodos de obtención de datos van a ser dos, por un lado, los sensores de tensión, intensidad y radiación que se almacenarán en el registrador de datos (ver Anexo A: Registrador de datos USB-5106) y, por otro lado, los datos GPS se registrarán con un reloj GPS marca Garmin, modelo Fénix 3. Para poder trabajar con una única base de datos, es necesaria una herramienta de cálculo.

5.1 Herramienta de cálculo

Ya que se obtienen más de 4.000 mediciones por ensayo, llegando a alcanzar las 80.000, esta herramienta será una hoja Excel dada su versatilidad y facilidad de manejo. Se crea una plantilla que se adapta a las necesidades de todos los ensayos y consta de las siguientes hojas:

- Condiciones iniciales. En ella se resumen los datos relevantes del ensayo, (ver Anexo F: Protocolo ensayos).
- GPS data. Mediante el programa “Basecamp” se pueden recuperar todos los datos guardados por el reloj en forma de tabla (Ver Figura 10). Estos datos se importan en esta hoja.
- RAW data. En esta hoja se importan los datos en formato .CSV obtenidos del registrador (Ver Anexo A: Registrador de datos USB-5106).
- REAL data. En esta hoja se les dará el sentido físico correcto a las mediciones del registrador, se centralizará toda la información y se calcularán magnitudes derivadas de la medición (Ver Figura 11). Las columnas en blanco son datos medidos por el registrador, las columnas azules son datos reales una vez aplicada la corrección de escala correspondiente y las columnas verdes son datos obtenidos mediante cálculo con los anteriores. En verde oscuro aparece el valor más relevante de consumo del vehículo, medido en kWh*100km.

- En las hojas siguientes se grafican las magnitudes más relevantes durante los ensayos, estas son:
 - Energía. Balance de energía entre la consumida por el motor y la obtenida mediante freno regenerativo y captación solar.
 - Radiación solar, medida en W/m^2 .
 - Corriente motor. Corrientes positivas consumo, corrientes negativas freno regenerativo.
 - Corriente carga. Corriente suministrada por la placa solar.
 - Potencias. Consumida Vs freno regenerativo Vs carga solar.
 - Tensión de las baterías.

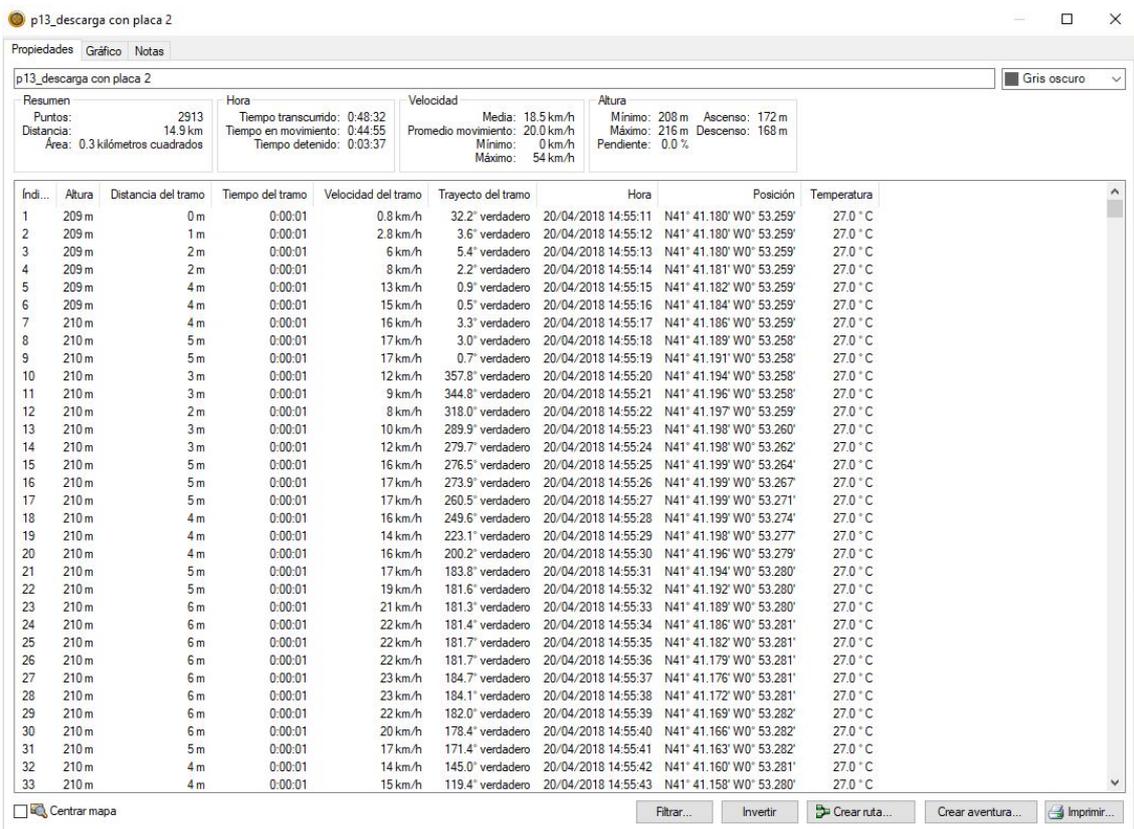


Figura 10. Datos GPS en Basecamp

Tension baterías media	tension baterías real	corriente motor media	Corriente motor AMP	corriente carga media	corriente carga AMP	Placa calibrada	Radiación	altura	velocidad	distancia	Potencia consumida	Potencia freno regenerativo	Potencia carga	Balance potencia	Balance energía	pendiente motor	ajuste cero motor	Pendiente radiación				
V	V	V	A	V	A	A	W/m ²	M	Km/h	M	W	W	W	W	J	Wh	Kwh	Kwh	Kwh*100Km	55,157	246,576059	3472,2
minimo	0,001		-49,573		-0,017		1,719	208,000	0,000		0,000	-2479,212	-116,692	-2595,904								
maximo	50,011		90,476		2,354		699,110	216,000	54,000	14920	4136,782	0,000	0,813	4030,979			1048,587	1,048587	7,02807	pendiente carga	ajuste cero carga	
media	46,058		20,696		1,406		433,956	213,091	18,617		966,495	-29,134	-64,347	873,014						27,751	124,47378	
8.14282	48,85692	2,2352	0,00000	2,24269	0,00000	0,00107	1,857627				0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0	0					
8.14282	48,85692	2,2352	0,00000	2,24269	0,00000	0,00107	1,857627				0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0	0				
8.14282	48,85692	2,2353	0,00772	2,24262	-0,00389	0,00107	1,857627				0,37727	0,00000	0,18982	0,56709	0,56709	0,000158	1,58E-07					
8.14269	48,85602	2,2352	0,00000	2,24262	-0,00389	0,00107	1,857627				0,00000	0,00000	0,18981	0,75690	0,00021	2,1E-07						
8.14267	48,85602	2,2352	0,00000	2,24254	-0,00833	0,00107	1,857627				0,00000	0,00000	0,40674	0,40674	1,16364	0,000323	3,23E-07					
8.14267	48,85602	2,2353	0,00772	2,24254	-0,00833	0,00099	1,718739				0,37727	0,00000	0,40674	0,78401	1,94765	0,000541	5,41E-07					
8.14252	48,85512	2,2353	0,00772	2,24254	-0,00833	0,00099	1,718739				0,37726	0,00000	0,40673	0,78399	2,73164	0,000759	7,59E-07					
7.57977	45,47862	2,6375	44,37160	2,28168	2,16402	0,37217	646,1243	208	25	734	2017,85915	0,00000	-98,41678	1919,54237	449723,93737	124,9234	0,124923					
7.5906	45,54360	2,6134	41,71965	2,28267	2,21897	0,38148	662,2874	209	25	741	1900,06313	0,00000	-101,05988	1799,00325	451522,94062	125,4231	0,125243					
8.02869	48,17214	2,1855	-5,48812	2,28397	2,29112	0,38323	665,3256	209	24	748	0,00000	-264,37456	-110,36828	-374,74283	451148,19778	125,319	0,125319					
8.05035	48,30210	2,1914	-4,83175	2,28466	2,32942	0,39368	683,4678	209	21	754	0,00000	-233,38383	-112,51583	-345,89965	450802,29813	125,223	0,125223					
8.06195	48,37170	2,1948	-4,46110	2,28428	2,30833	0,39094	678,7109	210	17	759	0,00000	-215,79090	-111,65776	-327,44866	450474,84947	125,132	0,125132					
7.61624	45,69744	2,7231	53,82330	2,28115	2,13461	0,38094	661,3499	209	13	763	2459,58719	0,00000	-97,54607	2362,04112	452836,89059	125,7881	0,125788					
7.56268	45,37608	2,6986	51,11289	2,28046	2,09631	0,37911	658,1729	209	17	768	2319,30253	0,00000	-95,12235	2224,18017	455061,07077	126,406	0,126406					
7.58312	45,49872	2,6648	47,39310	2,28031	2,08799	0,37743	655,2562	210	19	773	2156,32542	0,00000	-95,00066	2061,32476	457122,39553	126,9785	0,126979					
7.58389	45,50334	2,6671	47,63689	2,28031	2,08799	0,37758	655,5166	210	21	779	2167,63781	0,00000	-95,01030	2072,62751	459195,02304	127,5543	0,127554					
7.58663	45,51978	2,6669	47,85532	2,28023	2,08355	0,37636	653,3986	210	19	784	2178,36347	0,00000	-94,84251	2083,52096	461278,54400	128,133	0,128133					
7.5938	45,56280	2,6555	46,36608	2,28046	2,09631	0,37896	657,9125	210	20	789	2112,56831	0,00000	-95,51378	2017,05453	463295,59853	128,6933	0,128693					

Figura 11. Hoja " REAL data"

Una vez se han importado en la misma referencia temporal, en la hoja "REAL data" los datos GPS y los datos del registrador, se realiza el ajuste del cero. Esto es necesario para evitar lecturas erróneas de los sensores y despreciar los consumos con el vehículo detenido. Para ello se consideran las primeras mediciones, con el vehículo parado y dentro de la nave como cero relativo. Una vez conocido este dato y las pendientes de proporcionalidad de los sensores de intensidad pueden calcularse los datos reales. Estos cálculos pueden encontrarse en las casillas naranjas de la hoja "REAL data", (Ver Figura 12)

pendiente motor	ajuste cero motor	Pendiente radiación
55,157	246,576059	3472,2
pendiente carga	ajuste cero carga	
27,751	124,47378	

Figura 12. Resumen ajuste a cero

A partir de una plantilla se genera una hoja de cálculo para cada ensayo, ya sea de conducción o de carga de baterías.

6. Realización de ensayos y resultados

6.1 Ensayo test

Una vez finalizados los trabajos previos y la puesta a punto del vehículo se procede al primer ensayo. El objetivo de este es verificar el correcto funcionamiento de todas las partes, el estado de las baterías e intentar estimar cual será la duración de los ensayos que permita observar suficiente descarga en las baterías. Al no poseer hoja de características de las baterías que pueda aportar información sobre el SOC según la tensión como hacen algunos fabricantes (Ver Figura 13), este ensayo servirá para conocer el punto de descarga máxima que se permitirá en los posteriores.

STATE OF CHARGE MEASURE OF OPEN-CIRCUIT VOLTAGE

Percentage Charge	Specific Gravity	Cell	6 Volt
100	1.277	2.122	6.37
90	1.258	2.103	6.31
80	1.238	2.083	6.25
70	1.217	2.062	6.19
60	1.195	2.040	6.12
50	1.172	2.017	6.05
40	1.148	1.993	5.98
30	1.124	1.969	5.91
20	1.098	1.943	5.83
10	1.073	1.918	5.75

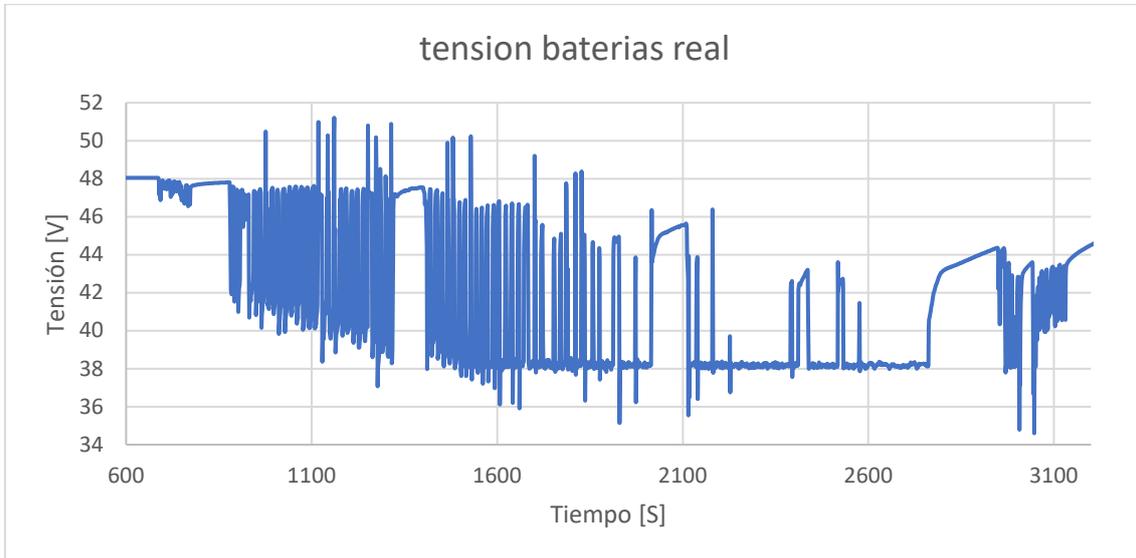
Figura 13. SOC con respecto a tensión. Fabricante Trojan

El ensayo se realizó sin la estructura de la placa solar y se registraron datos que confirmaban que el estado de todas las baterías no era el adecuado. En el km3 empieza a hacerse patente una reducción de prestaciones que se agrava drásticamente en el km5 cuando el vehículo apenas puede avanzar. Las mediciones iniciales y finales reflejan que las 3 baterías amarillas (de la 1 a la 3) no pueden seguir siendo utilizadas ya que experimentan una descarga demasiado drástica.

tensión baterías	antes	después
Vbat1	5,964	4,12
Vbat2	5,994	4,102
Vbat3	5,932	5,796
Vbat4	6,094	6,036
Vbat5	6,107	6,045
Vbat6	6,081	6,026
Vbat7	6,079	6,02
Vbat8	6,009	5,959
Vbat total	48,25	44,8

Tabla 3. Estado de las baterías en el ensayo 1

La tensión medida después, de acuerdo con el protocolo de ensayos, se toma pasados 10 minutos desde que se detiene el vehículo, pero se puede observar en la Gráfica 1 que el mínimo que se alcanza en el transcurso del ensayo es aún más preocupante llegándose a un mínimo de unos 38V. En este momento son descartadas estas baterías y son sustituidas por otras nuevas del mismo fabricante.



Gráfica 1. Tensión de las baterías durante el ensayo 1

6.2 Descarga de baterías

Se van a realizar 5 ensayos de conducción en los que se monitorizará la descarga de las baterías con diferentes configuraciones. En primer lugar, se realizará un ensayo de comprobación para verificar que ahora si el vehículo está en óptimas condiciones de funcionamiento. Este ensayo se realizará sin la estructura de la placa fotovoltaica. Posteriormente se realizarán 4 ensayos más, los dos primeros para conocer el comportamiento de partida sin captar energía solar y los 2 últimos se realizarán con la captación solar operativa para estudiar las ganancias del prototipo. Todos ellos van a estar sujetos a los estándares definidos en el Anexo F: Protocolo ensayos.

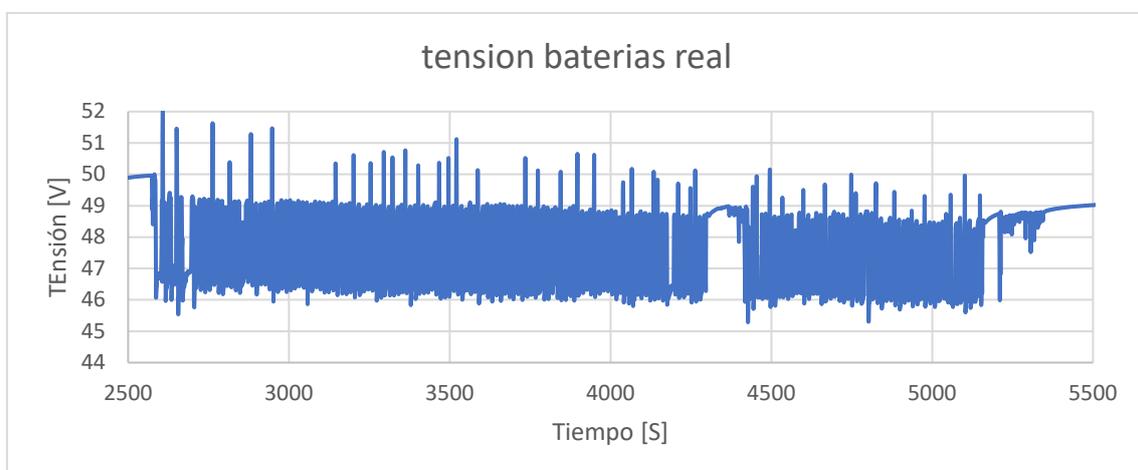
6.2.1 Sin la placa solar montada

Una vez sustituidas las baterías y cargadas todas ellas al máximo se procede con el ensayo. Se realizarán 15km en el circuito 1, sin la estructura de la placa solar y la única recarga de las baterías será la que proviene del freno regenerativo. Esta vez el ensayo se concluye con éxito, las tensiones de las baterías no alcanzan niveles críticos sin existir un desequilibrio muy grande entre ellas.

tensión baterías	antes	después
Vbat1	6,336	6,251
Vbat2	6,342	6,258
Vbat3	6,344	6,26
Vbat4	6,327	6,117
Vbat5	6,343	6,128
Vbat6	6,317	6,109
Vbat7	6,312	6,096
Vbat8	6,224	6,025
Vbat total	50,55	49,25

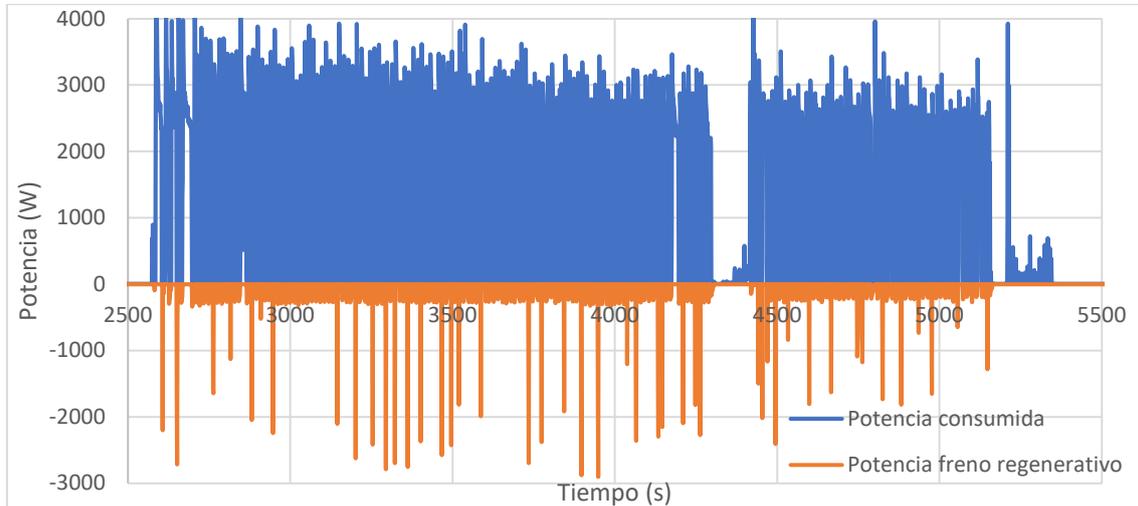
Tabla 4. Estado de las baterías en el ensayo 2

También puede observarse que, ante grandes solicitaciones del motor, 60-70A, la tensión total disminuye, pero en valores aceptables nunca inferiores a 46V.



Gráfica 2. Tensión de las baterías durante el ensayo 2

Puede apreciarse en la Gráfica 3, que la potencia que aporta el freno regenerativo frente al consumo es mucho menor. La energía recuperada es solamente un 5% de la energía consumida. Aquí nace la necesidad de disponer de la captación solar como fuente de mejora de consumo más eficaz. El consumo medio del vehículo fue de **8,135 kWh/100Km.**



Gráfica 3. Potencias durante el ensayo 2

Como conclusión de este ensayo se obtiene que la distancia de 15km produce una descarga observable y medible de las baterías, se obtiene un primer consumo estimado del vehículo y se verifica el funcionamiento y correcta integración de los equipos.

6.2.2 Con la placa montada sin usar captación solar

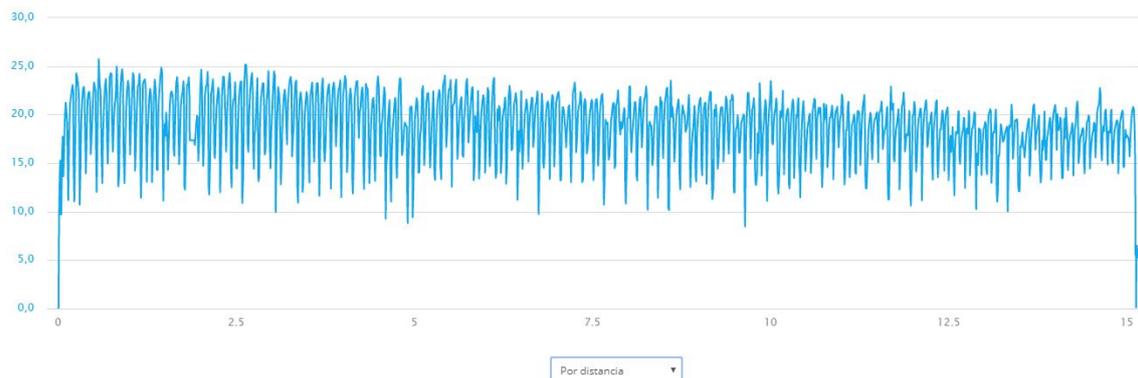
Los ensayos 3 y 4 se realizan con la estructura de la placa solar ya montada, aunque sin conectarse eléctricamente. Esto afecta al peso arrastrado y a la aerodinámica, por lo que se puede esperar un aumento de consumo con respecto al ensayo 2. Los 2 ensayos se realizan en días consecutivos con unas condiciones climáticas similares, aunque con mayor viento en uno de ellos. Entre ambos ensayos se cargaron las baterías para tener un punto de partida de tensión común. A continuación, se tabulan los valores medios de las variables más representativas para comprobar la repetitividad de los ensayos.

	Viento km/h	Distancia km	Corriente A	Tensión V	Velocidad km/h	Potencia consumida W	Freno regenerativo W	Consumo kwh*100km
Ensayo 3	4	15,18	16,808	47,548	18,2	805,952	39,286	8,445
Ensayo 4	9	15,18	24,259	47,041	18,6	1150	43,553	8,743

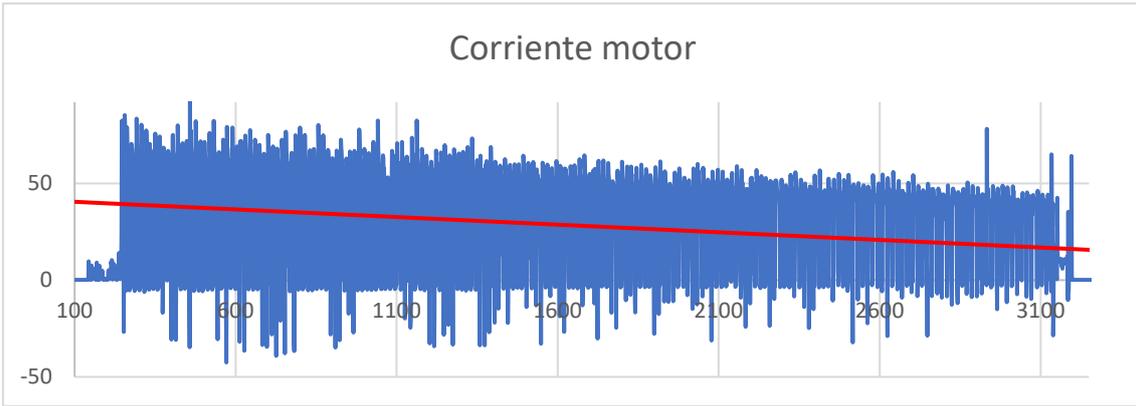
Tabla 5. Resumen de valores medios en los ensayos 3 y 4

Se observa que hay ligeras discrepancias, que se pueden atribuir a que el ensayo 4 fue realizado a una velocidad ligeramente mayor y en condiciones algo más adversas de viento. Estas pequeñas desviaciones son asumibles y se consideran ambos ensayos como homólogos.

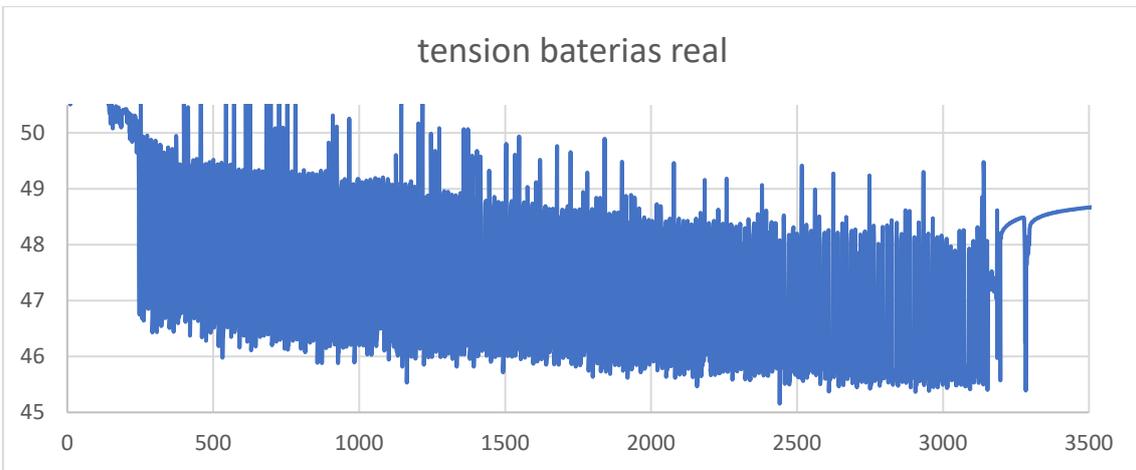
En ambos ensayos se observa una ligera disminución de las prestaciones del vehículo conforme avanzan los kilómetros. Aunque durante la conducción pueden ser imperceptibles hasta que no se llega a una descarga profunda, todos los datos lo evidencian. A continuación, para el ensayo 4, se muestra gráficamente este fenómeno en la velocidad, la corriente absorbida por el motor, la tensión de las baterías y en consecuencia la potencia consumida. Se muestra en color rojo la línea de tendencia para apreciarlo mejor.



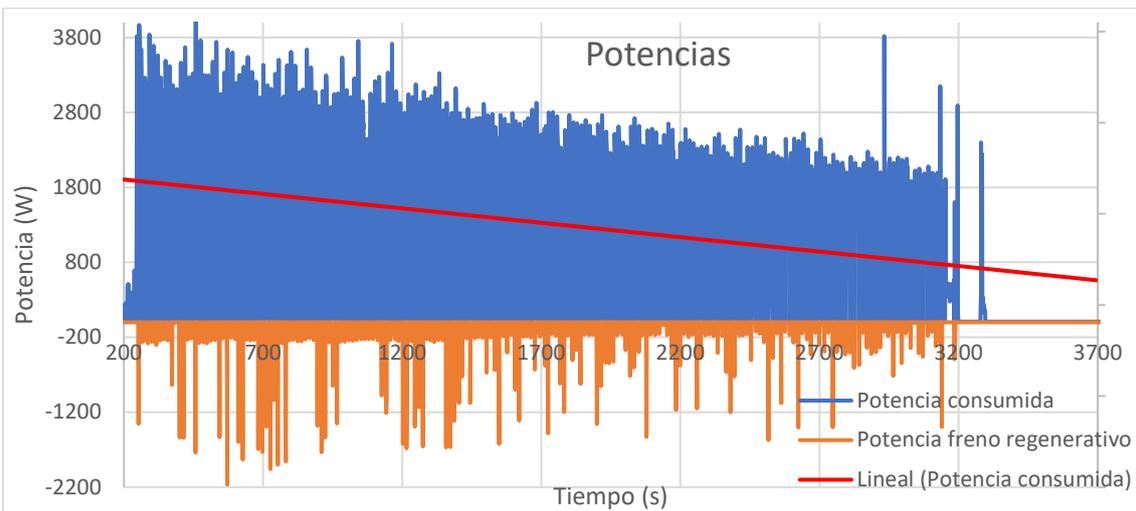
Gráfica 4. Velocidad del vehículo durante el ensayo 4



Gráfica 5. Corriente absorbida por el motor durante el ensayo 4



Gráfica 6. Tensión de las baterías durante el ensayo 4



Gráfica 7. Potencia consumida y regenerada durante el ensayo 4

A continuación, se detallan a modo de resumen del ensayo los valores máximos, mínimos y medios de las variables de estudio. Se consideran positivas las potencias absorbidas por el sistema y negativas las generadas por este.

	tensión baterías real	Corriente motor	Potencia consumida	Potencia freno regenerativo	Balance potencia	Balance energía
	V	A	W	W	W	kWh*100km
<i>mínimo</i>	44,656	-42,536	0,000	-2165,489	-2165,489	8,74378
<i>máximo</i>	51,480	114,237	5880,909	0,000	5880,909	
<i>media</i>	47,041	24,259	1150,000	-43,553	1106,447	

Tabla 6. Resumen del ensayo 4

6.2.3 Con la placa montada y con captación solar

Para permitir el paso de la corriente desde la placa hacia las baterías es necesario cerrar el interruptor situado junto al regulador. De esta forma se cierra el circuito placa-regulador-baterías. Con esta configuración se realizan los ensayos 5 y 6. Se realizan en días consecutivos con condiciones climatológicas similares. Entre los dos ensayos no se realiza recarga de baterías para observar si hay alguna diferencia en el comportamiento del sistema dependiendo del nivel de carga. Ambos ensayos se realizan en el circuito 1 estipulándose una distancia de conducción de 15km. Como se ha hecho en el caso anterior, se comparan los valores medios de las variables durante los ensayos.

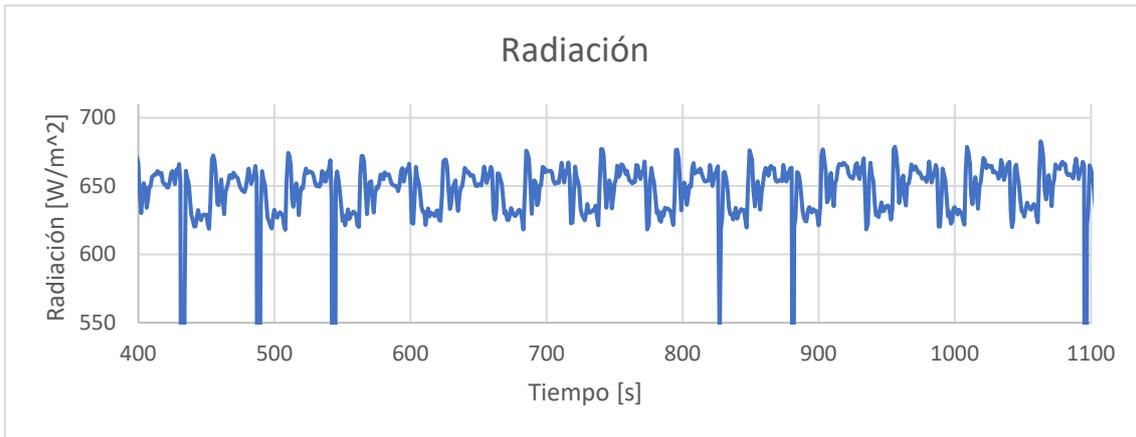
	Viento km/h	Distancia km	Radiación W/m ²	Corriente motor A	Corriente Solar A	Tensión V	Velocidad km/h	Potencia consumida W	Freno regenerativo W	Potencia solar W	Consumo kwh*100km
Ensayo 5	19	15,25	455,301	21,751	1,368	47,34	19,8	1033,61	38,482	64,117	7,804
Ensayo 6	26	14,92	436,975	20,843	1,416	46,38	18,6	973,247	29,336	64,797	7,028

Tabla 7. Resumen de los valores medios en los ensayos 5 y 6

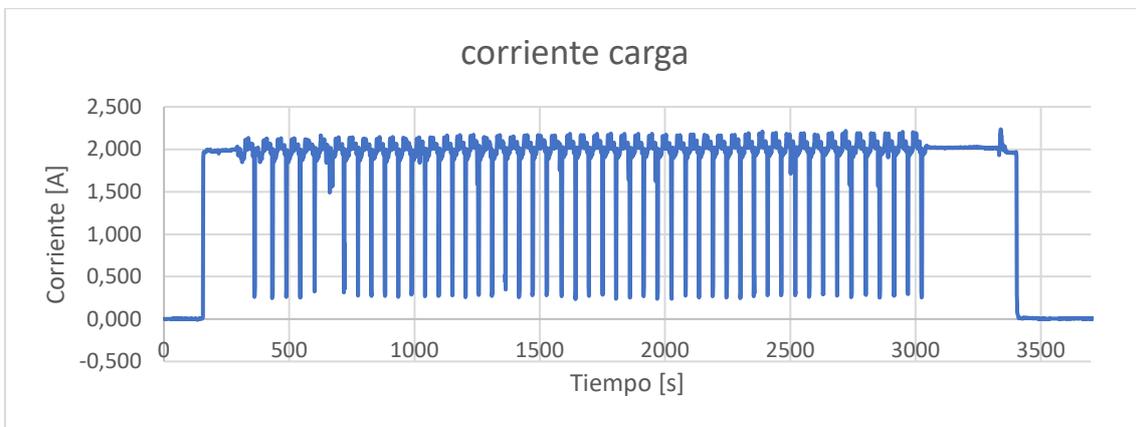
En la Tabla 7 se observa que hay un consumo diferente en ambos ensayos siendo significativamente menor en el segundo caso, sin embargo, comparando las potencias que se han obtenido de la placa estas son muy similares ya que la radiación solar también lo es. La diferencia viene entonces principalmente de un menor consumo de potencia por el motor. Esto es debido a la pérdida de rendimiento evidenciada en el caso anterior cuando la tensión de las baterías va disminuyendo. En el ensayo 6, las baterías se encuentran más descargadas, lo que repercute en una menor velocidad media y menor potencia consumida. Presumiblemente, si las baterías hubiesen partido de un mismo estado de carga y con una radiación solar similar, los ensayos habrían sido homólogos.

Cabe destacar, que, debido a la naturaleza del circuito, en una zona se proyecta la sombra de los edificios y desciende la captación solar, como puede verse en la Gráfica 8, se repite un patrón sol-sombra de forma cíclica. Solo se representa una parte del ensayo (400s-1100s) para una visión más clara del perfil. De estar circulando en un circuito a cielo abierto, la radiación media sería mayor y por lo tanto también lo sería la potencia absorbida por la placa, derivando en un mayor descenso del consumo de energía de las baterías, respecto de la configuración sin placa.

Dado que la corriente de carga depende directamente de la radiación solar captada por la placa, es de esperar que la gráfica de la corriente presente el mismo comportamiento físico. Pueden diferenciarse claramente diferentes zonas en la Gráfica 9. En un primer momento tenemos corriente cero, el vehículo se encuentra dentro de la nave sin exposición directa al sol. La siguiente zona tenemos corriente máxima y estable, el vehículo está expuesto a la luz directa y se están terminando de hacer los últimos ajustes antes de empezar a circular. Una vez se empieza a circular se observa el mismo comportamiento cíclico que en la radiación. Por último, el proceso a la inversa al terminar el circuito y aparcar el vehículo dentro de la nave.

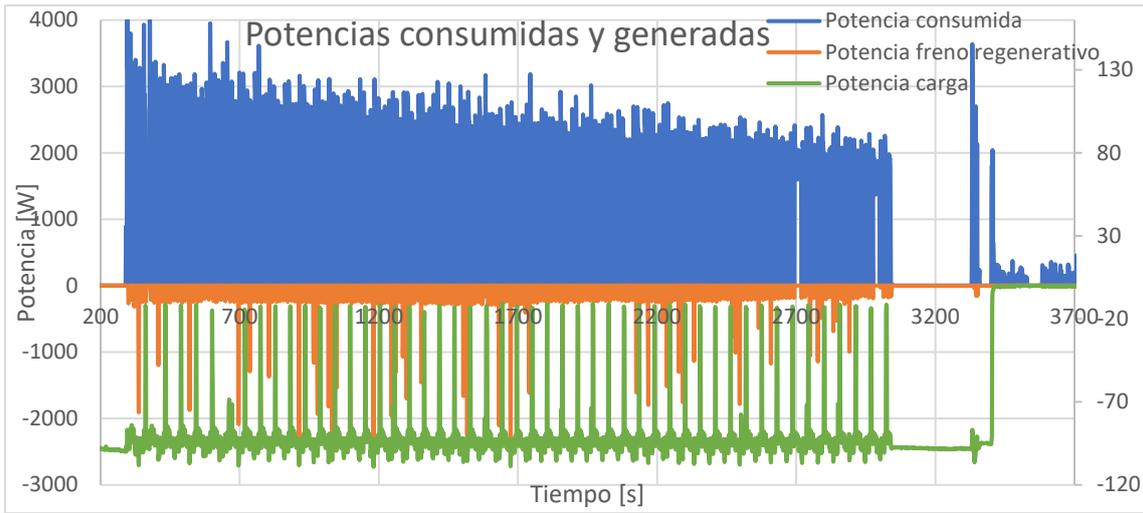


Gráfica 8. Radiación solar durante el ensayo 5

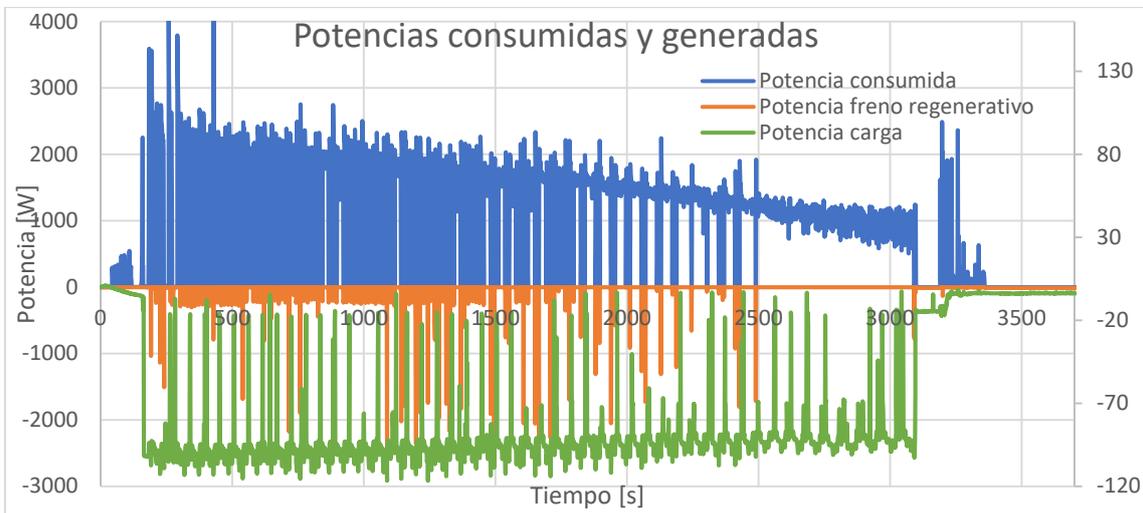


Gráfica 9. Corriente de carga solar durante el ensayo 5

Por último, se analiza el balance de potencias en ambos ensayos. Es necesario tener en cuenta que la potencia de carga, graficada en verde, está referida a un eje secundario con diferente escala en el lado derecho. Ambas gráficas están dibujadas con las mismas escalas tanto en el eje principal como en el secundario para poder realizar un análisis visual. Observando ambas graficas puede verse que el freno regenerativo produce mayores picos de potencia que la carga solar (unos 2000W frente a unos 100 W), pero la constancia en el tiempo de esta termina dándole más peso en el balance total. Más del doble, como se podía observar en la Tabla 7. También se ve con claridad, como en el ensayo 6 la potencia entregada al motor es menor cada vez como se ha mencionado anteriormente.



Gráfica 10. Potencias durante el ensayo 5



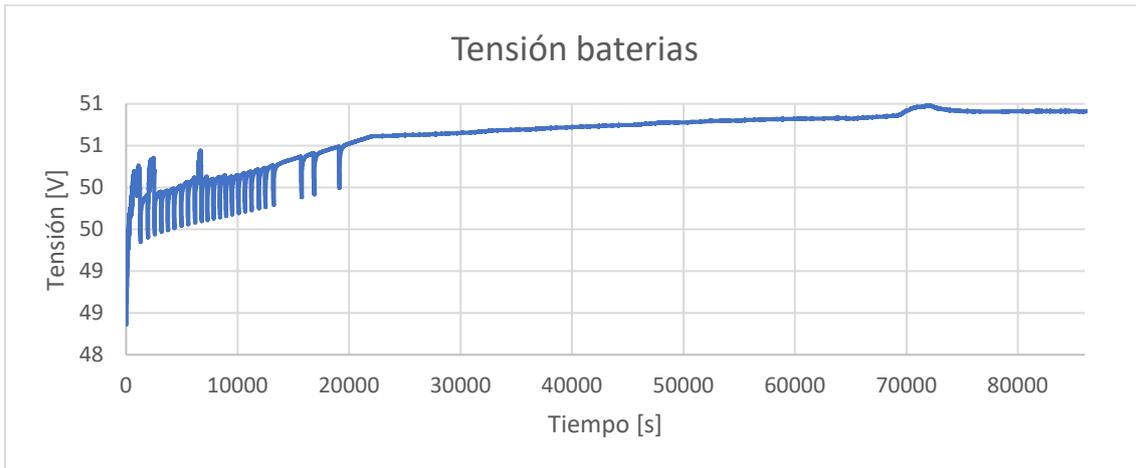
Gráfica 11. Potencias durante el ensayo 6

6.3 Carga de baterías

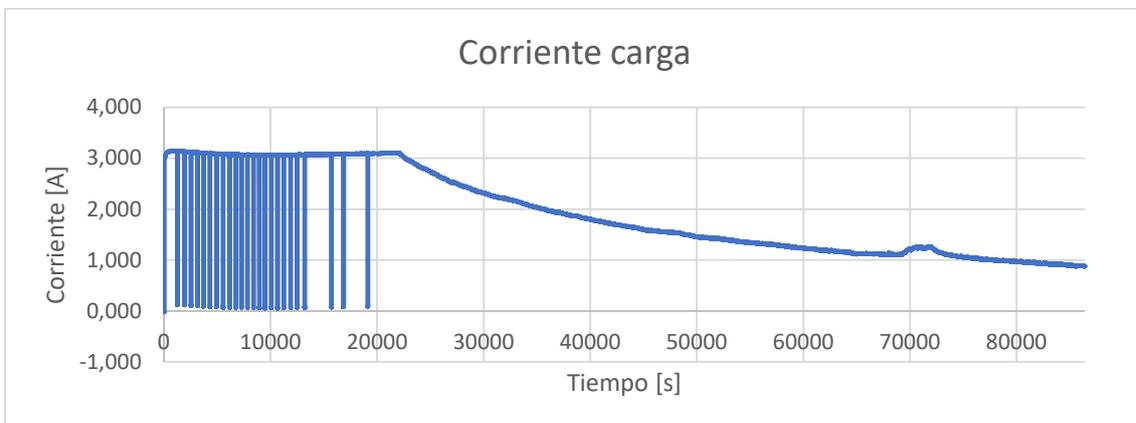
A continuación, se van a realizar los ensayos 7 y 8 correspondientes a cargas de las baterías sin consumos, la primera se realizará en el laboratorio con una fuente de tensión y la segunda se realizará mediante captación solar con el vehículo en el circuito 0.

6.3.1 Carga con fuente de tensión

En el primer ensayo se conectaron las baterías a una fuente de tensión ajustada a 51V y 3.5A de corriente máxima. El ensayo duró 24h, obteniéndose los siguientes resultados:



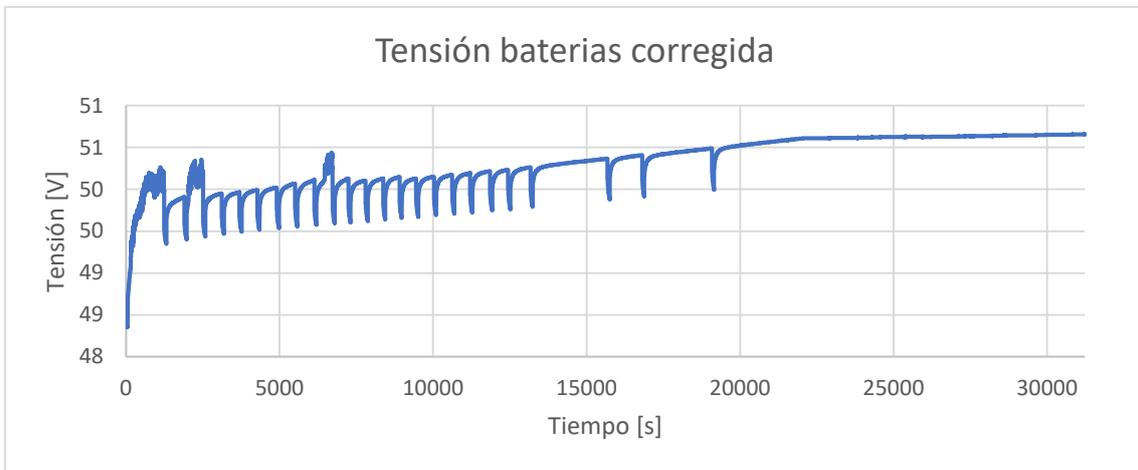
Gráfica 12. Tensión durante la carga con fuente



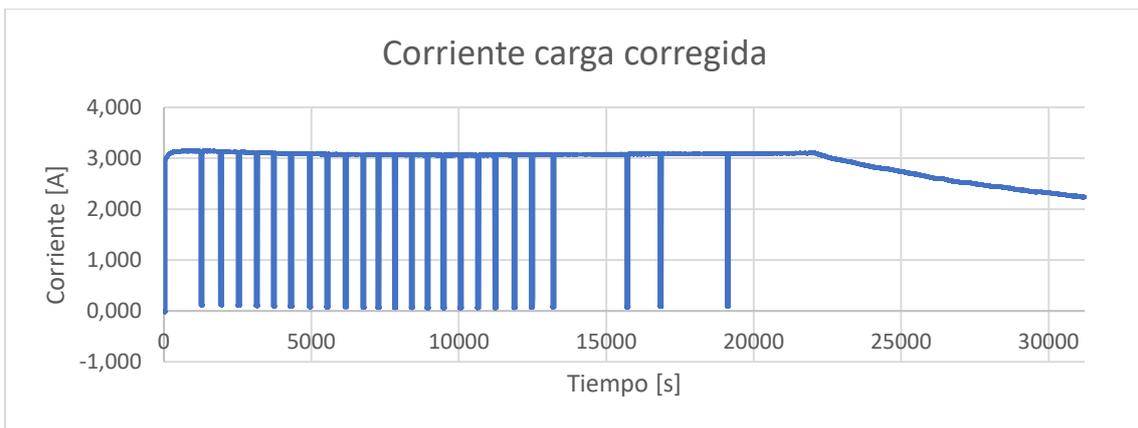
Gráfica 13. Corriente durante la carga con fuente

Se puede observar como pasados 20000s, 5 horas y media, la corriente disminuye y la tensión apenas aumenta. Durante las 24h del ensayo, las baterías absorbieron un total de **2.27 kWh**.

Con la finalidad de poder comparar en un mismo marco temporal ambos tipos de carga, se van a tener en cuenta los datos de los primeros 31228s, algo más de 8h y media, que fue la duración del ensayo con captación solar como se verá en el siguiente apartado.



Gráfica 14. Tensión durante la carga con fuente corregida

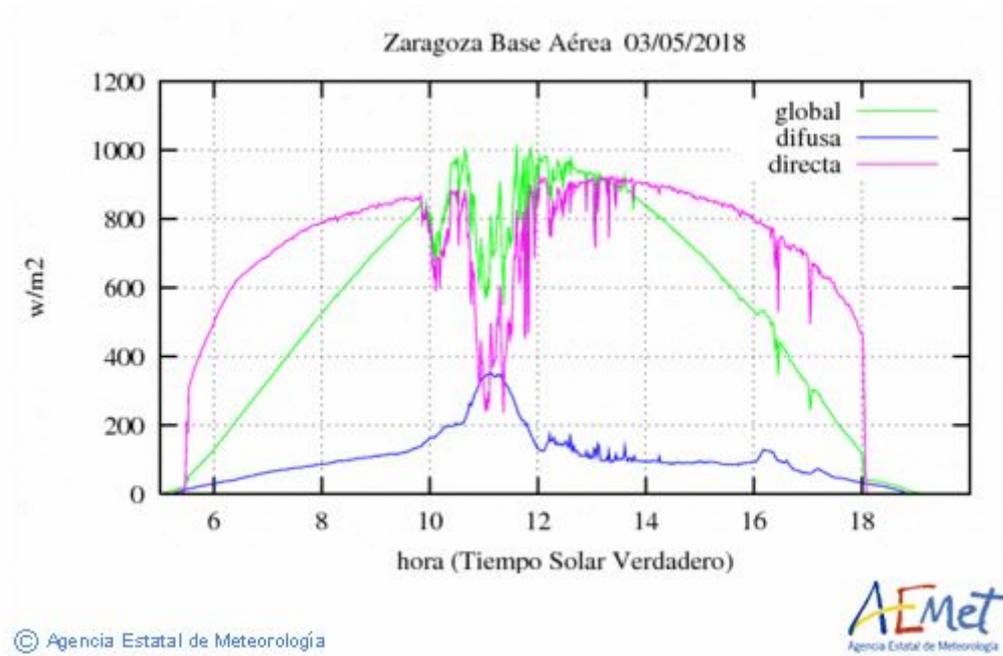


Gráfica 15. Corriente durante la carga con fuente

Para esta duración del ensayo la energía absorbida fueron **1.21 kWh**.

6.3.2 Carga solar

Con el vehículo estacionado en el circuito 0, en un día soleado, se realiza una carga durante las horas de máxima radiación solar. El ensayo comenzó a las 10h y terminó a las 18:45h.



Gráfica 16. Radiación solar el día del ensayo

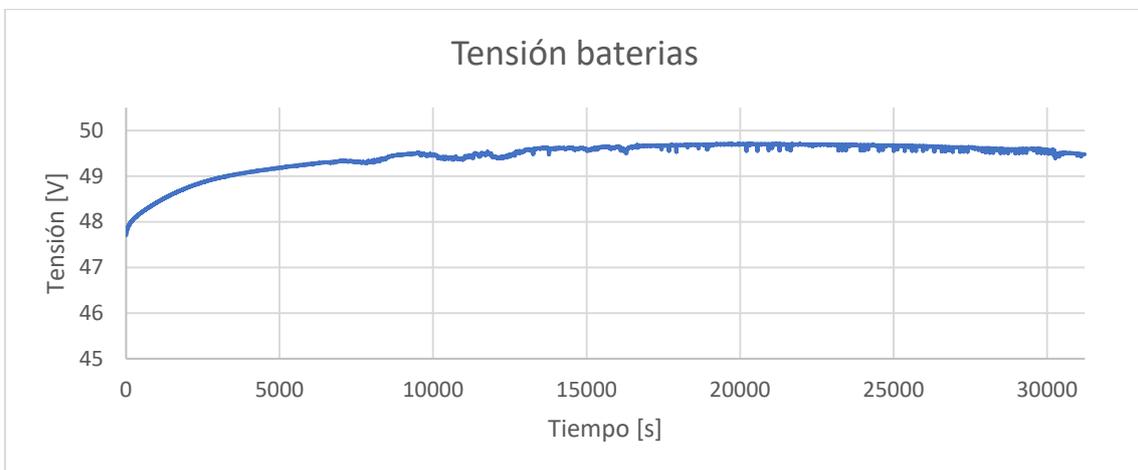


Figura 14. Vehículo al inicio de la carga

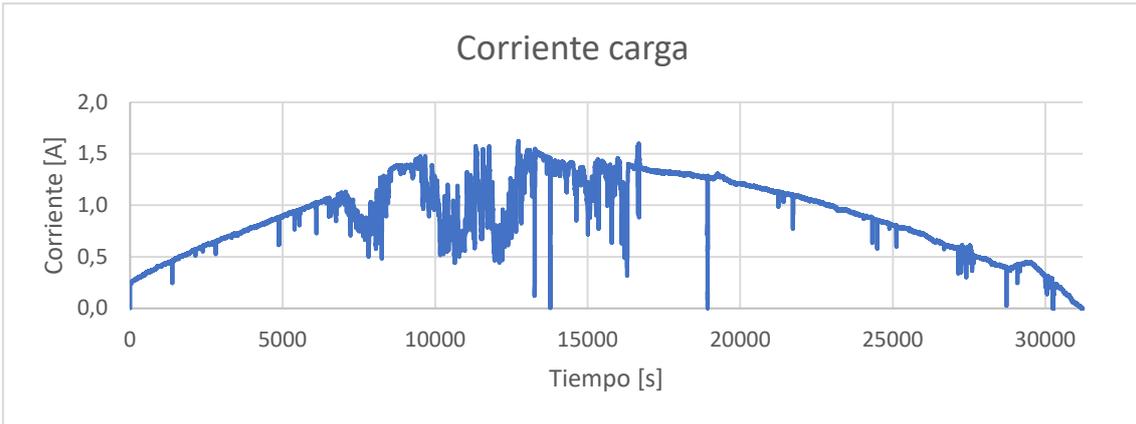


Figura 15. Vehículo al final de la carga

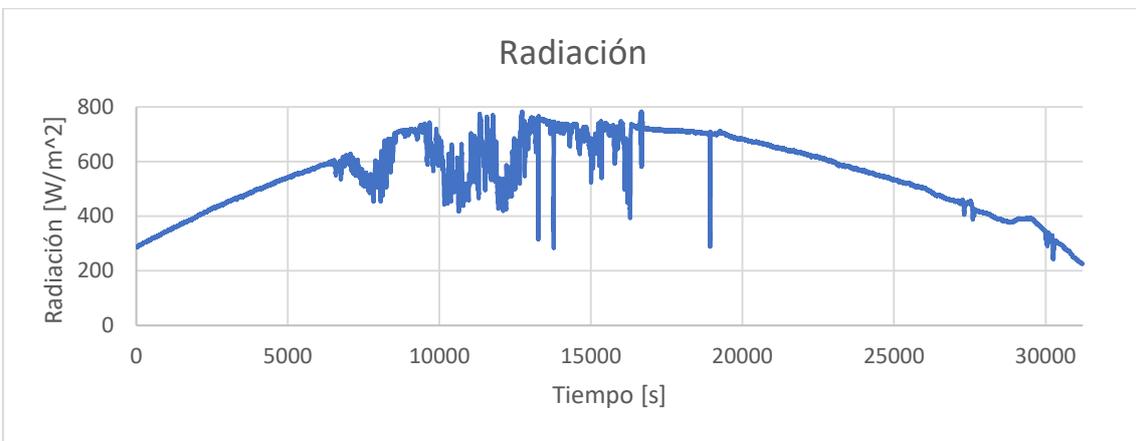
Los resultados obtenidos fueron los siguientes:



Gráfica 17. Tensión durante la carga solar



Gráfica 18. Corriente durante la carga solar



Gráfica 19. Radiación solar durante el ensayo

La energía absorbida fue de **0.38 kWh**.

	Radiación
	W/m ²
<i>mínimo</i>	225,31
<i>máximo</i>	783,21
<i>media</i>	557,68

Tabla 8. Resumen de la radiación durante la carga solar

Los datos registrados por el PL40 para tensión de baterías máxima y mínima, tensión de la placa y corriente fueron:



Figura 16. Resumen de datos de la carga solar registrados por el PL40

7. Conclusiones

Se van a analizar las conclusiones desde 3 puntos de vista, cuando el vehículo se encuentra en movimiento, cuando vehículo se encuentra estacionado y las posibilidades de aumentar el alcance del estudio.

7.1 Vehículo en movimiento

Las conclusiones en este apartado serán derivadas de la comparación de los ensayos con captación solar y sin captación solar. Para facilitar el análisis, se tabulan (Tabla 9) los datos más relevantes de los 4 ensayos involucrados.

	Energía motor kWh	% motor	Energía freno regenerativo kWh	% freno	Energía carga solar kWh	% solar	Balance energía kWh	Consumo kWh*100km
Ensayo 3	1,348	95,35	-0,066	4,65	0,000	0,00	1,282	8,445
Ensayo 4	1,381	96,35	-0,052	3,65	0,000	0,00	1,329	8,743
Ensayo 5	1,326	90,97	-0,049	3,39	-0,082	5,64	1,195	7,805
Ensayo 6	1,161	91,18	-0,035	2,75	-0,077	6,07	1,049	7,028

Tabla 9. Conclusiones vehículo en movimiento

Para calcular el balance de energía y posteriormente el consumo, se han sumado las tres energías, teniendo en cuenta el signo negativo de la energía cedida a las baterías, bien por el frenado o bien por la captación solar. Para calcular el porcentaje que representa cada energía en el total, se ha considerado el valor absoluto de las 3.

Como cabía esperar, los dos ensayos realizados con captación solar tienen un balance de energía menor y por lo tanto un menor consumo.

Como se ha mantenido la configuración del regulador Curtis, el frenado regenerativo está presente en los 4 ensayos, por lo que se consigue una disminución de la energía consumida en todos ellos. La reducción oscila entre el 2.75 y el 4.65%.

La captación solar consigue una reducción de más de un 5% en ambos ensayos, teniendo un mayor impacto que el frenado regenerativo en el consumo final.

Con la combinación de ambos sistemas se consigue reducir en un 9% el consumo de energía del vehículo.

Como se expondrá en el epígrafe 7.3 Propuestas de continuación del TFG, estos datos se obtuvieron en una determinada época del año y situación geográfica, por lo que están sujetos a cambios si se modifica alguna de esas dos variables. Pudiendo ser más o menos favorables para el consumo del vehículo según sean modificados. Por ejemplo, cabría esperar una mejora en el consumo si los ensayos hubiesen sido realizados en los meses de verano, donde la radiación solar es mayor.

7.2 Vehículo estacionado

Como en el epígrafe anterior se van a mostrar en una tabla los datos obtenidos en los ensayos.

	Radiación solar W/m ²	Energía absorbida kWh
Ensayo con cargador	0	-1,212
ensayo con carga solar	557,675	-0,385

Tabla 10. Conclusiones vehículo estacionado

Si se comparan la Tabla 9 y la Tabla 10 se observa, que el cargador realiza, en las 8.5h que duró el ensayo, una carga equivalente a la descarga en un ensayo de conducción.

Para una radiación media de 557 W/m² se obtiene una recarga de baterías que es la tercera parte de la obtenida con la fuente de tensión. Para un mismo estado de carga, la placa solar debería estar unos 3 días expuesta a la radiación solar.

Esta energía absorbida por la placa no tiene dimensiones de consumo al no existir desplazamiento.

Dependiendo del uso que se le de al vehículo en el cual se quiera implementar la captación, esta absorción de energía podrá ser muy relevante. Si está muchas horas estacionado a cielo abierto, podría no ser necesario conectarlo al cargador salvo en épocas adversas en cuanto a radiación solar.

Como resumen final, se puede decir que, en todas las configuraciones posibles, siempre se obtiene un descenso del consumo. Este trabajo pone de manifiesto que la captación solar puede ser una gran aliada en el desarrollo del vehículo eléctrico en la actualidad.

7.3 Propuestas de continuación del TFG

Comparando la Gráfica 18 y la Gráfica 19 se observa que la corriente de carga es directamente proporcional a la radiación solar absorbida por la placa, por lo tanto, si se consiguiese aumentar la radiación absorbida, la corriente sería mayor. Una posible forma de aumentar la absorción sería ensayar una placa con mayor superficie de captación, ya que en el TFG se ha utilizado la que mejor se adaptaba a las dimensiones del vehículo.



Figura 17. Vista superior de la placa solar instalada en el vehículo

La radiación solar también varía en función de la época del año y de la posición geográfica como puede verse en la Tabla 11. De abril a mayo en Zaragoza se muestra un aumento que se vio reflejado en los ensayos. Los ensayos 5 y 6 fueron realizados en abril con una radiación media de unos 450 W/m^2 (ver Tabla 7) y el ensayo de carga solar fue realizado en mayo con una radiación media de 557 W/m^2 , (ver Tabla 8). Sería interesante obtener la relación que tiene la radiación solar sobre el consumo del vehículo para poder extrapolarlo a diferentes épocas del año y puntos geográficos.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	AÑO
16 CIUDAD REAL	7	10,1	15	18,7	21,4	23,7	25,3	23,2	18,8	12,5	8,7	6,5	15,9
17 CÓRDOBA	7,2	10,1	15,1	18,5	21,8	25,9	28,5	25,1	19,9	12,6	8,6	6,9	16,7
18 LA CORUÑA	5,4	8	11,4	12,4	15,4	16,2	17,4	15,3	13,9	10,9	6,4	5,1	11,5
19 CUENCA	5,9	8,8	12,9	17,4	18,7	22	25,6	22,3	17,5	11,2	7,2	5,5	14,6
20 GERONA	7,1	10,5	14,2	15,9	18,7	19	22,3	18,5	14,9	11,7	7,8	6,6	13,9
21 GRANADA	7,8	10,8	15,2	18,5	21,9	24,8	26,7	23,6	18,8	12,9	9,6	7,1	16,5
22 GUADALAJARA	6,5	9,2	14,	17,9	19,4	22,7	25	23,2	17,8	11,7	7,8	5,6	15,1
23 GUIPÚZCOA	5,5	7,7	11,3	11,7	14,6	16,2	16,1	13,6	12,7	10,3	6,2	5	10,9
24 HUELVA	7,6	11,3	16	19,5	24,1	25,6	28,7	25,6	21,2	14,5	9,2	7,5	17,6
25 HUESCA	6,1	9,6	14,3	18,7	20,3	22,1	23,1	20,9	16,9	11,3	7,2	5,1	14,6
26 JAÉN	6,7	10,1	14,4	18	20,3	24,4	26,7	24,1	19,2	11,9	8,1	6,5	15,9
27 LEÓN	5,8	8,7	13,8	17,2	19,5	22,1	24,2	20,9	17,2	10,4	7	4,8	14,3
28 LÉRIDA	6	9,9	10	18,8	20,9	22,6	23,8	21,3	16,8	12,1	7,2	4,8	15,2
29 LUGO	5,1	7,6	11,7	15,2	17,1	19,5	20,2	18,4	15	9,9	6,2	4,5	12,5
30 MADRID	6,7	10,6	13,6	18,8	20,9	23,5	26	23,1	16,9	11,4	7,5	5,9	15,4
31 MÁLAGA	8,3	12	15,5	18,5	23,2	24,5	26,5	23,2	19	13,6	9,3	8	16,8
32 MELILLA	9,4	12,6	17,2	20,3	23	24,8	24,8	22,6	18,3	14,2	10,9	8,7	17,2
33 MURCIA	10,1	14,8	16,6	20,4	24,2	25,6	27,7	23,5	18,6	13,9	9,8	8,1	17,8
34 NAVARRA	5	7,4	12,3	14,5	17,1	18,9	20,5	18,2	16,2	10,2	6	4,5	12,6
35 ORENSE	4,7	7,3	11,3	14	16,2	17,6	18,3	16,6	14,3	9,4	5,6	4,3	11,6
36 PALENCIA	5,3	9	13,2	17,5	19,7	21,8	24,1	21,6	17,1	10,9	6,6	4,6	14,3
37 LAS PALMAS	11,2	14,2	17,8	19,6	21,7	22,5	24,3	21,9	19,8	15,1	12,3	10,7	17,6
38 PONTEVEDRA	5,5	8,2	13	15,7	17,5	20,4	22	18,9	15,1	11,3	6,8	5,5	13,3
39 LA RIOJA	5,6	8,8	13,7	16,6	19,2	21,4	23,3	20,8	16,2	10,7	6,8	4,8	14
40 SALAMANCA	6,1	9,5	13,5	17,1	19,7	22,8	24,6	22,6	17,5	11,3	7,4	5,2	14,8
41 STA.C.TENERIFE	10,7	13,3	18,1	21,5	25,7	26,5	29,3	26,6	21,2	16,2	10,8	9,3	19,1
42 SEGOVIA	5,7	8,8	13,4	18,4	20,4	22,6	25,7	24,9	18,8	11,4	6,8	5,1	15,2
43 SEVILLA	7,3	10,9	14,4	19,2	22,4	24,3	24,9	23	17,9	12,3	8,8	6,9	16
44 SORIA	5,9	8,7	12,8	17,1	19,7	21,8	24,1	22,3	17,5	11,1	7,6	5,6	14,5
45 TARRAGONA	7,3	10,7	14,9	17,6	20,2	22,5	23,8	20,5	16,4	12,3	8,8	6,3	15,1
46 TERUEL	6,1	8,8	12,9	16,7	18,4	20,6	21,8	20,7	16,9	11	7,1	5,3	13,9
47 TOLEDO	6,2	9,5	14	19,3	21	24,4	27,2	24,5	18,1	11,9	7,6	5,6	15,8
48 VALENCIA	7,6	10,6	14,9	18,1	20,6	22,8	23,8	20,7	16,7	12	8,7	6,6	15,3
49 VALLADOLID	5,5	8,8	13,9	17,2	19,9	22,6	25,1	23	18,3	11,2	6,9	4,2	14,7
50 VIZCAYA	5	7,1	10,8	12,7	15,5	16,7	17,9	15,7	13,1	9,3	6	4,6	11,2
51 ZAMORA	5,4	8,9	13,2	17,3	22,2	21,6	23,5	22	17,2	11,1	6,7	4,6	14,5
52 ZARAGOZA	6,3	9,8	15,2	18,3	21,8	24,2	25,1	23,4	18,3	12,1	7,4	5,7	15,6

TABLA 5.4. Energía incidente sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes M /m²/día . Fuente: IDAE.

Tabla 11. Radiación solar media diaria [1]

Ya que el prototipo es un carrito de golf que no realizará desplazamientos largos a velocidad constante, otra propuesta de continuación es realizar los ensayos en circuitos mixtos, con diferentes ciclos de movimiento y parada para poder integrar los dos modos de funcionamiento aquí estudiados y conocer mejor el comportamiento en funcionamiento real. En este tipo de circuitos, para la misma duración de ensayo, unos 50 minutos, la reducción de consumo a los 100km será mayor ya que se estará consiguiendo una mayor absorción en una menor distancia.

Otra variable para poder analizar sería la influencia del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la placa. En este TFG la placa ha estado en posición horizontal en el techo del carrito en todo momento, pero podría estudiarse si impacta positivamente incluir una inclinación en la placa para mejorar el ángulo de incidencia cuando está estacionado.

8. Bibliografía

- [1] Energías renovables: sistemas fotovoltaicos. Bayod Rújula, Ángel Antonio. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2009.
- [2] Apuntes de la asignatura movilidad eléctrica, profesor: Sanz Osorio, José Francisco
- [3] Hoja de características del registrador de datos measurement computing USB 5106
- [4] Hoja de características del regulador solar Plasmatronics PL40
- [5] Hoja de características de la célula calibrada fadisol C 01-21
- [6] Hoja de características de los sensores de intensidad Honeywell CS series
- [7] Hoja de características del trazador de curvas photovoltaik engineering PVPM series
- [8] Hoja de características del regulador del motor Curtis instruments

Anexo A: Registrador de datos USB-5106

Para un correcto estudio de los ensayos es necesario almacenar los valores de las variables más relevantes, esto se consigue con un registrador de datos portátil. En este caso se utiliza el USB-5106 (ver Figura 18) que cuenta con dos pilas AAA y unos imanes que permiten transportarlo cómodamente en el salpicadero del vehículo. En este caso en particular se dispone de 4 canales independientes, a través de los cuales se almacenarán 4 variables que podrán visualizarse durante la medición.



Figura 18. Registrador datos

Para ajustarse al máximo a las necesidades de cada medición el registrador es programable a través de su software específico (USB-5100 series) (ver Figura 19) al conectarlo a un PC con su puerto USB. Los ajustes más relevantes son el periodo de muestreo, el tipo y número de sondas utilizadas, alarmas, el modo de registro, la forma de iniciar y detener el registro de datos y si se quiere que la pantalla se apague para el ahorro de batería.

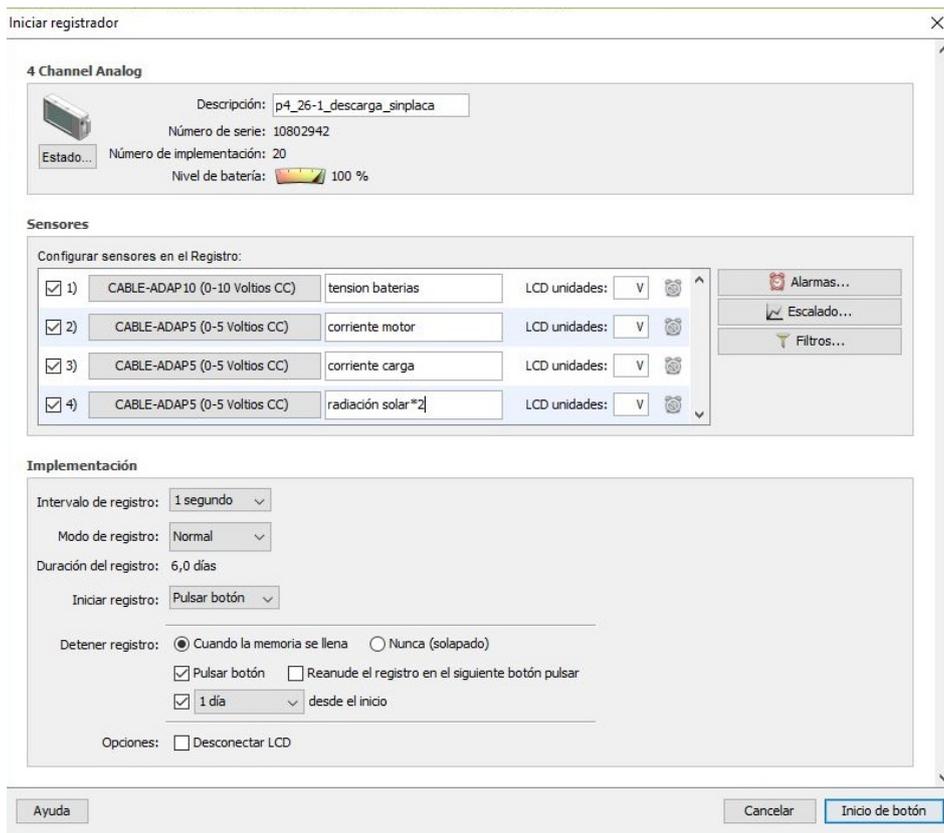


Figura 19. Configuración del registrador a través del software

El mínimo periodo de muestreo y que se utiliza en la mayoría de las ocasiones es de un segundo. El periodo de actualización de los datos en la pantalla LCD durante el transcurso de la medida no se corresponde con el de muestreo y será de 15 segundos.

Se podrán programar alarmas con respecto a criterio consecutivo o acumulativo, según se quiera controlar si una variable sale de un rango especificado un número de veces consecutivas o un número de veces no consecutivas a lo largo de todo el registro respectivamente.

El registrador dispone de 3 modos de registro diferentes, *burst* que permite establecer intervalos de medición con diferentes periodos de muestreo; *statistics* que da información sobre valores máximos, mínimos, media y desviación típica; y *normal* que realizará las mediciones sin ninguna de las particularidades de los otros métodos. Se utilizará el programa normal ya que no será necesario definir diferentes intervalos y los datos extra que puede aportar el programa *statistics* se calculan fácilmente en una hoja de cálculo posteriormente y así disminuye el coste computacional.

El registrador solo puede soportar entradas de como máximo 2.5V, por lo tanto, existen diferentes sondas (ver Figura 20) que actuarán como divisores de tensión, de diferente valor según la magnitud a medir. En el caso de estudio se utilizarán las siguientes sondas:

- Cable ADAP-10. Rango de medida hasta 10V.
- Cable ADAP-5. Rango de medida hasta 5V.

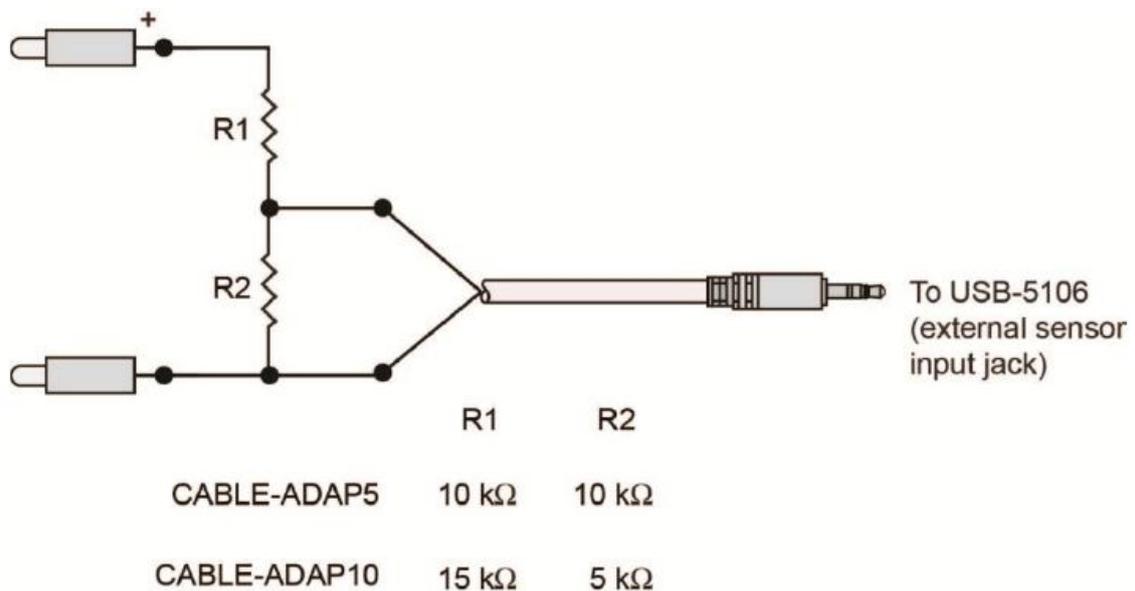


Figura 20. Esquema de las sondas del registrador

Para medidas diferentes se han integrado unos divisores de tensión adicionales en la placa de mediciones. ver Anexo C: Circuito de acondicionamiento.

Una vez terminado el ensayo, se conecta el registrador al ordenador para visualizar los resultados. El software permite mostrar los canales individualmente o todos en conjunto, tanto en forma gráfica como tabulada (ver Figura 21). Aunque se permite cierta operación con los datos, es preferible seleccionar en la barra de herramientas superior, “exportar en formato .CSV”. Esto permite importar los datos en Excel lo que da mayor margen de operación.

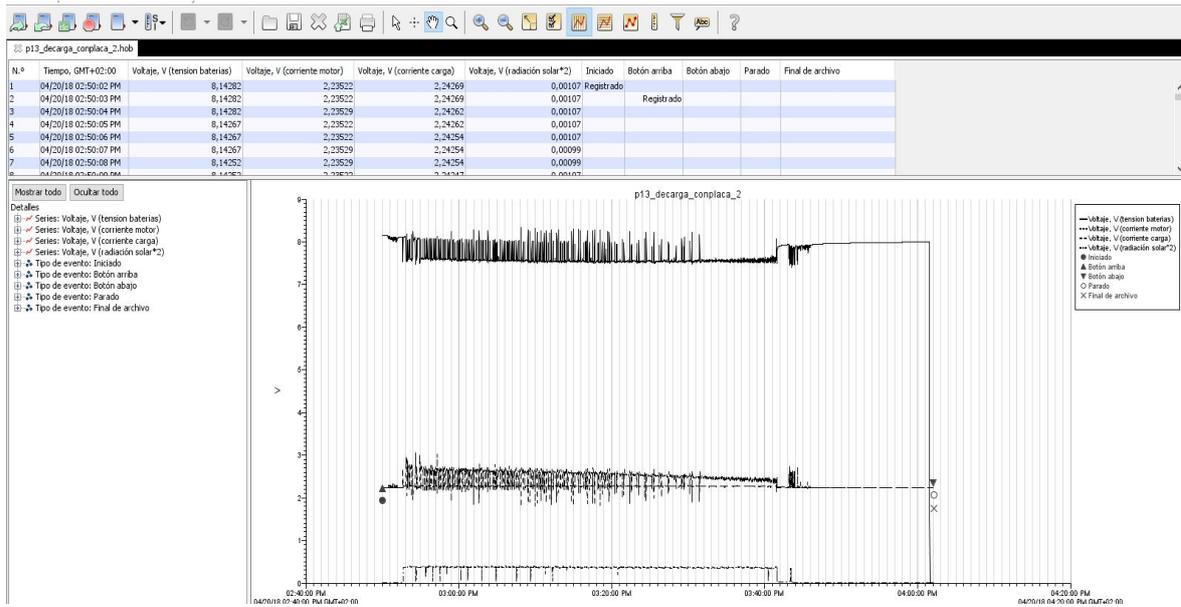


Figura 21. Visualización y exportación de resultados

Anexo B: Trazador curvas I-V PVPM 6020C

La finalidad de este dispositivo es determinar la curva característica de las placas fotovoltaicas, además de parámetros como su potencia máxima y resistencia en serie y paralelo (R_s y R_l). El dispositivo está provisto de batería, pantalla LCD y memoria de hasta 1000 medidas para poder utilizarlo en instalaciones de difícil acceso y después transferirlos a un ordenador para poder trabajar con su software.



Figura 22. PVPM 6020C

El conjunto de medida consta de un interruptor externo de seguridad, un periférico compuesto por un sensor de irradiancia, uno de temperatura y el propio dispositivo de medida (ver Figura 23). La placa para medir debe de ser conectada a uno de los lados del interruptor de 4 entradas y 4 salidas, siendo las negras las negativas y las rojas las positivas. Las salidas del interruptor se conectan directamente al PVPM6020C en su lado derecho como puede verse en la Figura 22. Un par positivo-negativo medirá la tensión y el otro la corriente. El sensor combinado debe colocarse lo más cerca posible de la placa y en la misma orientación, siempre cuidando que no proyecte sombra sobre la placa. Cada sensor está diseñado de forma que no pueden conectarse erróneamente.

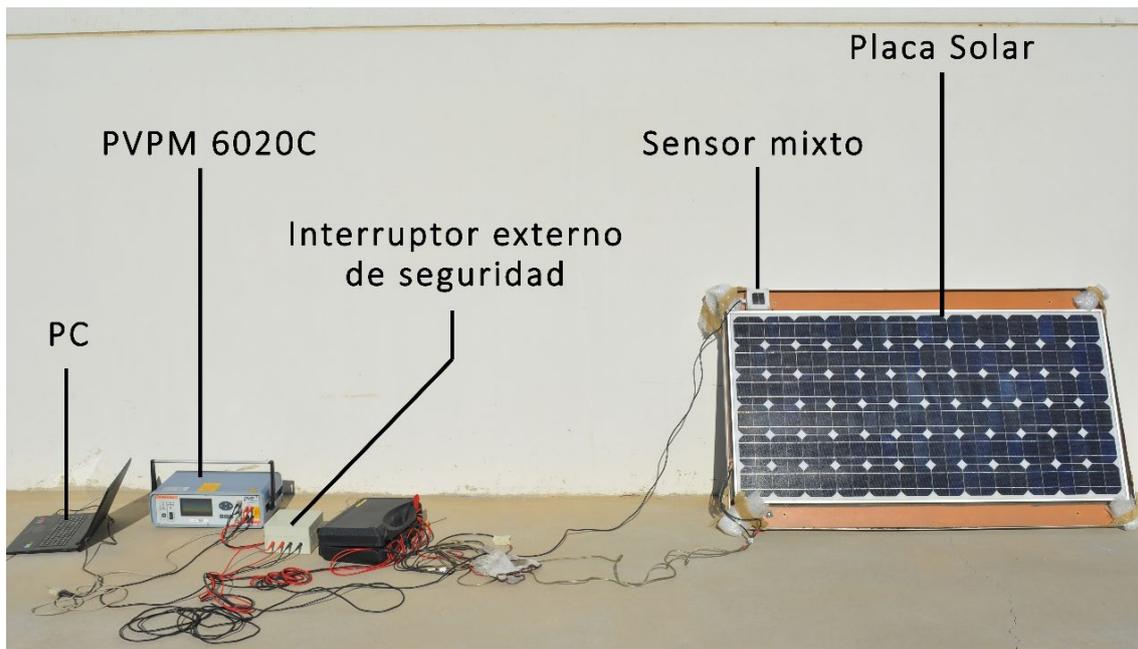


Figura 23. Partes sistema de medición

Una vez realizada la conexión del cableado puede procederse a la medición, siendo posible realizarse de dos formas diferentes. Puede realizarse directamente en el dispositivo en el menú *"measurement->new measurement"* siendo la medida almacenada en la memoria interna. Si se quiere realizar directamente conectado a un PC, debe seleccionarse el menú *"Transfer"* en el dispositivo y en el software (PVPM.disp) seleccionar *"continous measurement"*. En este punto se podrá seleccionar el número de medidas a realizar y el tiempo transcurrido entre ellas. Una vez se pulse en *"start measurement"* podrá verse el progreso de las medidas realizadas. Una vez se llegue a la última medida programada, se podrá volver a configurar otra serie de medidas. Todas las medidas realizadas siguiendo este procedimiento solo serán almacenadas en el PC, en la ruta que sea estipulada previamente, y no en el dispositivo.

19.3.6 Continuous measurement

This function allows the automatically timed measurement controlled from the PC.

Set the desired time interval and the time unit (seconds, minutes, hours) for the execution of the measurement and the number of repetitions (0, if measurements shall be repeated infinite).

After pushing the button "Start measurement" the measurement runs automatically and can be cancelled by the "Stop" button. The measured data will automatically stored to files in the predefined directory. The file names contain the date and time of the measurement.

The automatic measurement will stop, when the given number of repetitions are finished or when the PVPM does not answer.

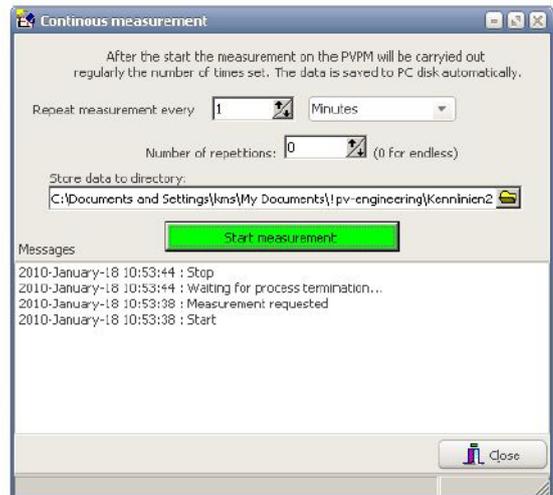
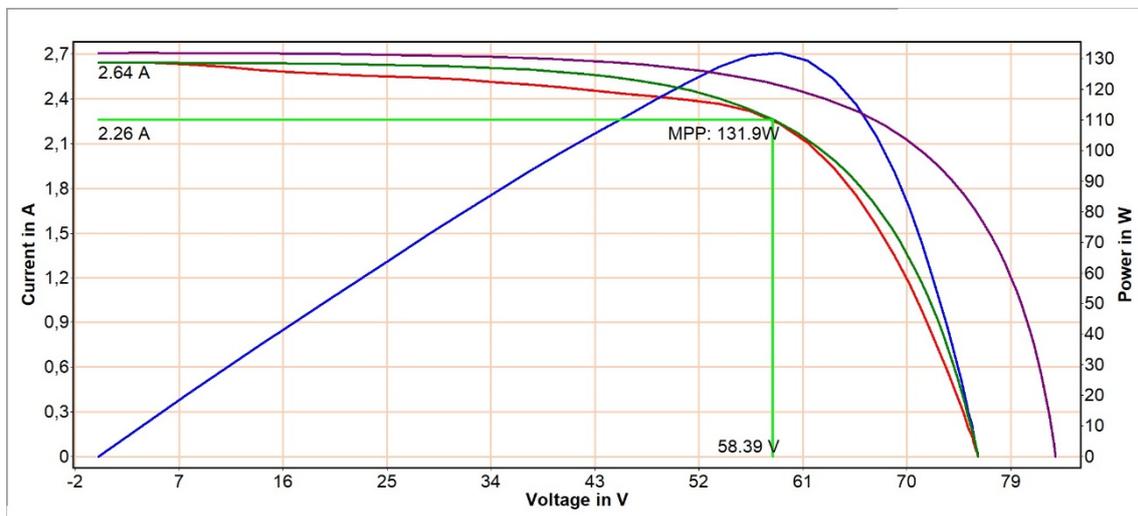


Figura 24. Medida a través de PC

Una vez realizada una medición (ver Gráfica 20), el programa dibuja la curva característica de la célula fotovoltaica(rojo), pudiendo seleccionar también el dibujo de la curva de potencia (azul), curva en condiciones estándar STC (Standard Test Conditions $fE0=1000W/m^2$, AM1.5, $T=25^{\circ}C$) (morado), curva solar efectiva (verde oscuro) y punto de máxima potencia (verde claro).



Gráfica 20. Ejemplo curva característica medida

También se obtiene con cada medida, una tabla resumen con los valores más relevantes (ver Tabla 12)

	Measured	@STC	@NOCT
Pmax [W,Wp]	131.9	151.8	119.9
Prange [W]		144-159	
I_{pmax} [A]	2.26	2.31	1.85
U_{pmax} [V]	58.4	65.6	64.7
I_{sc} [A]	2.64	2.71	2.17
U_{oc} [V]	76.2	82.87	81.32
R_s [Ohm]	7.2	5.7	6.5
R_p [kOhm]	>1.1	>1.0	>1.2
FF [%]	65.5	67.7	68.1
E_{eff} [W/m ²]	976	1000	800
T_{ref} [DegC]	49.0		
T_{mod} [DegC]	49.0	25.0	20.0
T_{amb} [DegC]	20.0		
NOCT [DegC]	44		
cT(P) [1/K]	-0.0044	-0.0044	-0.0044
cT(U) [1/K]	-0.0034	-0.0034	-0.0034

Tabla 12. Resumen de datos PVPM

Anexo C: Circuito de acondicionamiento

Durante los ensayos es necesario registrar la tensión de las baterías, la intensidad de consumo, la intensidad de carga y la intensidad de la radiación solar.

Para conseguir medir las magnitudes reales del sistema, es necesario introducir nuevos divisores de tensión a continuación de los que ya existen dentro de cada sonda, de esta manera, puede medirse la tensión de las baterías (48V) y la salida de los sensores de intensidad con una sonda de 10V.

La placa consta de:

- resistencia serie adicional para medida tensión baterías.
- sensores de medida de intensidad.
- resistencias serie adicionales para la medida de la tensión de salida de los sensores de intensidad.

Además:

- regulador de tensión de 9V para alimentar los sensores de intensidad,
- conector naranja para tomar la tensión de las baterías, tensión de 12 V para la alimentación de los sensores de intensidad,
- conector verde para conectar las sondas del registrador para la medida de la tensión de las baterías y de las intensidades.

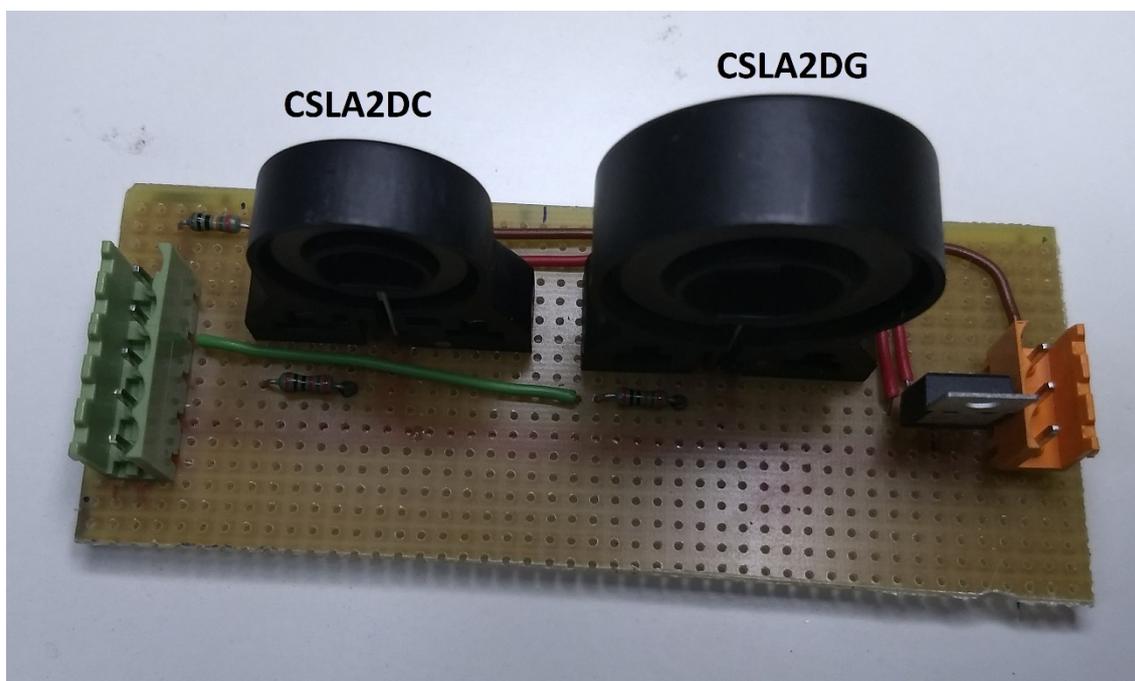
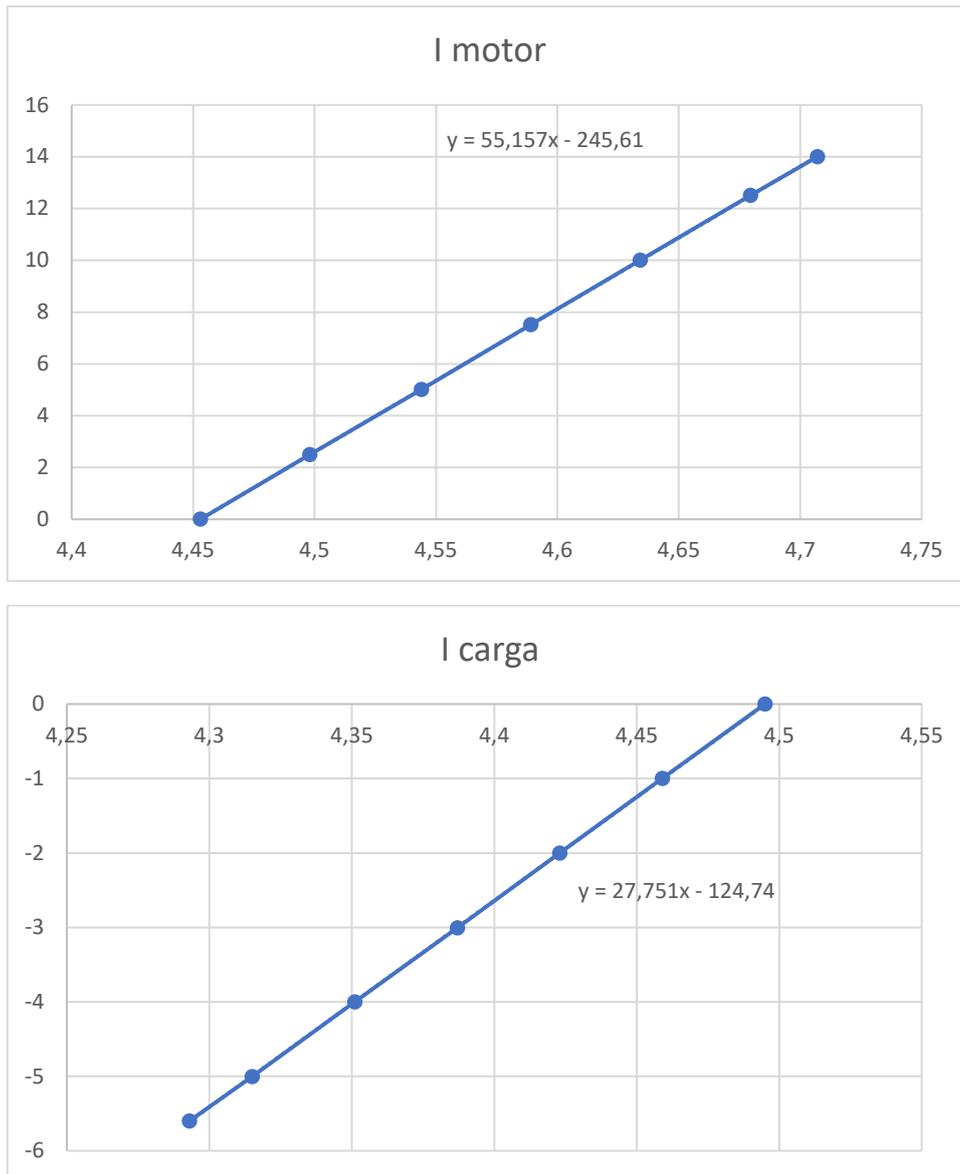


Figura 25. Placa de mediciones

El sensor CSLA2DG con capacidad de medir hasta 150A será el que mida las corrientes absorbidas por los consumos, siendo el del motor el más relevante. El sensor CSLA2DC con capacidad de medir hasta 72A, medirá la recarga de baterías, ya sea a través de la placa solar o del cargador. Ambos sensores dan como respuesta la mitad de la tensión de alimentación ($9V/2=4.5V$) cuando no circula ninguna corriente en su interior y esta tensión se comporta de forma lineal en función de la intensidad que circula y de su sentido. Se realizó un ensayo para poder conocer su comportamiento, haciendo circular la corriente en sentido diferente en cada uno de ellos, obteniéndose los resultados que se pueden ver en la Gráfica 21.



Gráfica 21. Caracterización de los sensores de intensidad

Para aumentar el rango de medida del sensor de 5V se coloca en serie con la sonda una resistencia de 20K, de esta forma el registrador, debido al divisor interno en la sonda,

recibe una cuarta parte de la magnitud real, el software dará los resultados multiplicados por dos y será necesario al trabajar con los datos volver a multiplicarlos por dos para obtener la magnitud real.

Para la sonda de 10V se hace algo similar, pero como la magnitud a medir rondará los 48V es necesaria una reducción mayor. Por lo tanto, se coloca una resistencia de 100k, así, la medida que llega al divisor de la sonda será una sexta parte y adicionalmente el divisor integrado hará que la medida sea una cuarta parte de la real. El software hará una conversión de por cuatro y será necesaria en el trabajo con los datos aplicarle una conversión de por seis para conocer la magnitud real.

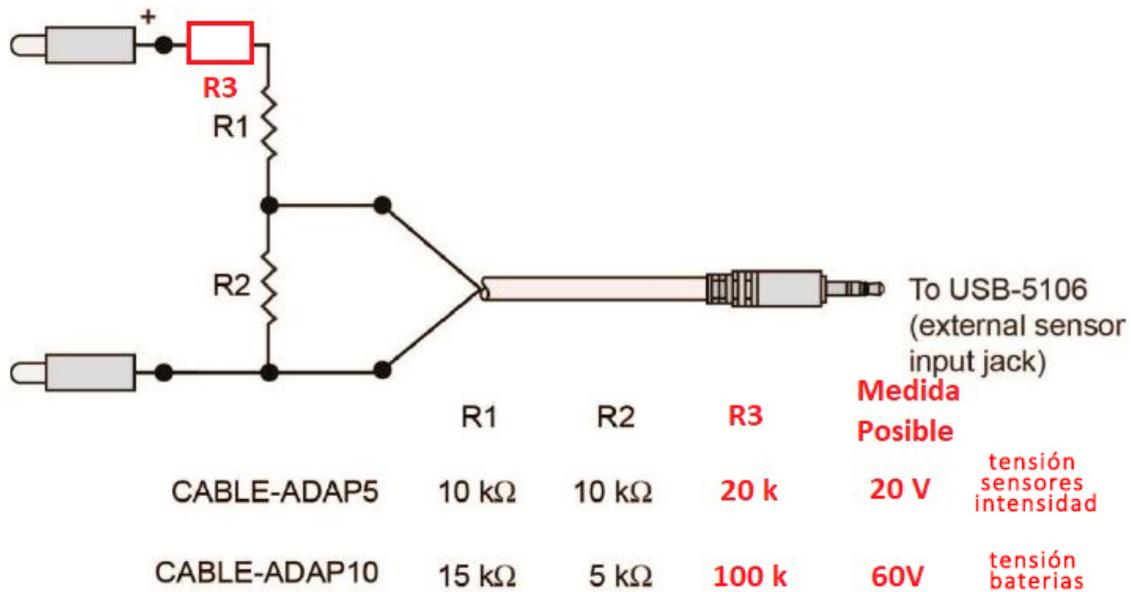


Figura 26. Esquema de los divisores de tensión implementados

Anexo D: Placa del acelerador

Como puede verse en el Anexo E: Zytel Park, en el apartado del controlador del motor, es necesaria la utilización de una placa cuya función es convertir la salida del pedal del acelerador, no interpretable por el regulador, en una salida análoga a la que daría un potenciómetro, si interpretable por el registrador. Consta de dos cables de entrada que alimentan el conjunto y tres cables de salida que son 0V, 5V y la señal convertida, que variará entre cero y cinco voltios según el punto del recorrido de pedal en el que se encuentre este.

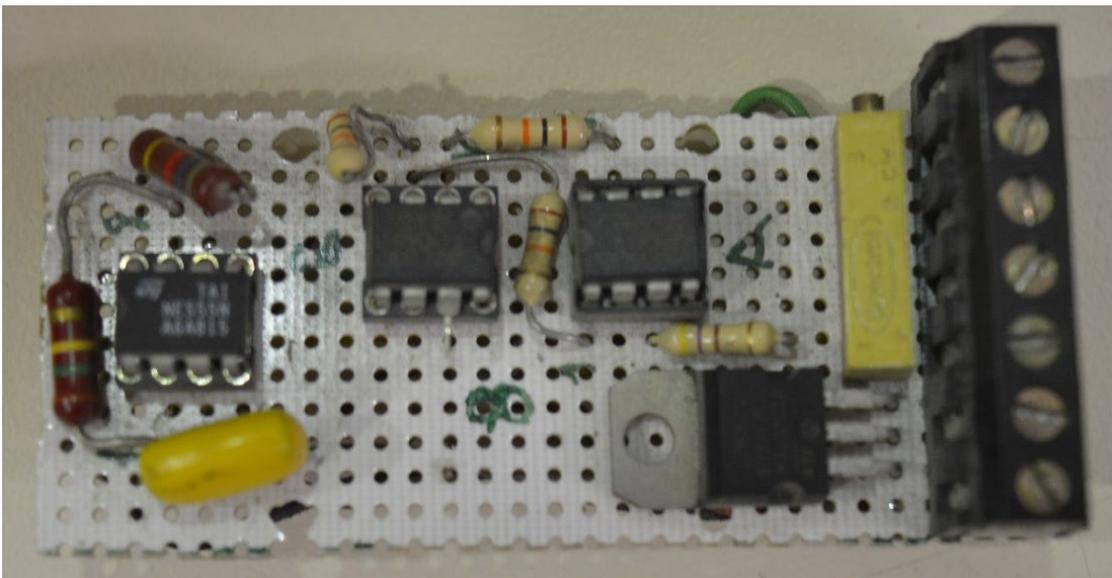


Figura 27. Placa del acelerador. Vista superior

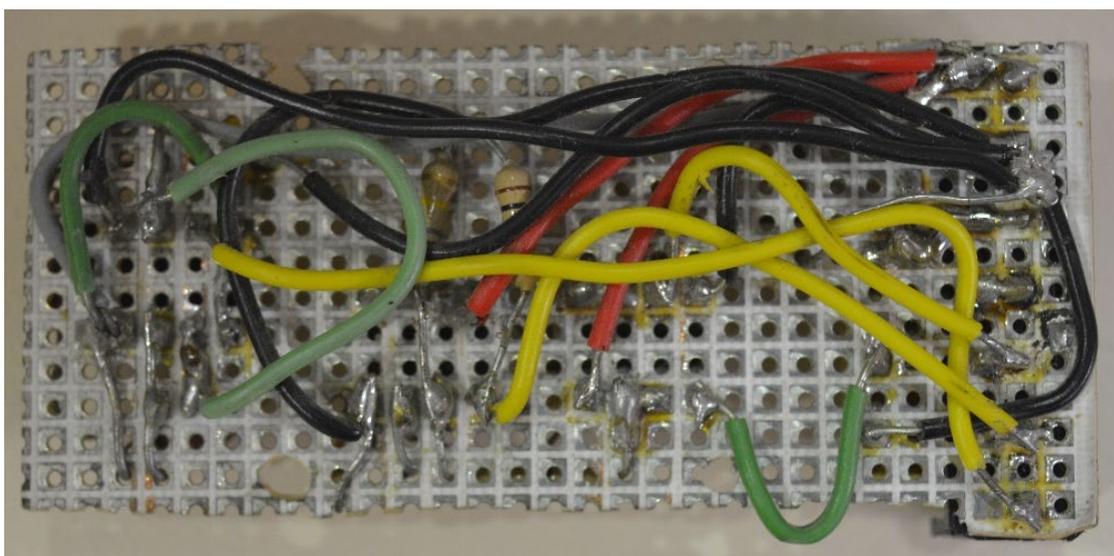


Figura 28. Placa del acelerador. Vista inferior

Anexo E: Zytel Park

Características del vehículo

El Zytel Park es un vehículo biplaza, puramente eléctrico, diseñado para ser usado en entornos como campos de golf o complejos muy amplios para transporte de personas y equipaje ligero. Las características detalladas pueden verse a continuación.

Dimensiones

Anchura	1230 mm
Altura	1800 mm (1860 mm con placa solar)
Longitud	2250 mm
Distancia entre ejes	1600 mm
Vía anterior	910 mm
Vía posterior	1000 mm
Radio de giro	3200 mm
Peso	512 kg

Tabla 13. Dimensiones Zytel Park

Especificaciones eléctricas

Interruptor de marcha	Interruptor manual
Bocina	No
Reducción velocidad marcha atrás	No
Indicador marcha atrás	Sonoro

Tabla 14. Especificaciones eléctricas Zytel Park

Motor

Posición	Posterior
Tracción	Trasera
Transmisión	Directa
Potencia	3 KW
Gestión del motor	Controlador electrónico

Tabla 15. Motor Zytel Park

Baterías

Número	8
Tensión	6 V
Tiempo recarga	4-6 horas
Autonomía	50 km

Tabla 16. Baterías Zytel Park

Especificaciones mecánicas

Freno de mano	Pedal
Suspensión delantera	Muelle amortiguador
Suspensión trasera	Muelle amortiguador
Estructura	Esqueleto de acero
Cambio de marcha	Interruptor manual adelante atrás

Tabla 17. Especificaciones mecánicas Zytel Park

Regulador

El controlador que posee el prototipo ya venía instalado y se trata de un *Curtis PMC 1266 SepEx®*, el cual es muy típico para usos de vehículos utilitarios o carritos de golf.

Los reguladores del motor de *Curtis SepEx®* entregan un control liso, silencioso y sutil de los motores excitados mediante corriente continua. Estos reguladores eliminan la necesidad de contactores y proporcionan el frenado regenerativo completo a velocidad cero. Son fáciles de instalar, eficientes y de bajo coste.



Figura 29. Controlador Curtis

El regulador Curtis 1266 ofrece control de las siguientes características:

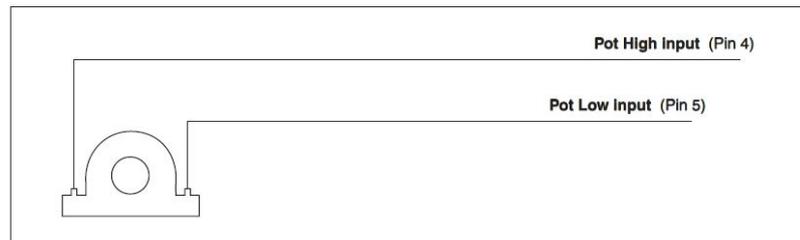
- Frenado regenerativo, proporcionando una operación más larga en una sola carga de la batería y reducción del desgaste y calentamiento del motor
- Ratios de frenado para un frenado suave con la liberación del pedal
- Dos modos de operación con velocidad máxima controlada y limitada en cada uno
- El control de la velocidad del vehículo se mejora a través de la retroalimentación de un sensor de velocidad de efecto Hall
- Función antirretroceso, que proporciona un control mejorado cuando el acelerador se libera en pendientes
- Señal acústica de reversa
- Diagnostico completo de a través del LED de estado incorporado

En un primer momento se estudió la posibilidad de conectar el acelerador de la tercera forma que el regulador permite, ver Figura 30, pero el modelo utilizado no permitía esta conexión, por lo que ayudado de una placa de conversión (Anexo D: Placa del acelerador), finalmente se conectó la primera configuración que corresponde a un potenciómetro, ver Figura 31.

ITS Throttle

The ITS throttle is a 2-wire electronic throttle that connects between the Pot High and Pot Wiper pins (Pins 4 and 5), as shown in Figure 6. The Hall sensor circuit within the throttle creates an output current between 0.7mA and 1.6mA from min to max throttle. The two wires are interchangeable.

Fig. 6 *Wiring for ITS throttle.*



Note: ITS throttles can only be used with 1266 models that are specifically designed for them.

Figura 30. Conexión acelerador ITS

Fig. 4 *Wiring for 3-wire potentiometer throttle.*

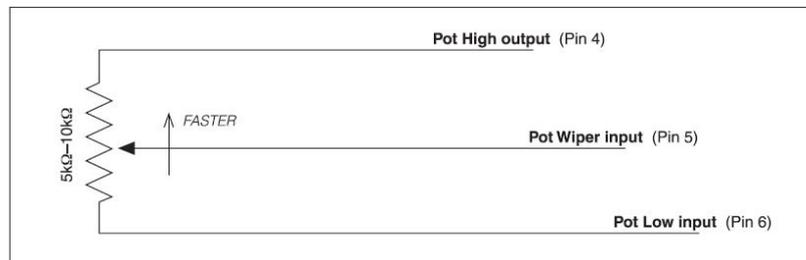
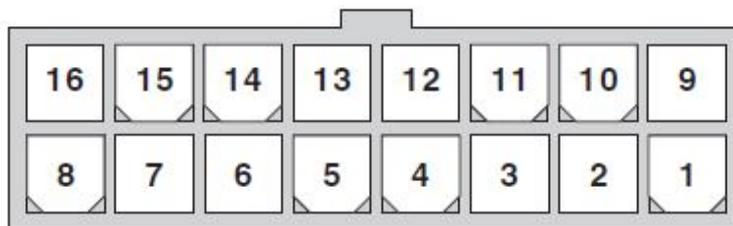


Figura 31. Conexión de acelerador utilizada

A continuación, puede verse cuál es la relación de pines (ver Figura 32) y un esquema del cableado final (ver Figura 33).



Pin 1	Hall Signal	<i>input signal from motor speed sensor</i>
Pin 2	Auxiliary Driver	<i>WalkAway™/EMB driver low-side output</i>
Pin 3	Reverse Alarm	<i>alarm low-side driver output</i>
Pin 4	Pot High	<i>+5V supply through 453Ω (or ITS input)</i>
Pin 5	Pot Wiper	<i>throttle wiper input</i>
Pin 6	Pot Low	<i>453Ω to ground</i>
Pin 7	Main Contactor	<i>contactor coil driver low-side output</i>
Pin 8	Logic Enable	<i>input from run/store switch</i>
Pin 9	Hall -	<i>B- ground for motor speed sensor</i>
Pin 10	Hall +	<i>+15V supply for motor speed sensor</i>
Pin 11	Reverse	<i>input from reverse switch</i>
Pin 12	Forward	<i>input from forward switch</i>
Pin 13	Pedal Interlock Switch	<i>input from pedal switch, wired to throttle</i>
Pin 14	Mode Switch	<i>input from mode switch</i>
Pin 15	Keyswitch Input (KSI)	<i>throttle wiper input (or ITS input)</i>
Pin 16	Logic Power	<i>power to controller logic</i>

Figura 32. Relación de pines del controlador

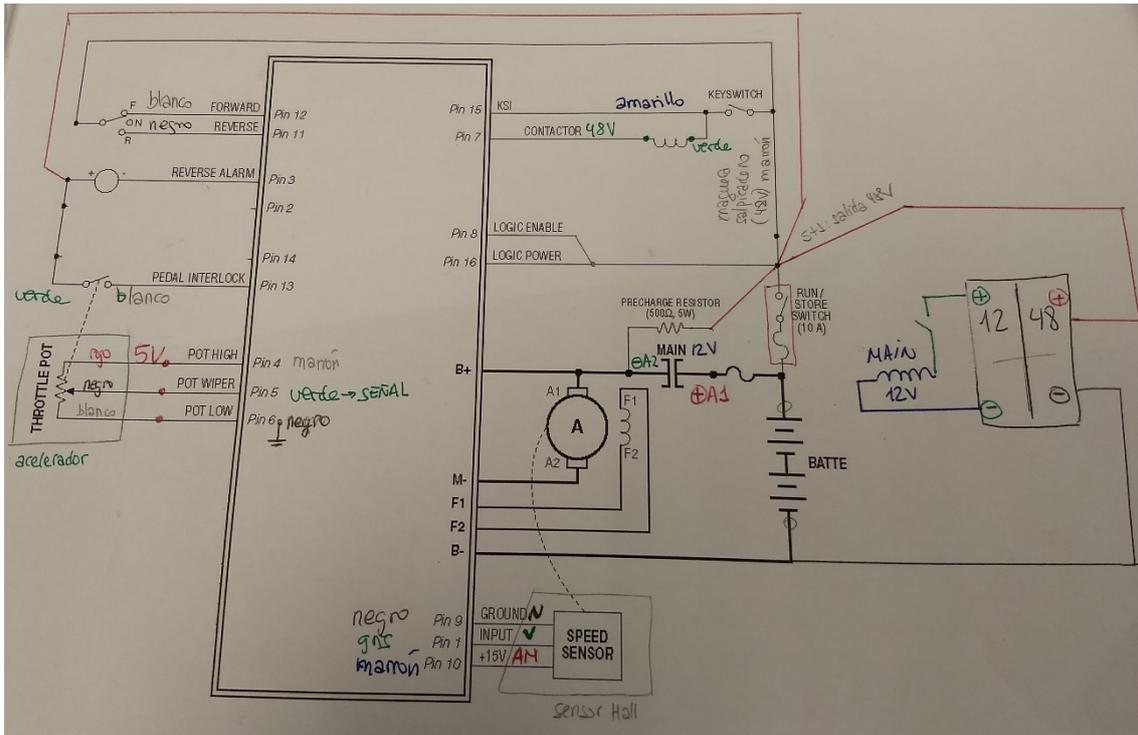


Figura 33. Cableado del controlador

Frenado regenerativo

El estado de funcionamiento de un motor DC se puede representar gráficamente, como se muestra en la Figura 34.

Para ello se utiliza un sistema de coordenadas en el que el eje vertical representa la f.e.m. (E), y el horizontal la corriente inducida (I). Como la f.e.m. es proporcional a la velocidad, el eje vertical también será de velocidades; del mismo modo, el par se representa en el eje horizontal porque es proporcional a la corriente. Estos dos parámetros definen el punto de funcionamiento del motor, su signo sitúa el punto de funcionamiento en uno de los cuatro cuadrantes. Estos signos dan una imagen del sentido de transferencia de la potencia del motor; Así, en los cuadrantes 1º y 3º el producto f.e.m.-intensidad es positivo, esto equivale a decir que la potencia es positiva y que el motor está absorbiendo energía eléctrica para convertirla en energía mecánica; en otras palabras, se está comportando como motor. En los cuadrantes 2º y 4º, el producto es negativo; en estas condiciones la máquina cede energía eléctrica, es decir, se comporta como generador.

Cuando se da la orden al motor para que disminuya su velocidad, éste responde perdiendo la energía que tiene acumulada por inercia a causa de la entrega de energía a las baterías, por lo tanto, este sistema puede llegar a ser demasiado lento cuando sean necesarias inversiones de sentido de giro rápidas y sin valores excesivos de corrientes. Si se actúa sobre el motor, de manera que se le pida una inversión del sentido de giro

para acelerar la inversión, la energía, que en ese momento tiene el motor, deberá tener un camino por el cual volver a la red de alimentación.

En la figura se observa que en estos circuitos de ejemplo se pasa directamente del 1º al 3º cuadrante y viceversa, sin entrar en el 2º o 4º cuadrante.

Al darle un camino para devolver la energía a la red, a la pérdida de rozamientos hay que añadirle la que se devuelve a la red. Por lo tanto, se acelera el proceso de inversión. A este tipo de mando se le denomina frenado regenerativo.

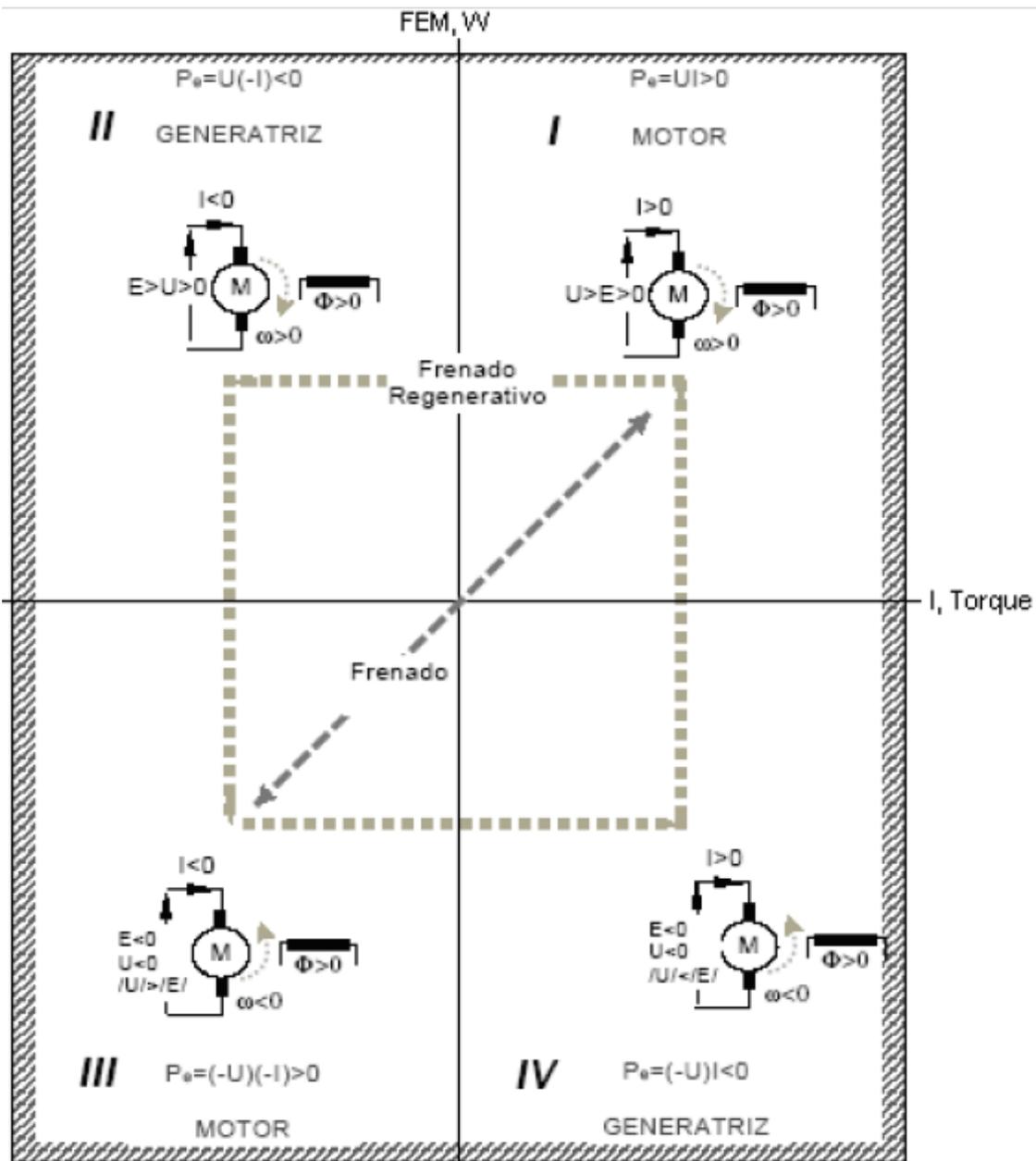


Figura 34. Esquema de funcionamiento de los motores de CC

A modo de resumen podemos decir que el freno regenerativo aprovecha la energía cinética del movimiento, basándose en la reversibilidad de cualquier maquina eléctrica,

pudiéndose utilizar como generador para recargar la batería. Se puede llegar hasta ahorros del 40%.

A continuación, puede verse el mapa del freno regenerativo que suministra el controlador Curtis.

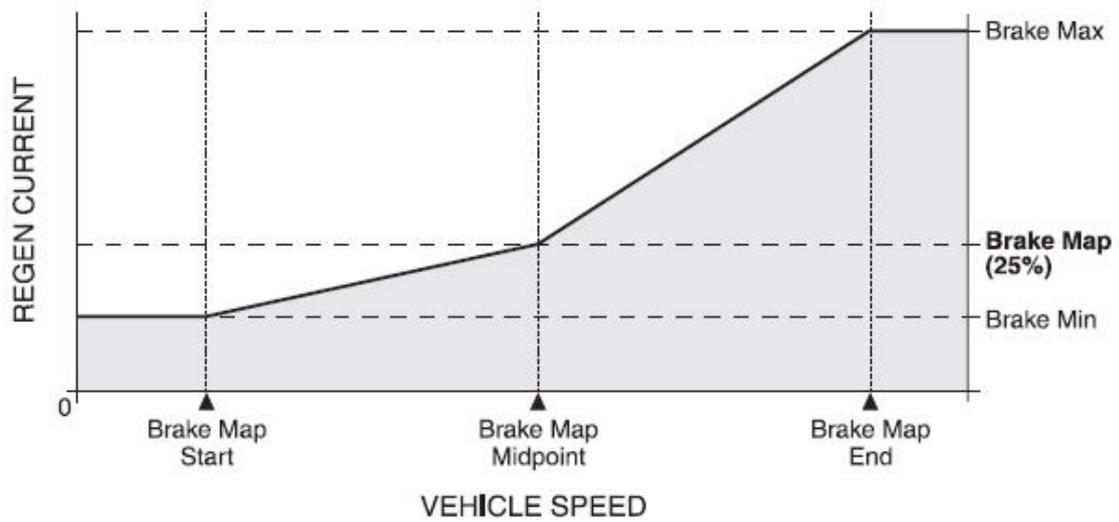


Figura 35. Mapa de frenado regenerativo del controlador

Debido a que la regeneración está limitada por la velocidad que lleva el vehículo, el nivel de regeneración será menor conforme el vehículo se esté aproximando a estar parado.

Motor eléctrico

Se trata de un motor síncrono DC sin escobillas (brushless) de 3KW con una tensión de alimentación 48V, el cual tiene una buena densidad de potencia y coste, así como buen comportamiento en cuanto a eficiencia, relación potencia/peso y baja necesidad de mantenimiento.



Figura 36. Placa de características del motor

con ensayos posteriores o no. La radiación solar dependerá del mes, hora del día, clima y ubicación.

- Nombre archivo asociado, insertaremos el nombre con el que se guardaron los datos obtenidos por el registrador, para proceder a su volcado posteriormente. Debe ser posible conocer el tipo de ensayo a través del nombre.
- Circuito, se indicará el circuito seguido en el ensayo, se dispondrá de tres circuitos explicados al detalle más adelante.
- Numero de vueltas y distancia recorrida, servirá para calcular autonomías
- Peso arrastrado, para tener ensayos comparables se incluye si el vehículo carga con una o dos personas o algún peso añadido por objeto de estudio.
- Link track, link que da acceso al registro mediante GPS del ensayo.
- Tensión de baterías, se medirán todas las baterías y la tensión total con un polímetro antes de comenzar y al finalizar, para conocer su estado de carga.

Realización del ensayo

Una vez completado el checklist previo, se procede al ensayo siguiendo los siguientes pasos:

1. Se pone en marcha el registrador
2. Se pone en marcha el GPS
3. Se quita el freno de estacionamiento
4. Empieza la conducción, con las condiciones que requiera el ensayo
5. Se recorre la distancia a ensayar
6. Se detiene el GPS
7. Se pone el freno de estacionamiento
8. Se quita el contacto
9. Se mide la tensión de las baterías
10. Se mide la tensión de las baterías 10 minutos después
11. Se desconecta el registrador
12. Se abre el seccionador y se baja el interruptor general

Resultados posteriores

Una vez terminado el ensayo, se vuelcan todos los resultados del registrador a la plantilla de hoja Excel, a través de la cual se conoce la evolución a lo largo del ensayo de las cuatro variables medidas y las derivadas de ellas. Las medidas son radiación, tensión de baterías, corriente hacia el motor, corriente hacia las baterías. Las derivadas de estas serán, las potencias absorbidas y cedidas y la energía total. Para facilitar su comprensión se graficarán las más relevantes.

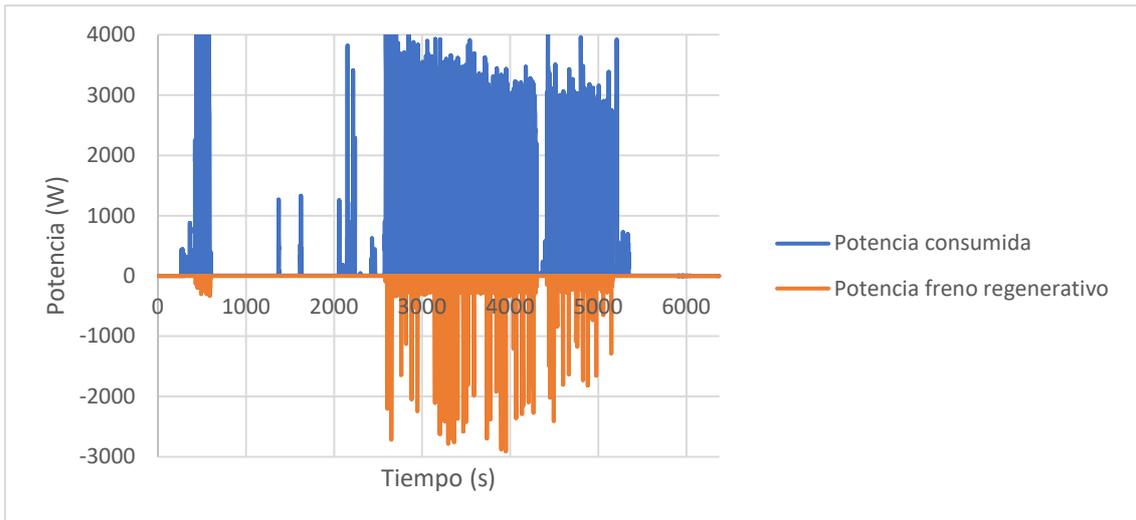


Figura 38. Ejemplo de gráfica obtenida

Circuitos

Se dispondrá de dos circuitos de estudio:

- Circuito 0. El coche se encuentra estacionado y expuesto a la radiación solar directa durante todo el ensayo. No existirán consumos y únicamente se estudiará la recarga de las baterías por medio de la placa solar.

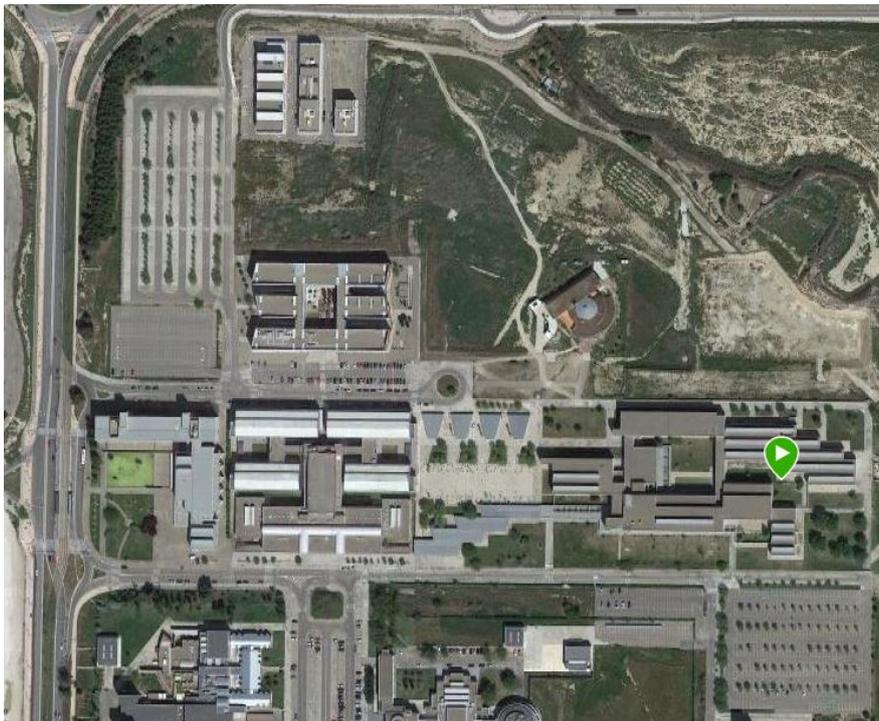


Figura 39. Circuito 0

- Circuito 1. Un circuito a cota constante, para estandarizar el modo de conducción. Tiene 320m de longitud y permite una circulación fluida. Se darán vueltas hasta un total de 15km por ensayo.

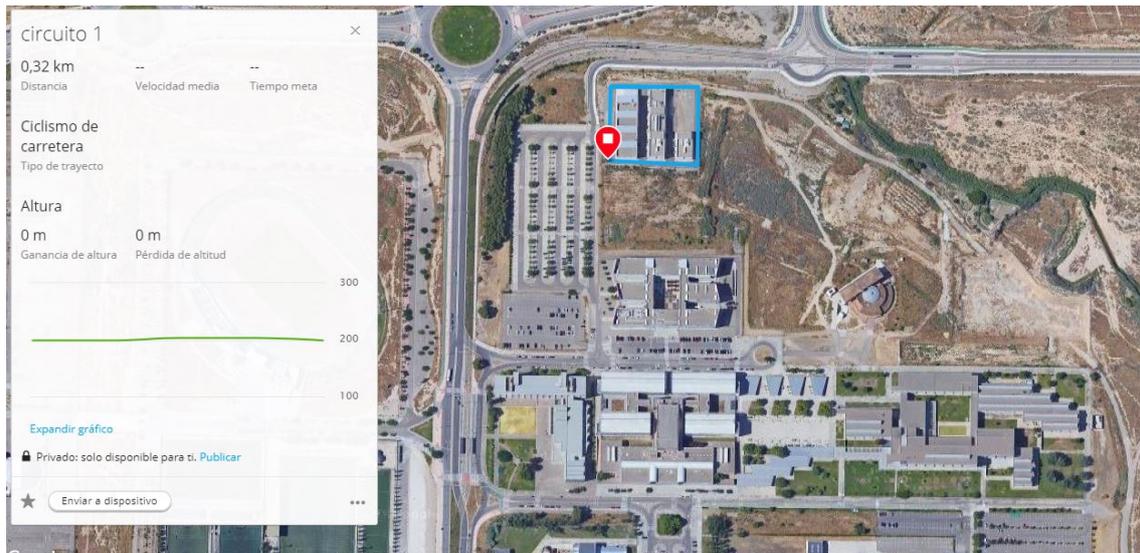


Figura 40. Circuito 1

Anexo G: Captación solar

Placa solar

La placa solar utilizada tiene unas dimensiones de 160x80cm, por lo tanto, la superficie de captación es 1,28 m². Para poder dimensionar el resto del sistema acorde a la placa solar, es necesario conocer las corrientes y tensiones que va a suministrar al mismo.

Mediante la curva característica se conocen todos los posibles puntos de funcionamiento y la potencia máxima entregada por la placa. Para conocer esta curva, se utiliza el trazador de curvas I-V PVPM 6020C (ver

Anexo B: Trazador curvas I-V PVPM 6020C) y su software de interpretación de datos. Se realizaron dos ensayos, el mismo día y con las mismas condiciones atmosféricas.

- Ensayo 1.

Ensayo realizado con la placa orientada directamente a la radiación solar, posición óptima para suministrar potencia máxima (ver Figura 41).

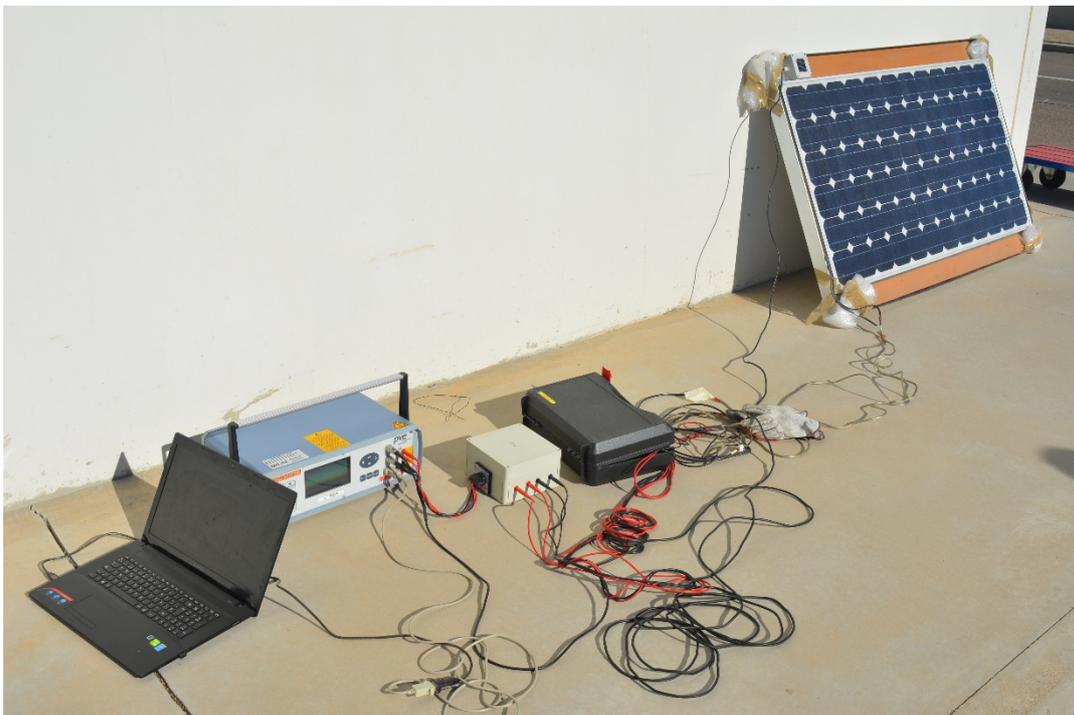


Figura 41. Ensayo placa solar 1

Los resultados obtenidos en este ensayo son los siguientes:

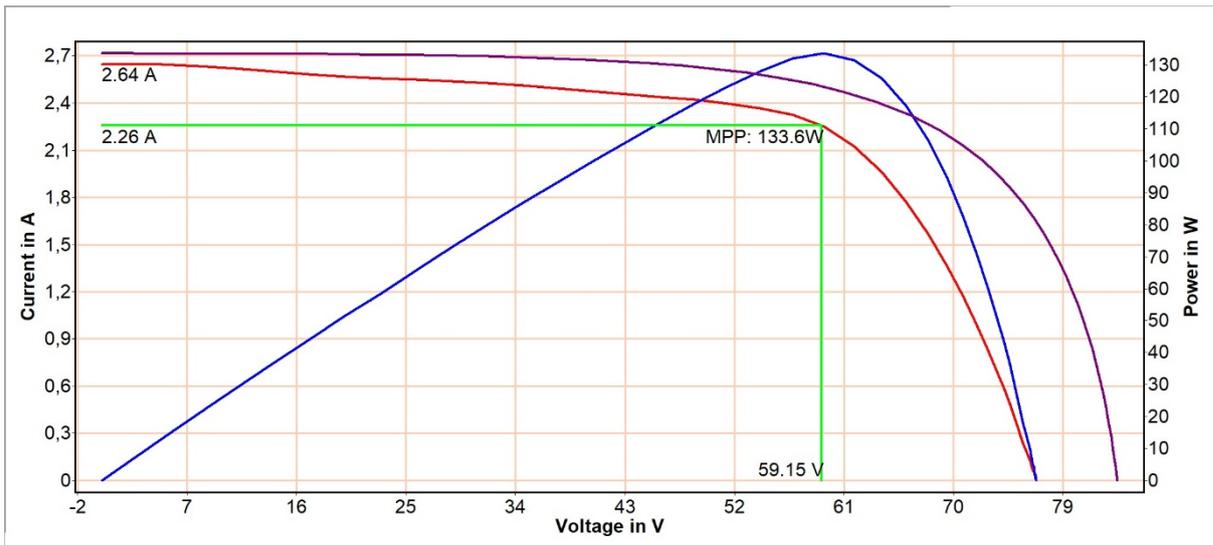
Irradiancia: 974W/m^2

Vmax: 76.82V

I_{max}: 2.64A

P_{max}: 133.6W (59.15V y 2.26A)

Si se observa la Gráfica 22, en rojo aparece la curva característica, en morado la misma curva de haberse realizado el ensayo en condiciones estándar STC (Standard Test Conditions $\rho_{E0}=1000\text{W/m}^2$, AM1.5, $T=25^\circ\text{C}$), en azul la curva de potencia y en verde marcado el punto de funcionamiento a máxima potencia.



Gráfica 22. Curva ensayo placa solar 1

- Ensayo 2.

En este ensayo, la placa se encuentra en posición horizontal, para simular la posición final una vez instalada (ver Figura 42).



Figura 42. Ensayo placa solar 2

Los resultados obtenidos en este ensayo son los siguientes:

Irradiancia: 996W/m²

Vmax: 75.96V

Imax: 1.75A

Pmax: 90.9W (60.3V y 1.51A)

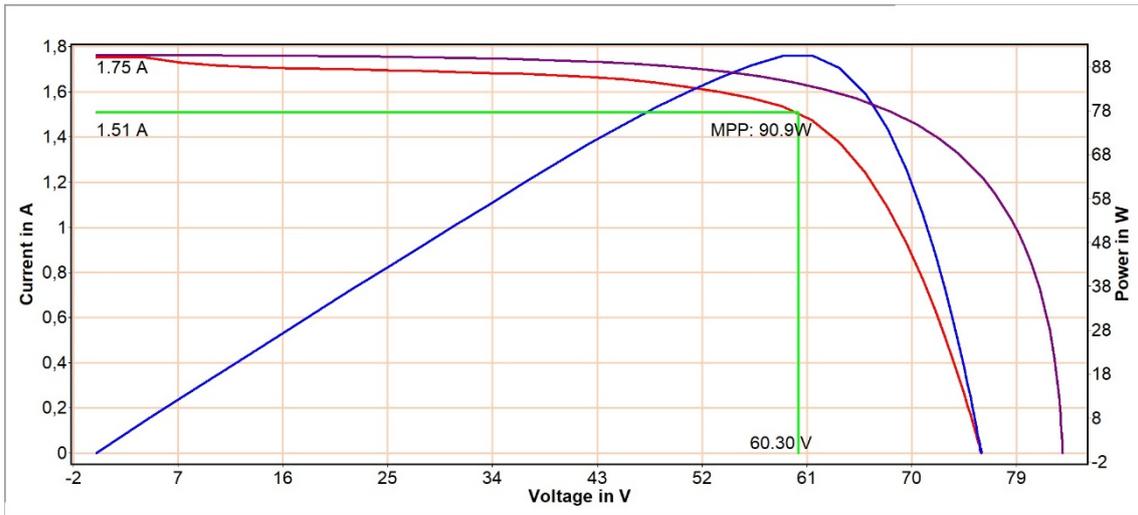


Figura 43. Curva ensayo placa solar 2

- Conclusiones

Como se podía esperar, todos los resultados en el ensayo 2 fueron menores, aunque del mismo orden de magnitud. Esto se debe a que la incidencia de los rayos solares se produce con un ángulo que no permite aprovechar toda la radiación solar. La corriente de carga de baterías no superará los 3A. En la zona de carga, alrededor de 48V, se trabaja en la zona aproximadamente constante sin que se sufran grandes cambios en la corriente.

	Ensayo 1	Ensayo 2
Vmax	76.82 V	75.96 V
I_{max}	2.64 A	1.75 A
Pmax	133.6 W	90.9 W

Tabla 18. Resumen resultados

Célula calibrada

Para conocer el potencial de la energía solar térmica o fotovoltaica, así como para evaluar el correcto funcionamiento de una instalación solar es necesario medir la intensidad de la radiación solar.

Con una célula calibrada se sabe exactamente los Watios por metro cuadrado que nos llegan del sol en todo momento. Se puede medir el potencial que se recibe en un ángulo determinado. La potencia de pico, indicada en Watios de los paneles solares fotovoltaicos se refieren siempre a $1,000 \text{ W/m}^2$ de insolación.

La célula fotovoltaica utilizada (Fadisol C-0121) es de silicio monocristalino de alto rendimiento y esta calibrada según la Tabla 19, Sus dimensiones son $35 \times 55 \times 6 \text{ mm}$ y 8 gr de peso. En la Gráfica 23 se puede ver la recta de ajuste para interpolar la radiación para valores de corriente no tabulados.

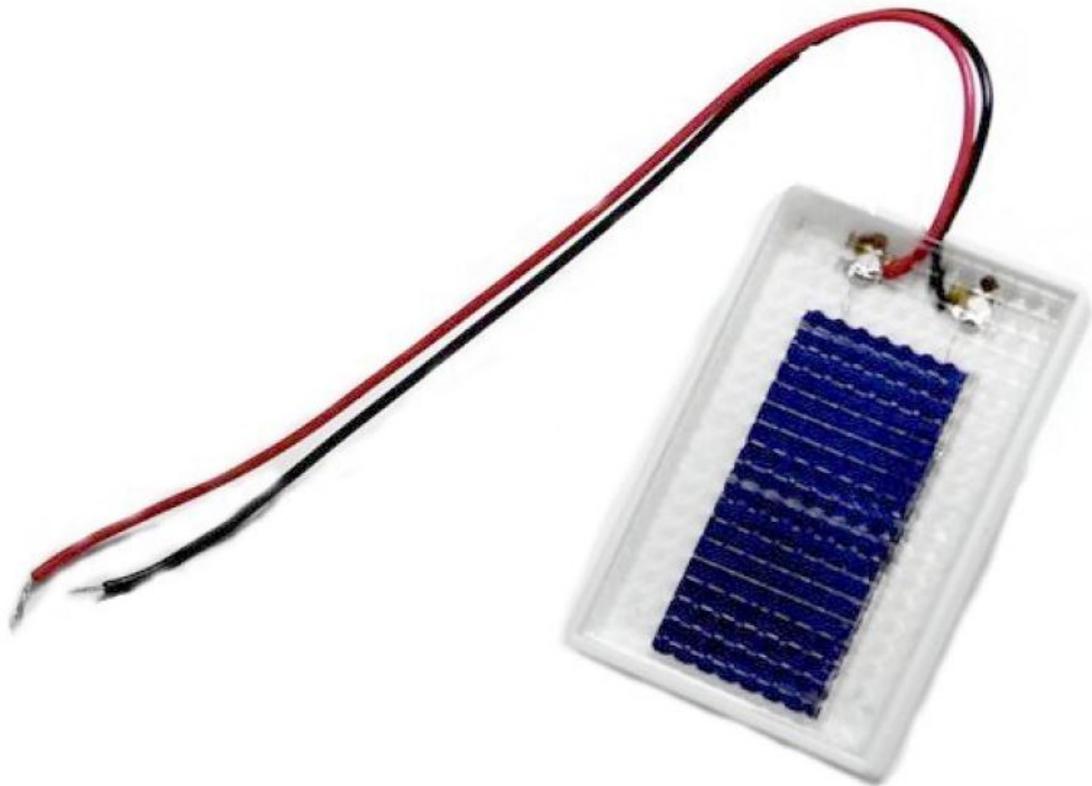
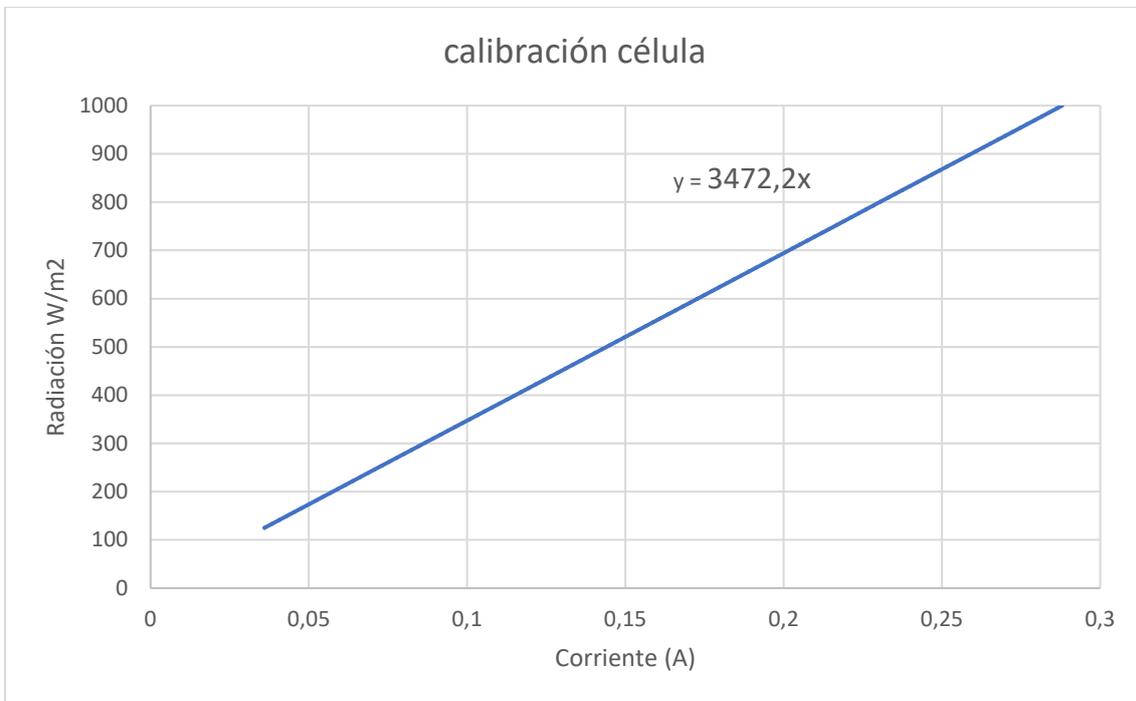


Figura 44. Célula calibrada Fadisol C-0121

W x m2	mA.
1.000	288,0
950	273,6
900	259,2
800	230,4
750	216,0
600	172,8
500	144,0
400	115,2
300	86,4
250	72,0
125	36,0

Tabla 19. Calibración célula solar



Gráfica 23. Calibración de la célula solar

Regulador solar

Para el correcto funcionamiento del sistema placa-carga-baterías es necesario un regulador de carga solar. El utilizado es el Plasmatrix PL40 (ver Figura 45), que suministra al sistema un máximo de 40A. El regulador nos permite suministrar tensiones constantes, adaptadas al sistema empleado, independientemente de la radiación recibida por la placa. Cuando se realiza la carga de las baterías, realizará un proceso con diferentes fases para una carga óptima. Además, este dispositivo da respuestas a preguntas como, ¿Cuanta energía ha almacenado/consumido hoy? ¿Cómo de cargada

se encuentra la batería? ¿Qué tensión máxima se ha alcanzado durante el día? ¿A qué hora se ha alcanzado la carga completa de la batería?

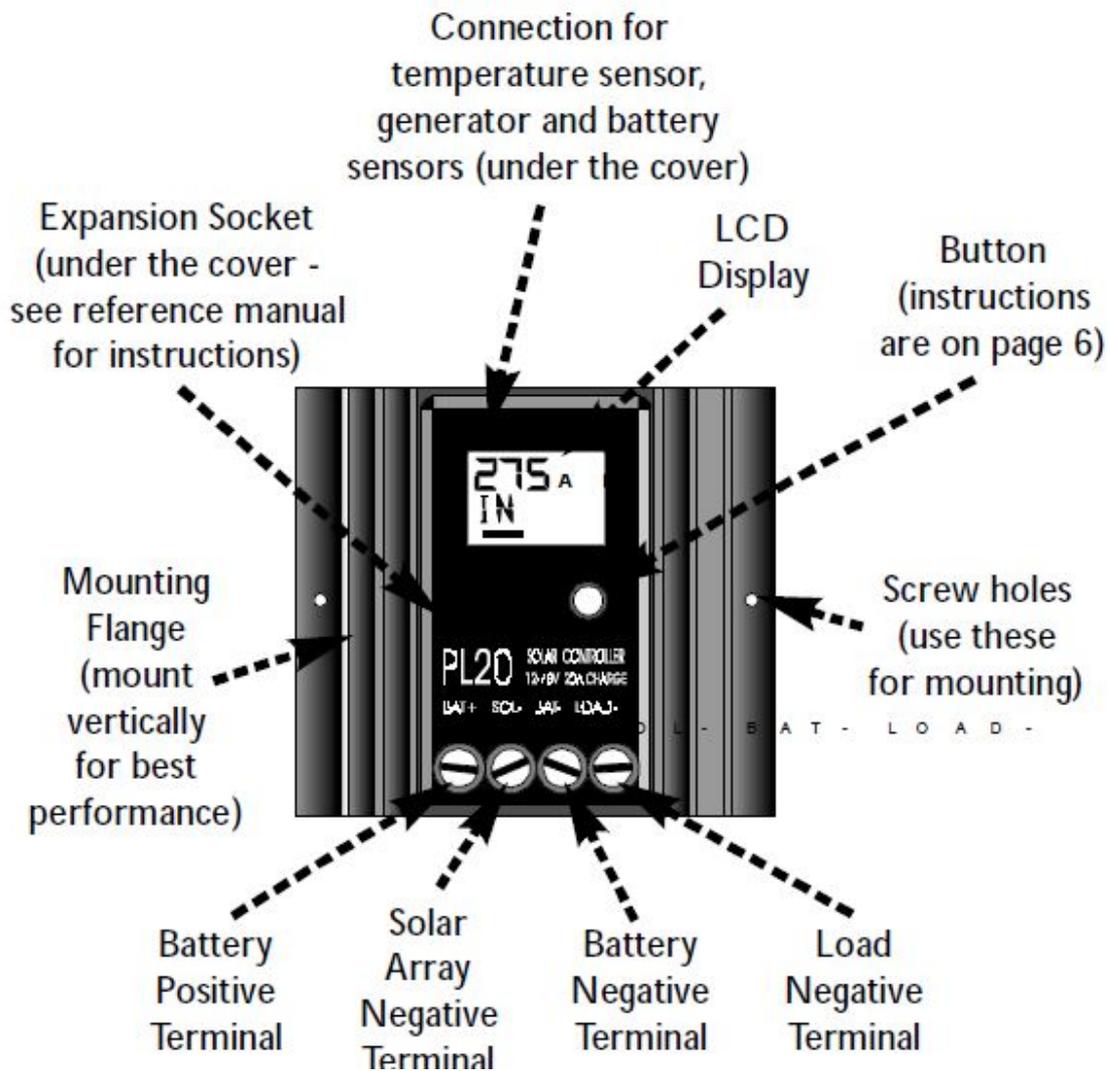


Figura 45. Regulador solar PL40

El regulador cuenta con 4 entradas principales, una pantalla LCD y un botón para navegar por los menús. A través de entradas secundarias pueden añadirse sensores externos, como un sensor de temperatura o un módulo que permite la transmisión de los datos a un PC. Dispone de memoria suficiente para almacenar datos durante un mes completo.

Ajuste de parámetros

Para navegar por lo menús solo se dispone de un botón, por lo que es necesario diferenciar entre pulsaciones cortas (pulsar y soltar inmediatamente), que avanza a la siguiente opción y pulsaciones largas (pulsar y mantener hasta que el menú cambie, en

torno a un segundo) que seleccionan criterios. El esquema del menú puede verse en la Figura 46.

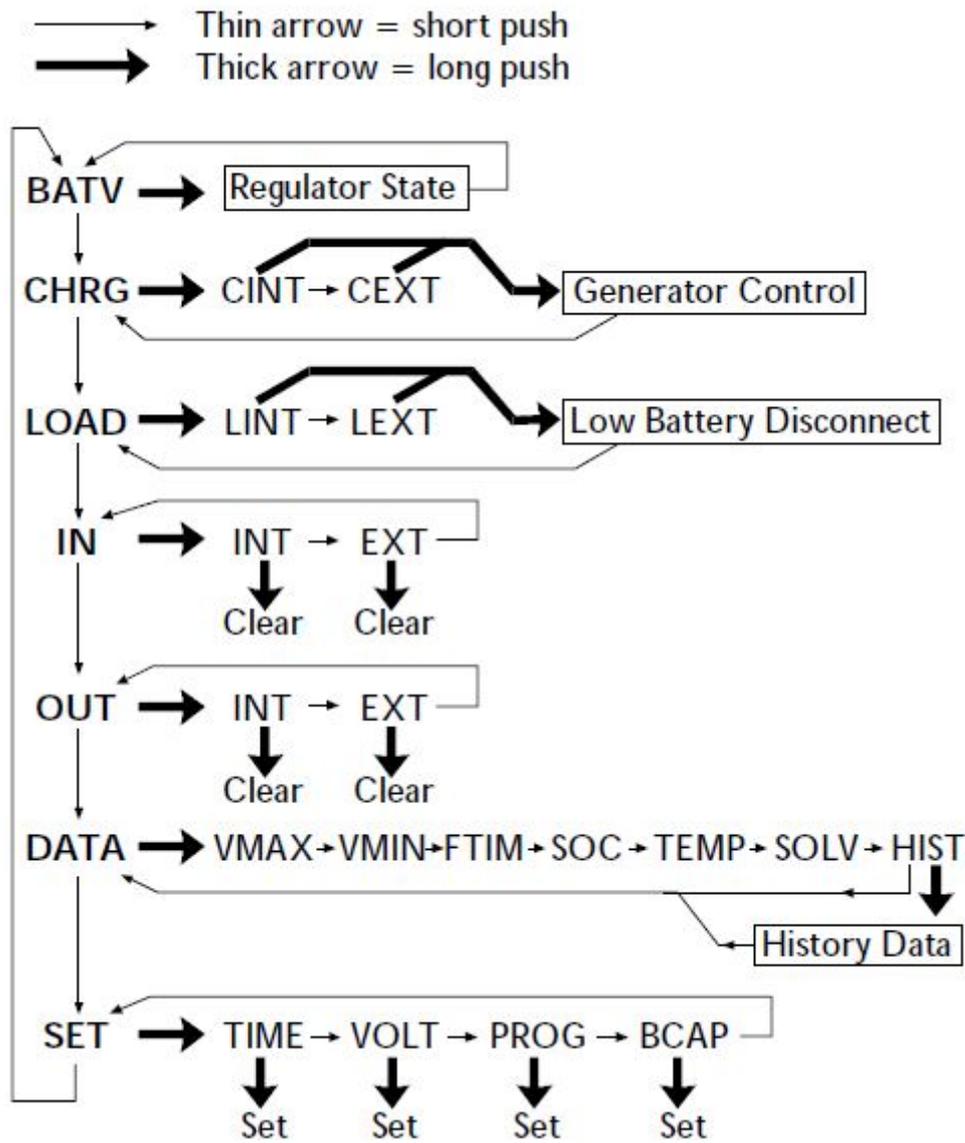


Figura 46. Esquema del menú del PL40

Para ajustar los parámetros adecuados para nuestro sistema debemos de llegar al menú “SET” mediante pulsaciones cortas y realizar una pulsación larga para entrar en él.

Disponemos de 4 ajustes básicos, tiempo, voltaje, programa y capacidad.

- TIME: Se ajusta el tiempo para poder consultar posteriormente a qué hora han sucedido eventos concretos como por ejemplo la tensión máxima o cuando se alcanza el nivel de carga idóneo. El tiempo aparece en forma decimal, por lo que cada décima corresponde a 6 minutos.
- VOLT: Se selecciona la tensión del banco de baterías del sistema, entre 12 y 48v. En caso de no ajustar correctamente, el regulador nunca se verá dañado, no así las baterías, que podrían llegar a resultar dañadas por sobrecargas. Si por error

se selecciona una tensión menor a la real de las baterías, éstas no se cargarán ya que el PL interpretará que están por encima de su valor máximo, por lo que es importante verificar la tensión de ajuste antes de realizar un ensayo.

- **PROG:** El PL cuenta con unos programas preconfigurados que son útiles para la mayoría de las aplicaciones y un programa manual que permite ajustar un mayor número de parámetros para casos concretos. En la Figura 47, puede verse un resumen de los programas disponibles.
 - Programa 0: Baterías de electrolito líquido con opción de desconexión de batería baja.
 - Programa 1: Baterías de gel con opción de desconexión de batería baja
 - Programa 2: Baterías de electrolito líquido con opción de control de luz. La carga se conecta cuando es de noche, aunque se desconectaría si la tensión de la batería baja demasiado.
 - Programa 3: Baterías de gel con opción de control de luz. La carga se conecta cuando es de noche, aunque se desconectaría si la tensión de la batería baja demasiado.
 - Programa 4: Ajuste manual. Elegir este programa requiere ajustar más parámetros. En la Figura 48 pueden verse los parámetros establecidos en los anteriores programas y que serán ajustables en este.
- **BCAP:** Capacidad de la batería en Ah. Rango de ajuste 20Ah-20.000Ah Los números grandes aparecen en miles, por ejemplo 1600 Ah aparece como 1.6.

Program Function Table (Generic Programs)

Program#:	0	1	2	3
Batt Type:	Flooded	Sealed	Flooded	Sealed
LOAD- Term	No Night Light		Night Light	
Functions:	Low Battery Disconnect			

Low Battery Disconnect is enabled for Programs 0-3.
Programs 2&3 turn on the LOAD- terminal at night.

Figura 47. Resumen programas PL40

Settings Used in Programs 0-3

When programs 0-3 are selected, the PL automatically uses the values below in its regulation.

The voltage settings are shown correct for 12V operation. For higher voltages, scale these up (eg. for a 24V system, multiply each voltage figure by 2.)

CHRG	Setting for program number			
	0	1	2	3
Parameter				
GMOD	0			
G ON (V)	11.5			
G OFF (V)	13.8			
GDEL (Min)	10			
GEXD (Day)	30			
GRUN (Hr)	1.0			

LOAD	Setting for program number			
	0	1	2	3
Parameter				
LOFF (V)	11.3			
L ON (V)	12.8			
LDEL (Min)	10			

SET/REG	Setting for program number			
	0	1	2	3
Parameter				
BMAX (V)	15.0	14.2	15.0	14.2
EMAX (V)	16.0	14.0	16.0	14.0
ETIM (Hr)	1.0	0	1.0	0
EFRQ (day)	45			
ABSV (V)	14.0			
ATIM (Hr)	2.0			
FLTV (V)	13.8			
HYST (V)	0.4			
BRTN (V)	12.3			
CHRG (A)				
PL20	20			
PL40	40			
PL60	60			
BFRQ (Day)	15			
TCMP	0			

SET/MODE	Setting for program number			
Parameter	0	1	2	3
LSET	1	1	4	4
GSET	2	2	9	9
BSET	0	0	2	2
BAT2 (V)	14.0			
PWM	1			
ALRM (V)	11.4			

SET/EVNT	Setting for program number			
Parameter	0	1	2	3
STRT	12			
TIME (Hr)	0			
STOP	12			
TIME (Hr)	25.5			
EMOD	2			
TMOD	0			

Settings for Program 4

If program 4 is selected, then all menu items can be accessed.

After TIME, VOLT and PROG, there are entry points for three further sub menus:

REG Allows you to customise the regulation settings for the PL (see below for details).

MODE Allows you to adjust other configuration options for the PL.

EVNT Settings for the event controller.

Figura 48. Resumen de parámetros PL40

Carga de baterías.

El PL posee un sofisticado sistema de regulación de carga diseñado para mantener las baterías totalmente cargadas sin sobrecargarlas.

Para conseguir esto usa un control del proceso de carga con tres estados principales. Estos estados son Boost, Absorption y Float, aunque también puede utilizar un cuarto estado llamado Equalisation. Ver Figura 49

- Boost. En esta etapa toda la corriente disponible se utiliza para cargar las baterías. Conforme la carga aumenta, también lo hace la tensión de estas, una vez alcanzado el valor máximo (BMAX) durante 3 minutos el controlador pasará automáticamente a la etapa absorption. En caso de que la tensión descienda por debajo de la tensión de retorno a Boost (BRTN) durante más de 10 minutos el PL regresará al estado Boost. El retardo de 10 minutos es para evitar innecesarios retornos al estado Boost que puedan ser debidos a la carga.
- Equalisation, opcional. Muchos fabricantes de baterías recomiendan sobrecargarlas ocasionalmente. De esta forma se equilibra la tensión y el electrolito entre todas las celdas previniendo la estratificación. El PL permite incrementar la tensión hasta un valor dado (EMAX) y mantenerlo en el tiempo (ETIM). Este equilibrado se programa típicamente cada 30-60 días, (EFRQ).
- Absorption. En este estado el PL trata de mantener la tensión constante durante la última etapa de la carga. De esta manera se previene la gasificación que puede tener lugar en las celdas con mayor tensión. Cuando la etapa de absorción ha finalizado pasa a la etapa Float.
- Float. En esta etapa la batería ya ha sido completamente cargada y la corriente de carga se utiliza para mantener la tensión. En caso de que la tensión disminuyese, se volvería a entrar en la etapa Boost.

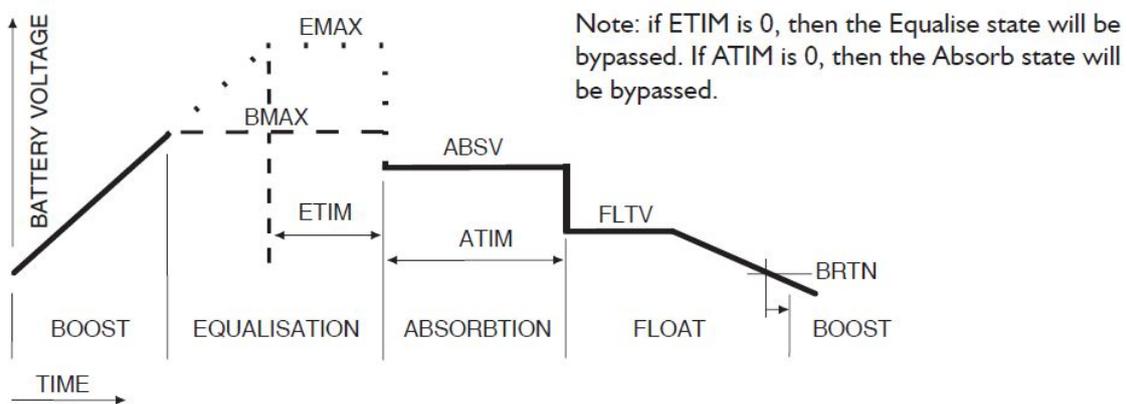


Figura 49. Estados de carga PL

Si se quiere conocer el SOC (state of charge) de la batería, esta debe cargarse al máximo y después el PL, hará balance de las entradas y salidas para estimarlo. En el vehículo de ensayo no puede implementarse ya que la energía obtenida a través del frenado regenerativo no sería tomada en cuenta y desvirtuaría el resultado.

Para prevenir daños ocasionados por una descarga excesiva, el PL tiene una función interna que permite desconectar la carga cuando la tensión de la batería baja de un valor dado. La carga no volverá a ser conectada hasta que se alcance de nuevo un valor seguro de operación. Esta función es opcional y puede ser deshabilitada conectando la carga directamente a la batería o mediante el ajuste de los parámetros internos.