



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**Banco de ensayos multipropósito para
caracterizar baterías de LiPo**

**Multipurpose test bench to typify LiPo
batteries**

424.18.54

Autor: Igor Martos Iza

Director: Dr. David Asiain Ansorena

Fecha: 27/11/2019

AGRADECIMIENTOS

Con este trabajo, se cierra un intenso periodo de aprendizaje tanto a nivel académico como a nivel personal. Este trabajo representa el esfuerzo de 4 años consecutivos en los que el nivel de exigencia ha ido in crescendo. Por eso quiero agradecer a todas aquellas personas que me han apoyado y compartido parte de la carga que ha supuesto superar todas y cada una de las barreras con las que me he encontrado.

En primer lugar, a mi madre María José Iza y mi padre Antonio Martos y por supuesto a mi hermano Borja Martos Iza, gracias a quienes he llegado a ser quien soy. Solo puedo expresar mi más sincero agradecimiento por haberme apoyado en una etapa en la que he madurado y crecido, tanto en lo personal, como en lo profesional. Siempre habéis estado en los momentos más difíciles y sabido dar los consejos que necesitaba escuchar en cada momento.

También querría agradecer el esfuerzo del tutor y director del Trabajo fin de grado, David Asiain Ansorena, puesto que sin su ayuda, tiempo y paciencia hubiese sido imposible llegar a desarrollar este trabajo. Destacar la actitud colaborativa de todos mis profesores, ayudando en todo lo posible para sacar adelante el trabajo y gracias por haberme dedicado el tiempo que he necesitado en cada momento

Quiero dar de todo corazón, las gracias a todos mis amigos. Los que ya conocía antes de empezar esta aventura fuera de casa, y han demostrado estar disponibles para apoyarme en todo momento. Y como no, a las nuevas amistades que se han forjado en este maravilloso periodo.

Por último, pero no por ello menos importante, quiero destacar el esfuerzo, comprensión y apoyo de las personas que han sabido entenderme, orientarme y apoyarme sin pedir nada a cambio. Gracias a las personas que no necesitan ser nombradas y se darán por aludidas con las siguientes acciones. Personas que me han acompañado en esos paseos nocturnos, han tenido conversaciones más allá de la universidad convirtiéndose en cómplices de mi vida, las que me han hecho reír a carcajada limpia y han sabido lo que pienso sin necesidad de contarlo. Gracias por haber empezado a formar parte de mi vida o por haberos mantenido. Espero que esta sea la primera de las etapas de todas las que nos quedan por vivir.



INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	14
1.1. PALABRAS CLAVE	14
2. ABSTRACT	16
2.1. KEYWORDS	16
3. INTRODUCCIÓN	18
3.1. MOTIVACIÓN	18
3.2. OBJETIVOS	18
4. ESTADO DEL ARTE	20
4.1. ANTECEDENTES	20
4.1.1. Banco de pruebas para validar contactos eléctricos	20
4.1.1.1. Megger Ms-2A	21
4.1.1.2. Omicron CMC 356	23
4.1.1.3. Fuentes de corriente continua	25
4.1.1.3.1. SH15-Q2	25
4.1.1.3.2. PBA1500T-5	26
4.1.2. Banco de pruebas para caracterizar celdas LiPo	26
4.1.2.1. Instrumentos de medida de magnitudes eléctricas	27
4.1.2.2. TBOH02	28
4.1.2.3. SBS	29
4.1.2.3.1. SBS-6500 Medidor de resistencia interna	29
4.1.2.3.2. SBS-8400 Carga electrónica programable	30
4.1.2.4. Arbin instruments	32
4.1.2.5. Cadex-C8000	36
4.2. MARCO TEÓRICO	38
4.2.1. Métodos de Unión	38
4.2.1.1. Configuraciones para unir baterías	38
4.2.1.2. Uniones Soldadas	39
4.2.1.2.1. Soldadura por láser (LBW)	39
4.2.1.2.2. Soldadura ultrasónica de metales (UMW)	39
4.2.1.2.3. Soldadura por puntos de resistencia	40
4.2.1.2.4. Soldadura blanda con estaño	40
4.2.1.3. Uniones Mecánicas	41
4.2.1.3.1. Técnicas de unión mediante dispositivos o accesorios	41

4.2.1.3.2.	Técnicas de unión mediante engarzado	42
4.2.1.3.3.	Técnicas de unión mediante recalado o clinchado	43
4.2.2.	<i>Caracterización de un Acumulador</i>	43
4.2.2.1.	Que es un acumulador	43
4.2.2.2.	Tecnologías de acumuladores	44
4.2.2.3.	Conceptos clave	45
4.2.2.3.1.	Tensión nominal, máxima y mínima	45
4.2.2.3.2.	Voltaje Cut-Off	46
4.2.2.3.3.	Corriente pico de Carga/Descarga	46
4.2.2.3.4.	Curvas de Carga/Descarga	46
4.2.2.3.5.	Temperatura	47
4.2.2.3.6.	Capacidad	47
4.2.2.3.7.	Tasa de Descarga y Carga	47
4.2.2.3.8.	Auto-descarga	48
4.2.2.3.9.	Resistencia interna	48
4.2.2.3.10.	Voltaje Circuito Abierto (VOC)	48
4.2.2.3.11.	Voltaje Circuito Cerrado (VCC)	49
4.2.2.3.12.	Estado de Sarga (SOC)	49
4.2.2.3.13.	Estado de Salud (SOH)	49
4.2.2.3.14.	Profundidad de Descarga (DOD)	49
4.2.2.3.15.	Vida útil	49
4.2.2.4.	Modelos matemáticos para estimar el SOC	49
4.2.2.4.1.	Estimación por modelo eléctrico	50
4.2.2.4.2.	Técnica por resistencia interna	50
4.2.2.4.3.	Prueba de descarga completa	51
4.2.2.4.4.	Método de 2 pulsos	51
4.2.2.4.5.	Técnica de voltaje en circuito abierto	52
4.2.2.4.6.	Modelo mediante el uso de un Filtro de Kalman y redes neuronales	53
4.2.2.4.7.	Conteo de coulomb	53
5.	DESARROLLO	56
5.1.	ELECCIÓN DEL MÉTODO DE UNIÓN DE LA BATERÍA	56
5.2.	CALCULO ANALÍTICO DE LA SECCIÓN DEL CONTACTO	57
5.3.	DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA CONTACTOS ELÉCTRICOS	58
5.3.1.	<i>Esquema eléctrico</i>	59
5.3.2.	<i>Diagrama de bloques</i>	60
5.3.3.	<i>Componentes del banco</i>	60
5.3.3.1.	Transformador	60
5.3.3.2.	Autotransformador Monofásico	61
5.3.3.3.	Puente de diodos	63

Resumen

5.3.3.4.	Banco de condensadores	65
5.3.3.5.	Pinzas o mordazas	66
5.3.3.6.	Otros elementos	67
5.3.3.6.1.	Recipiente para el aceite del transformador	67
5.3.3.6.2.	Elementos de protección	67
5.3.3.6.3.	Disipador puente de diodos	68
5.3.3.6.4.	Turbina utilizada para la refrigeración forzada por aire	68
5.3.4.	<i>Montaje del banco de pruebas</i>	69
5.3.5.	<i>Ensayos planteados</i>	70
5.3.5.1.	Unión de cobre	71
5.3.5.2.	Unión de cobre con refuerzo de cobre y acero con grasa	71
5.3.6.	<i>Toma de datos</i>	71
5.3.6.1.	Termopar	72
5.3.6.2.	Sensor de temperatura por Infrarrojos	72
5.3.6.3.	Corriente y Tensión	73
5.3.6.4.	Cámara termográfica	73
5.4.	CELDA UTILIZADAS EN LA BATERÍA	74
5.5.	NECESIDAD DE ENSAYAR LAS CELDAS	75
5.6.	DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA CELDAS	76
5.6.1.	<i>Diagrama de bloques</i>	76
5.6.2.	<i>Componentes del banco</i>	77
5.6.2.1.	Celda	77
5.6.2.2.	Resistencias de potencia	78
5.6.2.3.	Cargador (Fuente de alimentación modificada)	82
5.6.2.4.	Relés	84
5.6.2.5.	Sensores	86
5.6.2.5.1.	Corriente	86
5.6.2.5.2.	Tensión	90
5.6.2.5.3.	Temperatura	92
5.6.2.6.	Microcontrolador	93
5.6.1.	<i>Montaje del banco de pruebas</i>	94
5.6.2.	<i>Software</i>	95
5.6.3.	<i>Interfaz de usuario</i>	96
5.6.3.1.	Entorno general	97
5.6.3.1.1.	Pantalla principal y pestaña de control	97
5.6.3.1.2.	Pestaña de configuración	98
5.6.3.1.3.	Pestaña de carga	98
5.6.3.1.4.	Pestaña de descarga	99
5.6.3.1.5.	Pestaña de temperaturas	100
5.6.3.2.	Programación por bloques	100

5.6.3.2.1.	Comunicación entre MCU y LabView	100
5.6.3.2.2.	Cálculo del SOC	101
5.6.3.2.3.	Modo automático y manual	102
5.6.3.2.4.	Alertas	102
5.6.3.2.5.	Toma de datos	103
5.6.4.	<i>App Dashboard</i>	104
5.7.	DEFINICIÓN DE LAS METODOLOGÍAS SEGUIDAS PARA REALIZAR ENSAYOS	105
5.7.1.	<i>Banco de ensayos para validar contactos</i>	105
5.7.2.	<i>Banco de ensayos de baterías</i>	107
6.	RESULTADOS	110
6.1.	BANCO DE ENSAYOS PARA CONTACTOS	110
6.1.1.	<i>Unión de cobre</i>	110
6.1.1.1.	Ensayo de corriente en régimen permanente	110
6.1.2.	<i>Unión de cobre con refuerzo de cobre y acero con grasa conductora para contactos</i>	113
6.1.2.1.	Ensayo de corriente en régimen permanente	113
6.1.3.	<i>Comparativa entre uniones</i>	115
6.2.	BANCO DE ENSAYOS PARA BATERÍAS	116
6.2.1.	<i>Ensayos Realizados con el Banco de pruebas (Carga Resistiva)</i>	116
6.2.1.1.	Etapa de Descarga	116
6.2.1.2.	Etapa de Carga	118
6.2.2.	<i>Ensayos Realizados con el Banco de pruebas (Carga Electrónica Programable)</i>	121
6.2.2.1.	Etapa de Descarga	122
6.2.3.	<i>Ensayos realizados con un Equipo de Precisión</i>	124
6.2.3.1.	Etapa de Descarga	124
6.2.3.2.	Etapa de Carga	126
6.2.4.	<i>Resumen de Resultados</i>	128
7.	CONCLUSIONES	130
7.1.	LÍNEAS FUTURAS	131
8.	BIBLIOGRAFÍA	132

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 (Set Megger Ms-2A)	21
Ilustración 2 (Cuatro rangos ajustables)	21
Ilustración 3 (Tiempos de Time_ON y Tieme_OFF)	22
Ilustración 4 (Unidad de prueba CMC 356)	23
Ilustración 5 (Salidas de corriente)	24
Ilustración 6 (Fuente de corriente continua SH15-Q2)	25
Ilustración 7 (SH15-QX Tabla de Tensión y Corriente de salida).....	26
Ilustración 8 (PBA1500T-XX Tabla de Tensión y Corriente de salida)	26
Ilustración 9 (Fluke BT510).....	27
Ilustración 10 (TBSOH02)	28
Ilustración 11 (Multímetro de resistencia interna y registrador de datos)	29
Ilustración 12 (Software que se incluye en el Kit)	30
Ilustración 13 (Banco para probar baterías SBS-8400)	31
Ilustración 14 (Módulos inalámbricos para monitorizar celdas individuales)	32
Ilustración 15 (Equipo de test Arbin Carga / Descarga)	33
Ilustración 16 (Equipo de test de 96 canales).....	34
Ilustración 17 (Software-Data Watcher)	35
Ilustración 18 (Cadex-C8000)	36
Ilustración 19 (Representación por bloques del sistema que puede controlar el C8000).....	37
Ilustración 20 (Software PC - BatteryLab).....	37
Ilustración 21 (Tipos de conexiones en un Acumulador).....	38
Ilustración 22 (Esquema de la soldadura por ultrasonidos).....	39
Ilustración 23 (Esquema de soldadura por puntos)	40
Ilustración 24 (Placa PCB Soldada con estaño)	41
Ilustración 25 (Roblonado y remachado)	41
Ilustración 26 (Tornillos)	42

Ilustración 27 (Diseños de engarce)	42
Ilustración 28 (Clinchado).....	43
Ilustración 29 (Proceso químico Redox)	44
Ilustración 30 (Curvas de descarga).....	47
Ilustración 31 (Modelo dinámico).....	50
Ilustración 32 (Resistencia interna de una batería de níquel-metal).....	50
Ilustración 33 (Método de los 2 pulsos)	52
Ilustración 34 (Variable para estimar el valor inicial del SOC)	54
Ilustración 35 (Diagrama de bloques - Coulomb Counting).....	55
Ilustración 36 (Transformación onda).....	59
Ilustración 37 (Esquema eléctrico - Rectificada de onda completa).....	59
Ilustración 38 (Diagrama de bloques - Banco de ensayos para contactos).....	60
Ilustración 39 (Transformador refrigerado)	61
Ilustración 40 (Tensión de entrada y de salida)	61
Ilustración 41 (Esquema de autotransformador)	62
Ilustración 42 (Esquema eléctrico - Puente de diodos).....	63
Ilustración 43 (Semiciclo Positivo y Negativo)	64
Ilustración 44 (Puente de diodos)	64
Ilustración 45 (Esquema del módulo rectificador).....	64
Ilustración 46 (Salida del puente de diodos).....	65
Ilustración 47 (Banco de condensadores).....	66
Ilustración 48 (Pinza-Mordaza)	67
Ilustración 49 (PIA y Fusible)	68
Ilustración 50 (Disipador de aluminio para el puente de diodos)	68
Ilustración 51 (Turbina de refrigeración forzada por aire).....	69
Ilustración 52 (Montaje banco de ensayos)	69
Ilustración 53 (Cajeado utilizado en la batería).....	70
Ilustración 54 (Material necesario para montaje)	70

Resumen

Ilustración 55 (Esquemático del MLX90614)	72
Ilustración 56 (Conexión del Módulo MLX90614).....	73
Ilustración 57 (Cámara termográfica Testo 882)	73
Ilustración 58 (Imágenes Termográficas del contacto con el bornero mal crimpado)	74
Ilustración 59 (Tabla de especificaciones y dimensiones de la celda)	75
Ilustración 60 (Características de la batería)	75
Ilustración 61 (Diagrama de bloques - Banco de pruebas para Acumulador).....	77
Ilustración 62 (Celda utilizada en los ensayos)	78
Ilustración 63 (Relación de capacidad de disipación y temperatura)	78
Ilustración 64 (Resistencias de potencia ARCOL HS50 R39).....	80
Ilustración 65 (Disipador con ventilador)	81
Ilustración 66 (Las resistencias montadas sobre el disipador con pasta térmica)	81
Ilustración 67 (Esquema de la modificación de realimentaciones)	82
Ilustración 68 (Paca para el control de la fuente por MCU)	83
Ilustración 69 (Salida de la fuente de alimentación en las dos posiciones del relé)	84
Ilustración 70 (Relé escogido)	84
Ilustración 71 (Etapas de control para un transistor de tipo N).....	85
Ilustración 72 (PinOut y etapas de control utilizada)	85
Ilustración 73 (Esquema eléctrico del conversor del sensor de efecto hall).....	87
Ilustración 74 (PCB - Sensor de efecto hall).....	87
Ilustración 75 (Conexión para calibrar el sensor de efecto hall)	88
Ilustración 76 (Calibrado del sensor de efecto hall)	88
Ilustración 77 (Pines de salida del sensor de efecto hall)	89
Ilustración 78 (Verificación mediante equipo de precisión)	89
Ilustración 79 (Esquema eléctrico del módulo ADS 1115)	91
Ilustración 80 (Conexión I2C de varios módulos ADS 1115)	91

Ilustración 81 (Conexión a microcontrolador del módulo ADS 1115).....	91
Ilustración 82 (Esquemático MAX31856).....	92
Ilustración 83 (Modulo Adafruit MAX 31856)	93
Ilustración 84 (Termopar de 2m).....	93
Ilustración 85 (Montaje del banco de pruebas para celdas)	94
Ilustración 86 (UML - Código Arduino).....	95
Ilustración 87 (Diagrama de actividad de la Interfaz)	96
Ilustración 88 (Pantalla principal y Pestaña de control)	97
Ilustración 89 (Pestaña de configuración)	98
Ilustración 90 (Pestaña de carga)	99
Ilustración 91 (Pestaña de descarga)	99
Ilustración 92 (Pestaña de temperaturas)	100
Ilustración 93 (Comunicación entre MCU y LabView)	101
Ilustración 94 (Cálculo del SOC en el proceso de carga)	101
Ilustración 95 (Calculo del SOC en el proceso de descarga).....	102
Ilustración 96 (Alertas).....	103
Ilustración 97 (Captura y acondicionamiento de datos).....	103
Ilustración 98 (Escritura de datos en un archivo Excel).....	103
Ilustración 99 (Configuración del archivo de texto)	104
Ilustración 100 (Variables públicas en la red)	104
Ilustración 101 (Paneles de la app Data Dashboard)	105
Ilustración 102 (Carga electrónica programable 20 Amperios)	108
<i>Ilustración 103 (Unión cobre - Relación Temperatura-Corriente).....</i>	<i>111</i>
Ilustración 104 (Unión cobre - Relación Energía- Corriente)	111
Ilustración 105 (Unión Cobre – Relación Energía Consumida y Temperatura) .	112
Ilustración 106 (Unión Cobre - Termografía)	112
Ilustración 107 (Unión cobre con refuerzos y grasa – Relación de corriente y temperatura)	113

Resumen

Ilustración 108 Unión cobre con refuerzos y grasa - Relación Potencia y Corriente	114
Ilustración 109 (Unión cobre con refuerzos y grasa - Relación Energía Consumida y Temperatura	114
Ilustración 110 (Unión Con refuerzo, arandela y grasa - Termografía)	115
Ilustración 111 (Banco de pruebas - Curva de Descarga - Ah).....	116
Ilustración 112 (Banco de pruebas - Curva de Descarga - %).....	117
Ilustración 113 (Banco de Pruebas - Relación Temperaturas y Corriente).....	117
Ilustración 114 (Banco de pruebas - Relación Corriente y Tasa de Descarga) .	118
<i>Ilustración 115 (Banco de pruebas - Histéresis - Curva de Carga)</i>	<i>119</i>
Ilustración 116 (Banco de Pruebas - Curva de Carga - Ah).....	119
<i>Ilustración 117 (Banco de pruebas - Curva de Carga - %)</i>	<i>120</i>
Ilustración 118 (Banco de pruebas - Relación Temperaturas y Corriente).....	120
Ilustración 119 (Banco de pruebas - Relación Corriente y Tasa de Carga)	121
Ilustración 120 (Banco de pruebas - Carga electrónica - Curva de Descarga - Ah)	122
Ilustración 121 (Banco de pruebas - Carga electrónica - Curva de Descarga - %)	122
Ilustración 122 (Canco de Pruebas - Carga electrónica - Relación Temperaturas y Corriente).....	123
Ilustración 123 (Equipo profesional - Tasa de descarga)	123
Ilustración 124 (Equipo profesional - Curva de Descarga - Ah)	124
Ilustración 125 (Equipo profesional - Curva de Descarga - %)	124
Ilustración 126 (Equipo profesional - Relación Temperaturas y Corriente durante la Descarga)	125
Ilustración 127 (Equipo profesional - Tasa de descarga)	125
Ilustración 128 (Equipo profesional - Curva de Carga - Ah)	126
Ilustración 129 (Equipo profesional - Curva de Carga - %).....	126
Ilustración 130 (Equipo profesional - Relación Temperaturas y Corriente durante la Carga)	127



Ilustración 131 (Equipo profesional - Tasa de carga)127

INDICE de Tablas

Tabla 1 (Resumen de resultados de Uniones)115
Tabla 2 (Resumen de los ensayos de Descarga).....128
Tabla 3 (Resumen de los ensayos de Carga)128
Tabla 4 (Errores absolutos del sistema)129

1. RESUMEN

El presente trabajo final de grado (TFG) tiene como finalidad desarrollar el diseño y la fabricación de dos bancos de prueba; un banco de pruebas para validar contactos eléctricos y un banco de pruebas para caracterizar un acumulador. Se comienza por realizar un estudio completo de los sistemas existentes en el mercado y se plantean las soluciones adoptadas para resolver cada una de las cuestiones.

En primer lugar, se diseña un banco de pruebas con el objetivo de validar el comportamiento de un contacto eléctrico, y analizar e interpretar su comportamiento en un ensayo de 5 minutos. En este trabajo se ponen a prueba dos diseños, el primero consiste en una pieza de cobre rectangular atornillada sobre las pletinas del acumulador para aumentar la superficie conductora. En el segundo diseño se añaden a la pieza anterior unos refuerzos de cobre y acero, además de una grasa para contactos que mejora la conductividad eléctrica.

Analizando los resultados, se obtienen mejores datos en el segundo caso, puesto que la presión ejercida en todos los puntos de la unión es uniforme. La termografía refleja que la transmisión del calor en este segundo contacto es más homogénea y la temperatura al finalizar el ensayo tiende a estabilizarse.

En segundo lugar, se diseña un banco de ensayos para caracterizar celdas de Litio-Polímero. El objetivo de este banco es someter al acumulador a un ensayo de carga y descarga profunda, pudiendo analizar así su comportamiento e interpretar los resultados obtenidos.

Se realizan dos ensayos, el primero de ellos utilizando una carga resistiva, por lo que la corriente no es constante, sino que depende de la tensión. En el segundo, se utiliza una carga electrónica programable, pudiendo realizar el ensayo de descarga a corriente constante. En ambos casos, la fase de carga se realiza utilizando una fuente de alimentación modificada con el objetivo de poder limitar y variar la tensión vía software durante el ensayo.

Para ambos bancos de ensayo se diseña una interfaz de usuario mediante el software LabView, que permite el guardado de datos y la automatización del sistema. Estos resultados se comparan con los datos obtenidos mediante una instrumentación de precisión en el centro de investigación Tecnalia.

Finalmente obteniendo que el error absoluto máximo del sistema desarrollado en el presente trabajo, no supera el 0,5%, se concluye que, utilizando equipos de menor coste económico, se pueden conseguir resultados eficientes y válidos. Y que el uso de estas herramientas es de vital importancia para el desarrollo de vehículos eléctricos.

1.1. PALABRAS CLAVE

Estado de carga (SOC), comportamiento del contacto, caracterización de baterías, temperatura en la celda, energía disipada en el contacto.



2. ABSTRACT

The purpose of this final degree project is to develop the design and manufacture of two test benches; a test bench to validate electrical contacts and a test bench to tipify an accumulator. The first step is to carry out a complete study of the existing systems on the market and the solutions adopted to solve each of the questions are proposed.

Firstly, a test bench is designed with the aim of validating the behaviour of an electrical contact, and analysing and interpreting its behaviour in a 5-minute test. In this work two designs are tested, the first one consists of a rectangular copper piece screwed on the plates of the accumulator to increase the conductive surface. In the second design, copper and steel reinforcements are added to the previous part, in addition to a contact grease that improves electrical conductivity.

Translated with www.DeepL.com/TranslatorAnalysing the results, the second design offers better results, since the pressure exerted in all the points of the union is uniform. The thermography shows that the heat transmission in this second contact is more homogeneous and the temperature at the end of the test tends to stabilize.

Secondly, a test bench is designed to characterize Lithium-Polymer cells. The objective of this bench is to subject the accumulator to a deep charge and discharge tests, thus being able to analyse its behaviour and interpret the results obtained.

Two tests are carried out, the first using a resistive charge to discharge the battery, so that the current is not constant, but depends on the voltage. In the second one, instead of using the resistors, a programmable electronic charge is used, being able to carry out the discharge test at constant current. In both cases, the charging phase is carried out using a modified power supply in order to limit and vary the voltage via software during the test.

For both test benches, a user interface is designed using LabView software, which allows data saving and system automation. These results are compared with the data obtained using precision instrumentation at the Tecnalia research centre.

Finally, obtaining that the maximum absolute error of the system developed in the present work does not exceed 0.5%, it is concluded that, using equipment of lower economic cost, efficient and valid results can be obtained. And that the use of these tools is of vital importance for the development of electric vehicles.

2.1. KEYWORDS

State of charge(SOC), contact behaviour, battery characterization, cell temperature, energy dissipated on contact.



3. INTRODUCCIÓN

Uno de los puntos clave en la movilidad sostenible es la capacidad de crear vehículos que tengan un impacto reducido en las emisiones de carbono. Con la necesidad de sistemas de transporte alternativos, siendo clave la movilidad sostenible, las marcas de automóviles comienzan a investigar cómo se podría fabricar un vehículo más ecológico estando en auge el uso de baterías eléctricas.

3.1. MOTIVACIÓN

El nacimiento de las baterías de iones de litio y de polímero de litio ha hecho que este tipo de vehículos sean una realidad, ya que gracias a que el sector del almacenamiento de energía ha madurado, estas baterías son más pequeñas, más livianas y tienen una energía mucho más alta contenida en menor volumen. Pero su mayor inconveniente es que son volátiles e inestables.

Por eso es de vital importancia contar con instrumentos o herramientas que permitan validar tanto el funcionamiento del acumulador como el método de unión que se utiliza para crear baterías a partir de celdas.

3.2. OBJETIVOS

Debido a los puntos mencionados anteriormente, este trabajo se centra en el desarrollo, fabricación e implementación de dos bancos de pruebas, con el objetivo de utilizarlos en el diseño de un vehículo eléctrico de competición.

En primer lugar, un banco donde se pueda diseñar de forma eficiente un contacto mecánico haciendo circular altas intensidades en régimen permanente por el mismo. Para ello se considera realizar un banco sensorizado, con el objetivo de analizar las pérdidas de energía y el aumento de temperaturas, así como la relación entre ambas magnitudes en los diferentes diseños.

En segundo lugar, es conveniente validar la funcionalidad del acumulador que se pretende usar en el diseño de la batería. Para ello se considera fabricar y diseñar un banco de pruebas capaz de calcular el estado de carga (SOC), para ello se monitorizan las temperaturas en diferentes puntos del acumulador, y se mide la tensión y corriente que circula por la celda.



4. ESTADO DEL ARTE

Para poder realizar el diseño de los dos bancos de pruebas, y asegurar que cumplan las características y especificaciones citadas en los objetivos, es necesario realizar un estudio de los proyectos y diseños ya existentes en el mercado. De esta forma se aprende de las tecnologías y metodologías usadas en su desarrollo.

A continuación, se divide este estudio en dos apartados, en primer lugar, los antecedentes en los cuales se exponen los diseños de los proyectos o prototipos reales que se consideran de gran ayuda para el desarrollo de este trabajo.

En segundo lugar, el marco teórico en el cual se exponen todos los conceptos teóricos que se utilicen a lo largo del desarrollo de la investigación.

4.1. ANTECEDENTES

La considerable importancia que está adquiriendo la investigación, desarrollo y comercialización de los vehículos eléctricos y los impactos significativos en el medio ambiente que llegan a tener, hacen que las universidades y centros de investigación se planteen proyectos de carácter totalmente docentes e investigativos. Los alumnos pueden desarrollar un vehículo eléctrico y adquirir más conocimientos, completando así su formación académica.

Por todo ello se procede a realizar la primera parte de la investigación donde se analicen los diseños, herramientas y prototipos que encontremos en el mercado.

4.1.1. Banco de pruebas para validar contactos eléctricos

En la creación de la batería de esta moto también surgió la necesidad de validar los contactos eléctricos que se utilizarían en el prototipo final con el objetivo de minimizar impedancias eléctricas. Asegurando que el contacto soporte los picos de corriente a las que se sometería en carrera, sin que se dañase la batería. A continuación, se detallan los elementos comerciales más representativos para validar contactos.

4.1.1.1. Megger Ms-2A

El modelo MS-2A es un set que incorpora una salida de corriente variable y un apropiado circuito de control, con su correspondiente instrumentación electrónica para probar relés de sobrecarga de motores térmicos, magnéticos o de estado sólido, interruptores de caja moldeada, aparatos de disparo de fallo a tierra y relés de sobre corriente.[1]



Ilustración 1 (Set Megger Ms-2A)

El modelo MS-2A es capaz de probar el tiempo de retardo, características de los relés de sobre corriente, relés de sobrecarga, del motor y de disyuntores clasificados hasta 125 A. Al seguir el procedimiento de prueba recomendado, el tiempo de retardo de este dispositivo aumenta tres veces su rango.

Este modelo cuenta con un amperímetro de memoria digital. Es un instrumento de lectura directa de alta precisión que tiene memoria de lectura y retención para la medición de corrientes de corta duración, lo que es ideal para probar relés de sobre corriente y disyuntores.

Además, dispone de un temporizador digital multirango. Un instrumento de alta precisión controlado por cristal con medidas de rango automático y un tiempo de funcionamiento con resolución de un milisegundo.

La salida es completamente ajustable en cuatro rangos para acomodarse a una variedad de impedancias de circuito de prueba. [2]

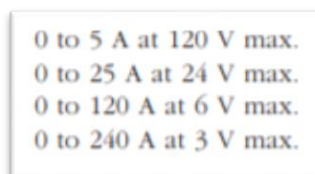


Ilustración 2 (Cuatro rangos ajustables)

Estado del arte

El modelo MS-2A tiene una potencia nominal de salida de 0.6 KVA y está equipado con cuatro terminales de salida, cada uno capaz de suministrar su corriente nominal. La corriente nominal de estos terminales de salida puede ser superado por duraciones cortas siempre que la tensión nominal sea suficientemente grande como para suministrar el valor deseado de corriente.

En la siguiente ilustración se puede observar la capacidad de sobrecarga representados por múltiplos de la corriente nominal, frente a TIME ON y TIME OFF.

<u>%Rated Current</u>	<u>Maximum Time ON</u>	<u>Minimum Time OFF</u>
100 (1X)	30 minutes	30 minutes
150 (1.5X)	6 minutes	13 minutes
200 (2X)	3 minutes	8 minutes
250 (2.5X)	1 minute	6 minutes
300 (3X)	30 seconds	4 minutes
400 (4X)	7 seconds	2 minutes

Ilustración 3 (Tiempos de Time_ON y Tieme_OFF)

Por lo que se puede interpretar en la Ilustración 3, se pueden alcanzar valores bastante altos de intensidad; sin embargo, cuanto mayor sea esa corriente, menor será el tiempo en que se pueda tener la maquina encendida para realizar el ensayo y mayor será el tiempo que se tenga que esperar antes de usarla de nuevo.

La unidad se encuentra dentro de una envolvente de grado industrial. No hay almacenamiento especial, por lo que no hace falta ningún requisito en el área de ventilación, ni conservación.

La unidad está diseñada para ser operativa a temperaturas entre 0 °C-50 °C y una humedad relativa de entre 0%-90% sin condensación. Sin embargo, se puede almacenar a temperaturas entre -25C y 70C.[3]

En las siguientes referencias se encuentran la hoja de datos del equipo Megger MS-2A [2] y su correspondiente manual de usuario[3].

4.1.1.2. Omicron CMC 356

Esta unidad ha sido diseñada para poder probar una gran variedad de relés de protección. Tiene seis fuentes de corriente (64 A/860VA por cada canal) lo que permite al sistema probar los relés electromecánicos de alta carga con una demanda de potencia elevada.

Los ingenieros de puesta en servicio suelen utilizar esta herramienta para realizar comprobaciones de cableado y plausibilidad de los transformadores de corriente, para ello utilizan la unidad CMC 365 para inyectar altas corrientes.[4]



Ilustración 4 (Unidad de prueba CMC 356)

Las señales analógicas se transforman y se digitalizan mediante la tecnología DSP (Digital Signal Processor) que consiste en un chip que actúa sobre la información digitalizada de una señal analógica para mejorarla o aplicar alguna operación sobre ella. Esto, junto al uso de algoritmos adicionales de corrección de errores, produce señales precisas de prueba incluso a amplitudes pequeñas.[5]

Los seis canales de los que dispone la unidad se ajustan de forma independiente en cuanto a amplitud, fase y frecuencia. Todos los canales están protegidos a prueba de sobrecarga y cortocircuito, además de estar protegidas contra las señales externas transitorias de alta tensión y contra sobre temperatura.

La interfaz de red integrado admite pruebas completas en entornos IEC 61850 (Comunicaciones para los sistemas de control y protección de subestaciones eléctricas, Smart Grid, vehículo eléctrico y energías renovables) usando la simulación opcional GOOSE (Modulo que configura las asignaciones y ajusta el equipo para la comunicación de los mensajes) y la funcionalidad de simulación de Sampled Values.[6]

Estado del arte

Los equipos CMC 356 contienen doce canales independientes con señales de bajo nivel que se pueden utilizar para probar relés con una función de entrada de bajo nivel o para controlar amplificadores externos. Esta herramienta también se puede utilizar como multímetro y como analizador de transitorios.

Además de poder operar usando el software Test Universe desde un PC, este equipo también se puede controlar mediante la unidad CM Control, o bien mediante la CM Control App, ejecutada en un ordenador con el sistema operativo Windows o desde una Tablet con Android.[4]

El equipo cuenta con dos salidas trifásicas separadas galvánicamente, cada una con su propio neutro (N). Los amplificadores de corriente se implementan como amplificadores de modo conmutado con acoplamiento DC.

Con esta tecnología es posible lograr alta potencia y densidad en una estructura muy compacta. El acoplamiento DC permite una precisa reproducción de transitorios o compensaciones de corriente continua. [7]

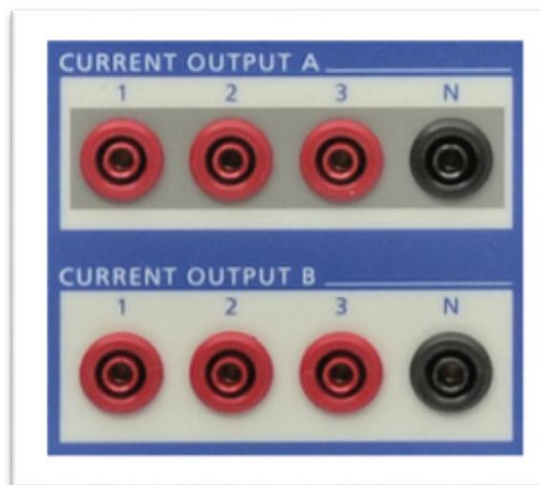


Ilustración 5 (Salidas de corriente)

La unidad CMC 356 tiene varios módulos de prueba entre los que se encuentra el llamado "Overcurrent", diseñado para los relés de sobre corriente. Evalúa la característica de operación para verificar el tiempo de disparo con evaluación automática. Incluye la prueba automática de arranque / reposición y la creación automática del informe. Simula las fallas de fase a tierra, fase a fase, trifásicas, de secuencia negativa y monofásica.[8]

En las siguientes referencias se encuentran la hoja de datos del equipo Omicron CMC-356[9] y su correspondiente manual de usuario[7].

4.1.1.3. Fuentes de corriente continua

Las fuentes de alimentación programables de corriente continua de precisión son utilizadas comúnmente en sistemas de test automáticos y aplicaciones de banco para convertidores CC (Corriente Continua)-CC (Corriente Continua), telecomunicaciones, simulación y carga de baterías, automoción, simulación de paneles foto voltaicos, tests burn-in, y aplicaciones de electrolisis/recubrimientos. Las fuentes CC abarcan un amplio rango de potencias, desde 600 W hasta 15 kW, pudiendo llegar a 150 kW en sistemas maestro/esclavo configurados en paralelo. Ofrecen curvas de potencia constante, corrientes hasta 160 A y alta precisión de lectura "readback".[10]

Se exponen dos fuentes de corriente continua: Sh15-Q2 y PBA1500T-5

4.1.1.3.1. SH15-Q2

Estas fuentes de alimentación modulares de alta potencia, desde 1500 hasta 2000 W, tienen hasta 12 salidas independientes. El diseño modular hace que estas unidades tengan una considerable facilidad para personalizar combinaciones de voltaje y potencia. Todas las unidades tienen entradas de factor de potencia corregidas, un ventilador montado para la refrigeración y una variedad de señales incorporadas.[11]



Ilustración 6 (Fuente de corriente continua SH15-Q2)

Los módulos inteligentes permiten el uso de I2 comunicación C o CANBUS / RS485 para monitorizar y controlar los atributos y características de la fuente de alimentación.[12]

En la siguiente imagen se pueden observar las diferentes fuentes de alimentación de la serie SH15-QX, con las distintas salidas de tensión y corriente, pero todas ellas con una potencia de 1500W.

Estado del arte

Catalog Number	Output 1	Output 2	Output 3	Output 4	Maximum Output
SH15-Q2	3.3 V, 300 A	-	-		1500 W
SH15-Q3	5 V, 300 A	-	-		1500 W
SH15-Q4	12 V, 125 A	-	-		1500 W
SH15-Q5	15 V, 100 A	-	-		1500 W
SH15-Q6	24 V, 62.4 A	-	-		1500 W
SH15-Q7	28 V, 53.4 A	-	-		1500 W
SH15-Q8	36 V, 41.6 A	-	-		1500 W
SH15-Q9	48 V, 31.2 A	-	-		1500 W
SH20-P3T53J4	5 V, 150 A	24 V, 10.5 A	12 V, 25 A	12 V, 20 A	1500 W
SH20-P3T54J5	5 V, 150 A	24 V, 10.5 A	15 V, 20 A	15 V, 20 A	1500 W

Ilustración 7 (SH15-QX Tabla de Tensión y Corriente de salida)

4.1.1.3.2. PBA1500T-5

Las fuentes de alimentación de la serie PBA de Cosel están diseñadas para ofrecer fiabilidad y mantener una tensión de salida estable en condiciones muy exigentes. Incorporan de serie 3 salidas dobles y 12 simples. Están disponibles en una gran variedad de potencias nominales, de 10 a 1.500W, y cada una de ellas ofrece una selección de tensiones. En esta gama concreta tenemos las siguientes variaciones.[26]

MODEL	PBA1500T-5	PBA1500T-12	PBA1500T-24	PBA1500T-48
MAX OUTPUT WATTAGE[W]	1500	1500	1680	1680
DC OUTPUT	5V 300A	12V 125A	24V 70(105)A	48V 35A

Ilustración 8 (PBA1500T-XX Tabla de Tensión y Corriente de salida)

En las siguientes referencias se encuentran las hojas de datos de las fuentes de alimentación SH15-Q2[12] y PBA1500T-5[28].

4.1.2. Banco de pruebas para caracterizar celdas LiPo

El hecho de que la EUPLA disponga la capacidad de contar con un equipo de alumnos trabajando en la fabricación de una moto 100% eléctrica ha hecho que tomar la decisión de estudiar, y a ser posible, fabricar un banco de pruebas donde se pueda caracterizar una celda de batería sea totalmente viable.

De acuerdo a lo comentado anteriormente, queda patente la necesidad de tener o construir un sistema experimental que sea capaz de someter a distintos perfiles de carga y descarga a la batería bajo análisis; y paralelamente, realice la adquisición de datos. Las exigencias del equipo requieren de un banco de pruebas capaz de cargar y descargar al menos a 10A.

4.1.2.1. Instrumentos de medida de magnitudes eléctricas

Los valores eléctricos no son magnitudes que se puedan medir por observación directa. Se utiliza alguna de las propiedades de la electricidad para poder producir una fuerza física susceptible sobre el elemento pudiendo así ser detectada y medida. La acción electromagnética entre corrientes, la fuerza entre cargas eléctricas y el calentamiento causado por una resistencia conductora son algunos de los métodos utilizados para obtener mediciones eléctricas.

Medición de corriente y voltaje con software:

Una de las herramientas más utilizadas en los laboratorios para tomar las medidas de corrientes y tensiones es de la marca Fluke. En concreto el modelo BT510 es capaz de registrar la tensión varias veces durante las pruebas de carga y descarga, en un intervalo de tiempo que fija el usuario. Los usuarios pueden calcular el tiempo que tarda una batería en alcanzar la tensión de corte, y utilizar dicha información para determinar la capacidad extraída o suministrada de la batería.

Este dispositivo mide la corriente alterna residual no deseada de la tensión rectificadas en la carga de corriente continua y circuitos inversores. Permite a los usuarios comprobar componentes de CA en circuitos de carga de CC y encontrar las causas principales de deterioro de la batería.

Tiene dos modos: el primero, el de medida, se utiliza para las pruebas rápidas o la resolución de problemas. En este modo se puede guardar y consultar las lecturas en una medida o en una secuencia de tiempo. El segundo, el modo secuencial, se utiliza para realizar tareas de mantenimiento con varios sistemas de alimentación y cadenas de baterías. Antes de comenzar la tarea, los usuarios pueden configurar un perfil para la gestión de los datos y generación de informes.[15]



Ilustración 9 (Fluke BT510)

En esta herramienta también se pueden configurar un máximo de 10 conjuntos de umbrales y recibir una indicación de tipo Pasa/Alarma/Fallo después de cada medida.

Estado del arte

Además, posee un software de gestión de baterías que permite importar la información del producto al PC de manera sencilla. Los datos de las medidas y la información sobre el perfil de la batería, se almacenan y archivan con el software de gestión, pudiendo utilizarse para realizar comparaciones o analizar tendencias. Los datos de las medidas, el perfil de la batería y la información de los análisis, pueden utilizarse para generar informes de manera sencilla mediante una configuración rápida y guiada.[16]

4.1.2.2. TBOH02

El TBOH02 es una carga activa autoalimentada de precisión. No necesita una tensión de alimentación separada y funciona a 2V. En su panel de control contiene un potenciómetro con dial de 10 vueltas, un interruptor de rango y una referencia de precisión que permite un ajuste fino de la corriente o la resistencia. Esta herramienta también puede ser controlada por una tensión de referencia externa.

El diseño de esta herramienta es totalmente analógico. Por lo que, a diferencia de los diseños digitales de las fuentes electrónicas, la carga no se superpone con ruido adicional. El TBOH02 no solo se puede usar como carga activa para las mediciones de la fuente de alimentación, sino también como sumidero de corriente o fuente de corriente para pruebas de LED de potencia y aplicaciones similares.

Esta fuente funciona de 2V a 70V. La corriente máxima es de hasta 10A, sin embargo, se debe tener en cuenta, que la potencia máxima sin refrigeración adicional, esté limitada a 25W. En caso de añadir un ventilador que se puede sujetar al disipador, aumenta la potencia nominal máxima a unos 100W. [17]



Ilustración 10 (TBSOH02)

4.1.2.3. SBS

Debido que las baterías son el corazón de muchos sistemas mecatrónicos, aplicaciones de potencia y elementos industriales, es de vital necesidad monitorizar y probar regularmente su estado. De cara a las empresas que se dedican a fabricar las baterías también es importante poder realizar ensayos para que la fiabilidad y confiabilidad en su producto sea máxima.

SBS ha sido una de las empresas más importantes dedicadas al desarrollo de dispositivos cuyo objetivo se centra en analizar, registrar y monitorear los parámetros eléctricos de funcionamiento de una batería. Esta empresa fue el primer fabricante de baterías en desarrollar y comercializar un hidrómetro digital para probar y registrar la temperatura y voltaje de las celdas.[18]

4.1.2.3.1. SBS-6500 Medidor de resistencia interna

El equipo SBS-6500 es un medidor de la resistencia interna de las baterías. Las lecturas se pueden realizar en unos pocos segundos usando las clavijas que vienen incluidas. Todos los datos obtenidos en las mediciones se registran en una memoria interna. Con un ordenador y el software que viene incluido se pueden generar informes gráficos, con las lecturas almacenadas de voltajes, impedancias y temperaturas.[19]



Ilustración 11 (Multímetro de resistencia interna y registrador de datos)

Prueba y repite instantáneamente las lecturas con el objetivo de ver las tendencias, y poder realizar la comparación de datos. El kit contiene una sonda de pin o sonda de pinza compatible. El software es muy fácil de utilizar y tiene un menú en el que es cómodo navegar, además, se pueden ajustar los parámetros a través de la unidad o el propio software.

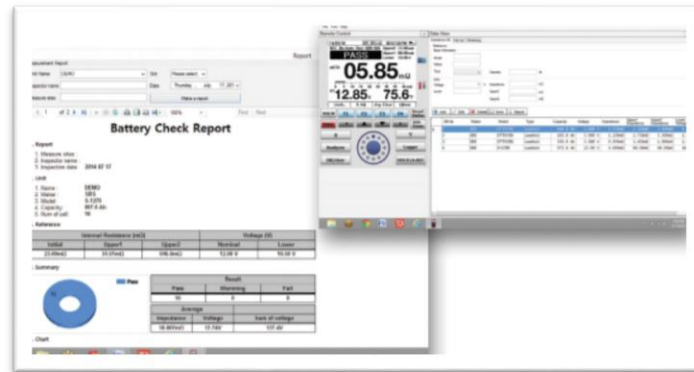


Ilustración 12 (Software que se incluye en el Kit)

Este equipo organiza los datos por nombre y parámetros para cada batería y cumple con las recomendaciones de mantenimiento IEEE y NERC para sistemas de baterías estacionarias.

Cuando se crea un informe con el software, todos los datos correlativos de tensión, temperatura, impedancia y gravedad específica se agrupan en un solo informe.[20]

En las siguientes referencias se encuentra la hoja de datos del equipo SBS-6500 [20] y su correspondiente manual de usuario[21].

4.1.2.3.2. SBS-8400 Carga electrónica programable

La forma de asegurarse de que las baterías funcionarán de acuerdo con las especificaciones del fabricante, se comprueban con un banco de descarga de baterías portátil o un banco de carga de CC. Según la norma NERC PRC-005-2 los sistemas de plomo-ácido ventilados y níquel-cadmio las baterías tienen que ser sometidas a pruebas de descarga cada seis años. Además, las baterías de ácido de plomo reguladas por válvula (VRLA) deberán ser probadas cada tres años.

Sin embargo, IEEE recomienda realizar pruebas de carga y descarga en baterías estacionarias de plomo-ácido inundadas / ventiladas y Ni-Cad cada 5 años y baterías VRLA cada 12-18 meses.

Los bancos de carga de corriente constante SBS son una forma fácil y asequible de realizar pruebas de carga precisas IEEE450 (plomo-ácido ventilado), IEEE1106 (Ni-Cad) e IEEE1188 (VRLA). Estas unidades son rápidas y fáciles de configurar. Muestran el voltaje, la corriente y los Ah que se extraen o suministran durante el ensayo, es decir la capacidad. Dado que se trata de un banco de carga de corriente constante, el usuario no tiene que ajustar constantemente la corriente durante la prueba, a diferencia de muchos otros bancos de carga de batería.



Ilustración 13 (Banco para probar baterías SBS-8400)

Todos los bancos de carga DC del equipo de prueba de baterías SBS vienen de serie con múltiples configuraciones de parada automática y protección incorporada. De esta forma se garantiza que las baterías nunca se dañan a causa de una descarga excesiva. [22]

El banco de carga SBS-8400 tiene la característica adicional de un sistema integrado de monitoreo / adquisición de datos con módulos y software inalámbricos. Los módulos inalámbricos son fáciles de conectar y se elimina la necesidad de muchos cables de señal. Cada módulo puede registrar el voltaje en tiempo real de hasta cuatro celdas.

Este dispositivo es fácil de utilizar y tiene un menú en el que es muy sencillo navegar, los datos obtenidos se pueden descargar a través de comunicaciones a tiempo real, incluso se pueden meter en un dispositivo de memoria USB para después poder generar informes en Excel. La interfaz con la que trabaja esta herramienta incluye una curva de voltajes de la batería, gráfico de barras, curva de tensión de grupo, curva de corriente, capacidades, etc...

El SBS-8400 tiene un rango de corriente de 0 a 120 amperios, de todas formas, existe la posibilidad de poner de forma adicional, en paralelo, los bancos de carga que sean compatibles, de manera que aumentaría la corriente. El usuario puede hacer una descarga de hasta 720 A y el banco de pruebas monitoreará la corriente total descargada[23].



Ilustración 14 (Módulos inalámbricos para monitorizar celdas individuales)

Durante la realización de las pruebas, los módulos inalámbricos SBS miden el voltaje de cada celda y envían de forma inalámbrica los datos obtenidos. Con estos datos es posible generar un informe automatizado mediante el software. También se muestran en la pantalla LCD del banco de carga. Estos módulos inalámbricos, facilitan mucho la localización de las celdas defectuosas o problemáticas dentro de la batería. Mediante uno de estos módulos compatibles con el equipo, se pueden llegar a medir hasta 4 celdas, con un amplio rango de 1.2/2 V a 2/6/12 V. La herramienta SBS-8400 permite conectar como máximo 30 módulos inalámbricos, es decir, se podrían medir individualmente un total de 120 celdas[24].

En las siguientes referencias se encuentra la hoja de datos del equipo SBS-8400[23] y su correspondiente manual de usuario[25].

4.1.2.4. Arbin instruments

Esta es una empresa que se define por la importancia que le dedican a la innovación en sus equipos, siendo la primera compañía en aplicar múltiples canales de ensayos en corriente y ofrecer pruebas de alta precisión para aplicaciones de alta corriente.

Los equipos de test que ofrece Arbin, son compatibles con celdas de todo tipo tanto cilíndricas como prismáticas y pueden simular sobre ellas comportamientos que se acercan mucho al mundo real. Con este equipo se pueden ensayar acumuladores con cualquier tipo de química incluyendo las de litio, silicio, azufre, plomo-acido, níquel... [26]

Arbin ofrece bancos de prueba para carga y descarga de rangos desde μA para una sola celda hasta 1MW para baterías de más de una celda. Esta empresa ofrece tres tipos de equipos para analizar celdas independientes, módulos de celdas o packs completos. Se puede encontrar información más detallada sobre los siguientes equipos en las siguientes referencias, módulos de celdas[27] y baterías completas[28]. En este caso se analizará el equipo que es capaz de testear la celda de forma individual puesto que es el objetivo más parecido a este trabajo.

Esta empresa ofrece sistemas de prueba de celdas de batería para ciclos básicos de carga / descarga. Además, con estos equipos es posible simular aplicaciones complejas del mundo real, como por ejemplo perfiles de unidades, pulsos de telecomunicaciones u otros perfiles más personalizados por el cliente.



Ilustración 15 (Equipo de test Arbin Carga / Descarga)

La serie de Pruebas de Batería de Laboratorio siglas en inglés (LBT) de Arbin desarrolla sistemas de prueba de ultra alta precisión. Este producto consta de canales independientes para probar baterías y otros dispositivos de almacenamiento de energía, y está diseñado para proporcionar una solución económica para aplicaciones que requieren mediciones de alta precisión y muestreo rápido de datos.

Estado del arte

Las aplicaciones generales que se pueden llevar a cabo con este equipo son las siguientes:

- Pruebas de electroquímica, baterías y supercapacitores
- Mediciones HPCE (se recomienda la serie HPT)
- Investigación y Desarrollo Electroquímico
- Pruebas de media celda e investigación de materiales
- Pruebas de ciclo de vida
- EIS (espectroscopia de impedancia electroquímica)

El equipo para analizar celdas independientes tiene canales de prueba de alta precisión totalmente independientes con control galvano-estático completo, también permite la integración con un módulo EIS aprobado para mediciones de 10uHz a 1MHz sin cambiar la conexión. Cada canal proporciona 4 o más rangos con una resolución de 24 bits. Los controladores integrados proporcionan un registro rápido de datos (2000 puntos por segundo, por sistema) y controlan la flexibilidad para los requisitos de prueba más avanzados.

Se puede operar con cualquier número de canales conectados en paralelo con el objetivo de aumentar la capacidad de corriente. Arbin Instruments ofrece una amplia variedad de módulos auxiliares para ampliar la capacidad de los circuitos de control de carga / descarga principal. Los módulos se pueden colocar en el chasis principal o en un chasis externo pequeño. Esto también facilita la adición de opciones auxiliares a los sistemas existentes. Los sistemas están refrigerados por aire, por lo que no se necesita infraestructura adicional de instalaciones ni mantenimiento regular.



Ilustración 16 (Equipo de test de 96 canales)

La seguridad es otro aspecto importante en el que se enfoca esta empresa a la hora de diseñar sus equipos, se proporciona protección multinivel mediante fusibles dentro del sistema para protegerlo como los niveles de canal/placa y fuente de alimentación.

Cada módulo de canal tiene un microcontrolador dedicado a la supervisión de la seguridad del equipo. El software de Arbin también tiene funciones de seguridad para pruebas completas y para pasos intermedios dentro de una prueba, de manera que ayuda al usuario a evitar la sobrecarga, exceso de descarga, sobrecalentamiento, etc. Todas las pruebas que se realicen con esta herramienta comienzan con una verificación de seguridad incorporada de todos los valores de control.

Este equipo dispone de canales que puedan calibrarse automáticamente cuando se conectan a un multímetro digital apropiado o usar una resistencia shunt de alta precisión para calibrar el sistema Arbin. Además, contiene un protocolo de comunicación CANBus.

Todos los sistemas de prueba de Arbin vienen con una PC precargada con los softwares "MITS Pro" y "Data Watcher" para crear perfiles de prueba, monitorización de datos en tiempo real, análisis y trazado de datos.

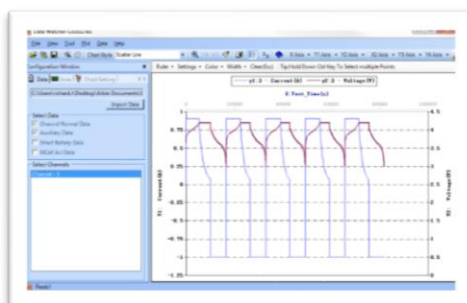


Ilustración 17 (Software-Data Watcher)

El software avanzado de Arbin, MITS 7.0, ofrece una programación flexible, una interfaz fácil de usar, control de sistema distribuido y adquisición de datos. El software proporciona análisis de datos y gráficos sencillos basados en Data Watcher y Microsoft Excel. Una amplia gama de entradas / salidas auxiliares están disponibles para la recolección o el control de datos adicionales, como el monitoreo de la temperatura, electrodos de referencia adicionales y más. [29]

Se pueden encontrar datos técnicos más detallados en la siguiente referencia [30]

4.1.2.5. *Cadex-C8000*

El Cadex C8000 es más que una fuente de alimentación programable y un banco de carga, el equipo dispone de protecciones para ayudar en la prueba segura de la batería. Los algoritmos de carga y descarga protegidos con características de seguridad redundantes identifican una batería defectuosa y terminan de manera segura el ensayo en caso de que ocurra una anomalía. Estas protecciones pueden ser anuladas para pruebas destructivas.

El uso de instrumentación digital permite ampliar el rango de los, proporciona la máxima estabilidad y adquiere más potencia en una envoltura compacta de lo que es posible conseguir con dispositivos analógicos. Cada canal se puede programar con una corriente de carga y descarga de hasta 10A cada uno. El suministro de potencia es de 100W por canal en carga y 80W en descarga, o 400W en carga y 320W en descarga en los cuatro canales.



Ilustración 18 (Cadex-C8000)

Cada canal cuenta con un puerto donde conectar la batería y un puerto de E/S para la poder programarlo individualmente. El sistema incluye:

- Entrada positiva / negativa; Kelvin de 4 hilos
- Entrada para termistor analógico
- 4 entradas de tensión analógicas diferenciales
- 2 salidas analógicas
- Control de 4 entradas / salidas para la conmutación.

El Cadex C8000 permite probar baterías bajo protocolos de descarga GSM, CDMA u otros. La programación se realiza en intervalos de 50 μ s y el ajuste mínimo es de 500 μ s. Se puede establecer la duración del tiempo y los niveles de carga. El ciclo se repite hasta que la capacidad cae a su mínimo.

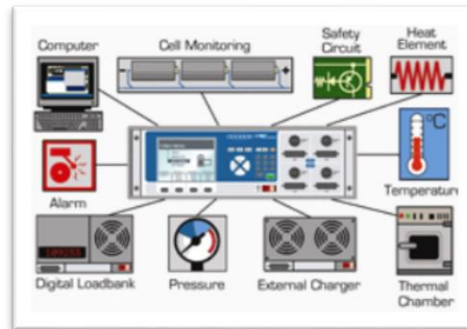


Ilustración 19 (Representación por bloques del sistema que puede controlar el C8000)

También se puede utilizar el C8000 como centro de comando para controlar los siguientes accesorios:

- Cámara térmica
- Banco de carga digital
- Elemento de calefacción
- Manómetro
- Monitorización celular
- Circuito de seguridad
- Alarmas

El software PC-BatteryLab™ es capaz de operar con hasta ocho equipos C8000 es decir tener controladas 32 celdas en total. Permite programar ensayos personalizados y realizar capturas de carga. Además de poder realizar lecturas y gráficos en tiempo real y gestionar e imprimir los resultados obtenidos.



Ilustración 20 (Software PC - BatteryLab)

En la siguiente referencia se puede encontrar información más detallada sobre este producto.[31]

4.2. MARCO TEÓRICO

Llegados a este punto, surge la necesidad de conocer y profundizar en todos aquellos aspectos teóricos que se necesitan para la correcta interpretación de este trabajo. En esta segunda parte de la investigación, se engloba un marco teórico dividido principalmente en dos grupos grandes: la caracterización de una pila y los contactos eléctricos de una batería.

4.2.1. Métodos de Unión

En esta segunda parte del marco teórico, se ofrece una visión general de los fundamentos teóricos y explican diferentes tecnologías que están directamente relacionadas con los métodos de unión de un acumulador.

4.2.1.1. Configuraciones para unir baterías

Se considera batería eléctrica al dispositivo formado por varias celdas electroquímicas. Estas se pueden unir en serie, en cuyo caso cada celda suma su potencial de tensión, o en paralelo, en cuyo caso se consigue una mayor capacidad gracias a la suma de todas las capacidades. La mayoría de conjuntos consisten en ambas combinaciones, se serializan para lograr el voltaje nominal al que se alimenta el sistema, y se paralelizan con el objetivo de ser capaces de suplir el consumo mínimo que requiere el sistema.[32]

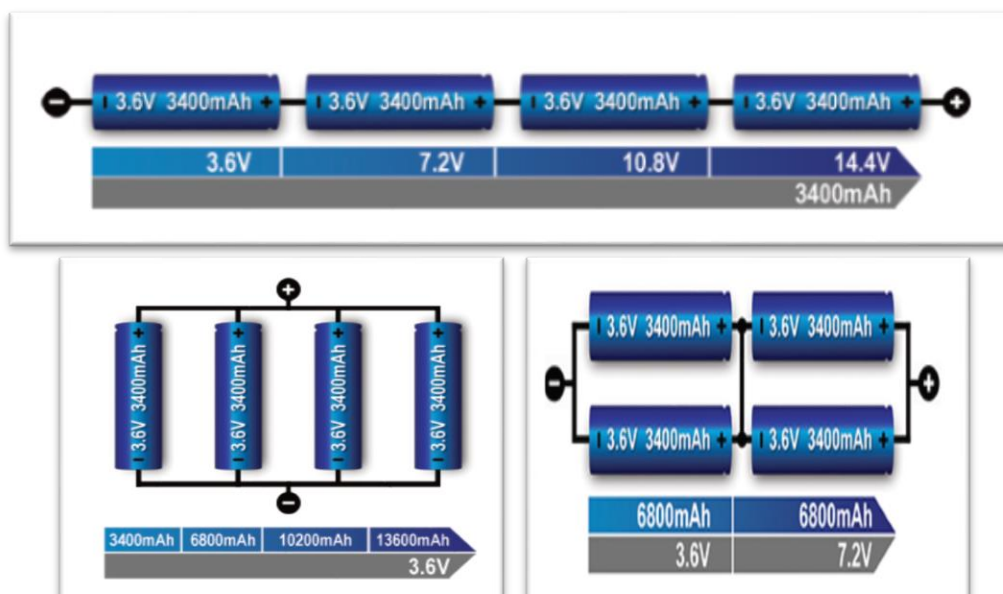


Ilustración 21 (Tipos de conexiones en un Acumulador)

Para poder realizar este contacto entre celdas se plantean dos métodos de unión, las uniones soldadas y las mecánicas.

4.2.1.2. Uniones Soldadas

La soldadura consiste en el procedimiento por el cual dos piezas se unen por aplicación de calor, presión o una combinación de ambas. En algunos casos es necesario aportar material cuya temperatura de fusión debe ser menor que la del propio material de las piezas a unir. El material de aporte más recomendado y utilizado es el estaño. La elección del tipo de soldadura depende de las propiedades físicas de los metales y por supuesto la utilización a la que este destinada.

4.2.1.2.1. Soldadura por láser (LBW)

Hoy en día, la tecnología láser ha madurado y se ha vuelto un proceso sencillo y estable. El láser provee una fuente de luz de intensidad luminosa que debe ser enfocada en diámetros muy pequeños. Esta concentración de energía es suficientemente grande como para fundir los metales, formando un punto instantáneo de soldadura. El proceso se lleva a cabo sin necesidad de tener contacto, por lo que no hay desgaste de la herramienta, y no hace falta aportar material.

Al tratarse de un proceso extremadamente eficiente, el aporte de calor en el acumulador es mínimo. Es un proceso relativamente sencillo de automatizar, por el simple hecho de que los rayos se pueden conformar manipular y enfocar ópticamente usando fibras de forma sencilla. Sin embargo, se requiere de una tecnología de coste muy elevado puesto que tiene una gran precisión.[33]

4.2.1.2.2. Soldadura ultrasónica de metales (UMW)

Mediante vibraciones de 20-40 KHz se consigue unir dos superficies gracias al rozamiento y presión que se ejerce entre ellos. Se provoca una acción depuradora que elimina el óxido y suciedad de la superficie, dejando ambas superficies lisas y suaves. Una vez las dos áreas depuradas están en contacto, por la fuerza de rozamiento que existe entre ambas, se genera calor en la superficie de contacto, se funden y unen entre sí.

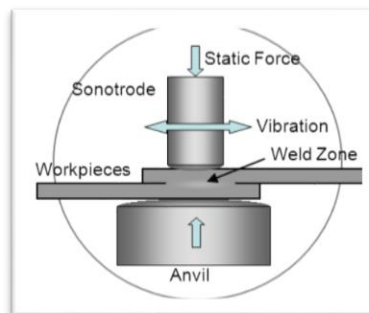


Ilustración 22 (Esquema de la soldadura por ultrasonidos)

Estado del arte

No requiere de mucha energía y los ciclos de soldadura suelen ser cortos, del orden de fracciones de segundo.

La soldadura por puntos, se basa en la resistencia que ofrece un material con el objetivo de generar calor y unir los dos elementos entre sí. En caso de que las láminas que se desean unir tengan una resistencia extremadamente baja, la soldadura por puntos será complicada, en cambio, la soldadura ultrasónica no dará ningún problema.[34]

4.2.1.2.3. Soldadura por puntos de resistencia

Adquiere este nombre porque emplea la resistencia propia del material de la pieza que se pretende unir, al paso de una corriente eléctrica para generar el calor necesario. En la unión entre las piezas, no intervienen materiales ajenos a ellas. Se hace circular una corriente eléctrica que produce un calentamiento localizado en las chapas metálicas, hasta llegar a la temperatura de fusión y se aplica a su vez un esfuerzo entre ellas para que se produzca la soldadura de forma correcta.

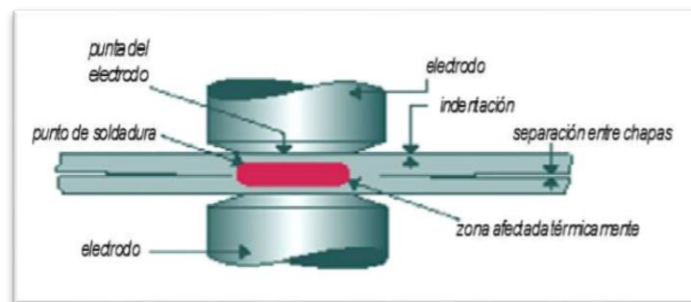


Ilustración 23 (Esquema de soldadura por puntos)

La soldadura por puntos es una de las técnicas más empleadas para la unión de piezas formadas con chapas y láminas de acero con espesores muy pequeños. Espesores entre 0.3 y 0.5, por ejemplo, las pletinas de las celdas de una batería.[35]

4.2.1.2.4. Soldadura blanda con estaño

Consiste en una técnica que requiere aporte de material, generalmente estaño, pero puede utilizarse plomo, cadmio y cinc. Para poder llevar a cabo este tipo de unión, se requiere de un soldador que sea capaz de alcanzar unos 350 grados, la temperatura a la que funde el estaño. En estos casos, se pueden utilizar accesorios que aceleran la operación y así se puede evitar el exceso de calor en la pletina de la celda. Es la más empleada para soldar componentes SMD en PCB puesto que soportan bastante bien los golpes y vibraciones, asegurando la conexión eléctrica de la mejor forma.[36]

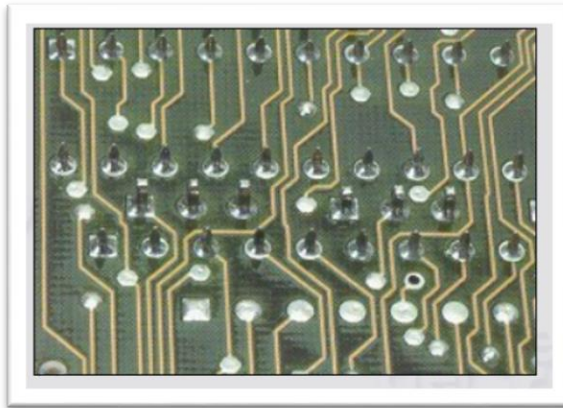


Ilustración 24 (Placa PCB Soldada con estaño)

4.2.1.3. Uniones Mecánicas

En este apartado se plantean diferentes formas mecánicas de poder unir los terminales de dos acumuladores para conformar una batería de mayor capacidad y tensión.

4.2.1.3.1. Técnicas de unión mediante dispositivos o accesorios

- **Roblonado y remachado:** El remachado es la técnica que se utiliza cuando se quieren unir dos piezas metálicas y no hay necesidad de dotar de estanqueidad al elemento. El roblón es similar a un tornillo, pero sin rosca, una pieza cilíndrica con una cabeza de asiento. La unión se realiza mediante la perforación en las piezas a unir, y el roblón actúa como un tronillo pasante que no se rosca. La parte del roblón que sobresale de la estructura se remacha, hasta formar una segunda cabeza que impide que el roblón se suelte.

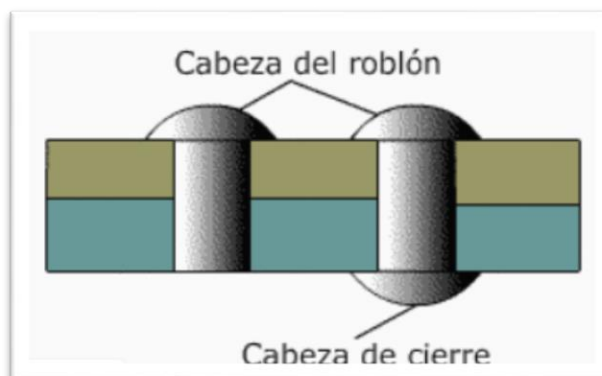


Ilustración 25 (Roblonado y remachado)

Estado del arte

- **Tornillos:** Este método de unión es ideal cuando el desmontaje tiene que ser posible, suelen ser muy rápidos de cambiar y fiables, sin embargo, cabe la posibilidad de que puedan aflojarse, surgiendo la necesidad de tener que fijarlos. Para poder realizar este tipo de contactos, es necesario taladrar un agujero en la pieza y eso puede hacer que llegue a su punto de rotura antes. Por lo que la solución recomendada suele ser aumentar el espesor para este tipo de uniones.



Ilustración 26 (Tornillos)

4.2.1.3.2. Técnicas de unión mediante engarzado

El termino engarce aglutina todos aquellos procedimientos en el que en almenos uno de los componentes a ensamblar sufre una deformación plástica. Esta técnica es muy útil para aquellos productos con recubrimiento metálico que soporten de forma adecuada la deformación generada en los pliegues.

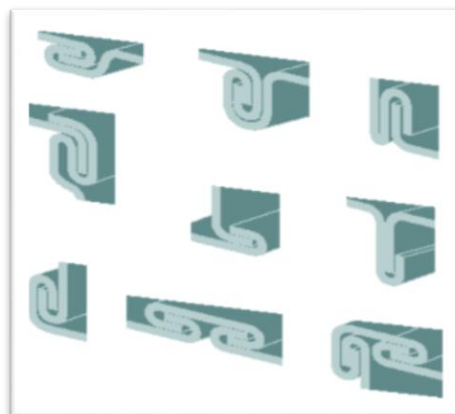


Ilustración 27 (Diseños de engarce)

Se puede llegar a obtener una junta estanca gracias a la adición de masilla o adhesivo en la unión. En la medida de lo posible conviene que los engarces se diseñen de forma que los cantos no queden expuestos. La unión realizada no se puede desmontar y presenta una baja resistencia al deslizamiento y apertura en el sentido del engarce.[35]

4.2.1.3.3. *Técnicas de unión mediante recalado o clinchado*

Es un método de unión que no requiere aportación de material, que consiste en crear una deformación que afecta a las dos chapas que se pretenden unir, de manera que sea la propia deformación la que las mantiene unidas. Permite la unión de las chapas, aunque estén pintadas, plastificadas o metalizadas. En el clinchado un punzón empuja las dos piezas hasta un agujero de la máquina de forma que se produce una deformación permanente que impiden que las dos chapas se separen. Se obtiene una unión de alta calidad y resistente, sin necesidad de generar calor, ruido, o aportación de material ajeno. [37]

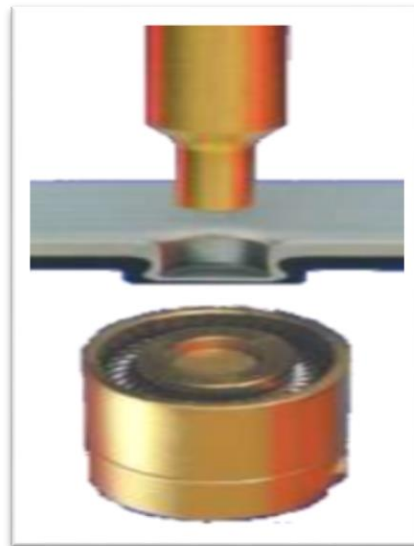


Ilustración 28 (Clinchado)

4.2.2. *Caracterización de un Acumulador*

A continuación, se da una visión general de los fundamentos teóricos y explican diferentes tecnologías, que están directamente relacionadas con la caracterización de una celda.

4.2.2.1. *Que es un acumulador*

Un acumulador eléctrico, se considera un elemento capaz de convertir la energía química que contiene en su interior, en energía eléctrica. De manera que sirva para alimentar diferentes circuitos eléctricos. Al tratarse de un generador eléctrico secundario, se caracteriza porque deben recibir un suministro de energía eléctrica para restaurar su composición química inicial. Pudiendo emplearse numerosas veces antes de llegar a su límite de usos y llegar a su fin de vida útil, es decir, son recargables. [38]

Estado del arte

Estas celdas tienen dos electrodos que están en contacto con un líquido conductor (electrolito) mediante el cual se producen reacciones químicas reversibles, es decir, suministran o absorben electrones, generando así una tensión eléctrica entre los bornes de la celda. Los procesos químicos que ocurren en el interior del acumulador se conocen como reducción-oxidación (redox).

En el proceso de suministrar electrones, es decir en el de descarga del acumulador, los reactivos se combinan con otras sustancias químicas más oxidadas en el polo negativo, sin embargo, dichas sustancias se combinan con otros compuestos más reducidos en el polo positivo. En el proceso de absorber electrones, es decir en el de carga, sucede el efecto contrario, una reacción de oxidación en el polo positivo y de reducción en el polo negativo.[39]

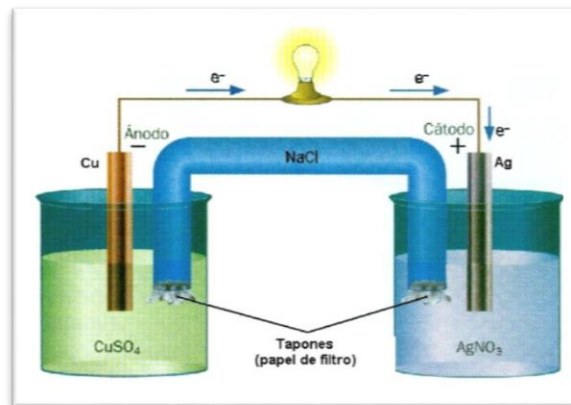


Ilustración 29 (Proceso químico Redox)

Las celdas son capaces de devolver casi en su totalidad la energía que almacenan. Estas reacciones químicas hacen que el material de los electrodos se vaya debilitando y estropeando de forma progresiva. Lo que hace que su capacidad disminuya a medida que se van usando, se degradan y llegan al final de su vida útil, teniendo que desecharlas. [40]

4.2.2.2. *Tecnologías de acumuladores*

- **Baterías de plomo ácido:** Económicas, fáciles de fabricar, bajo mantenimiento, no admiten sobrecargas ni descargas profundas, son extremadamente contaminantes. Este tipo de baterías puede almacenar poca energía para el tamaño y peso que tienen no suele superar los 42Wh/Kg. Tienen una vida útil limitada hasta que se forman cristales y la batería sulfata.[41]

- **Baterías de níquel:** Desarrollan el efecto memoria, que consiste en que en caso de no realizar la carga correctamente, se crean cristales internos que deterioran la batería, acortando de forma drástica su vida útil. Funcionan bien en un amplio rango de temperaturas, se pueden sobrecargar y admiten descargas profundas. Su peso y volumen, aunque mejoran las del plomo ácido, siguen siendo elevados para la energía que almacenan.[42]
- **Baterías de iones de litio:** Poseen un rendimiento bastante superior a las opciones anteriores, estos acumuladores no tienen el riesgo de generar cristales y su capacidad es elevada en relación a su peso y volumen, tienen un factor de auto descarga reducido. Pueden cargarse sin haber sido descargadas al completo previamente y no admiten descargas profundas, puesto que sufren mucho llegando a dañarse. [43]
- **Baterías de litio polímero:** Son una variación de las baterías de iones de litio, pero mejorando la característica de capacidad de almacenaje respecto a peso y volumen. Al igual que los acumuladores de iones de litio, sufren muchos daños al realizar descargas profundas, quedando inutilizadas. [44],[45]
- **Baterías de grafeno:** Por su estructura química, y configuración en capas de un solo átomo el grafeno ofrece una gran superficie activa por unidad de peso, esta característica junto con la gran conductividad eléctrica que poseen, hace de este material un excelente partido para generar los ánodos de las baterías. Puede llegar a ser 10 veces más pequeña que una batería fabricada con las actuales técnicas, teniendo una densidad energética muy elevada frente a las baterías de ion litio La fabricación es muy económica y puede llegar a tener una velocidad de carga muy superior.[46]

4.2.2.3. *Conceptos clave*

En el siguiente apartado se reflejan los conceptos básicos y clave que se deben tener en cuenta para la correcta interpretación de los resultados a la hora de caracterizar una batería.

4.2.2.3.1. *Tensión nominal, máxima y mínima*

La característica "nominal" indica el valor teórico o ideal de cualquier magnitud que sea cuantificable, en este caso la tensión nominal del acumulador es el valor que no puede superar en su funcionamiento normal, para llegar a cumplir en su totalidad los ciclos de vida para los que ha sido fabricado por el fabricante.

En los acumuladores de litio polímero el valor nominal de tensión suele ser de 3.7v y los máximos y mínimos que no han de sobrepasarse 4.2V y 3.2V respectivamente, En caso de superar estos valores indicados generalmente por el fabricante, la celda se dañaría de tal forma que quedaría inutilizada. [47]

4.2.2.3.2. Voltaje Cut-Off

Este valor de voltaje es el límite inferior de tensión, que en caso de que se superase, la celda quedaría dañada. En las celdas de litio polímero, la tensión mínima con la que suele trabajar es de 3.2, podríamos considerarse dicha tensión como voltaje de cut off. Pero si se quiere estresar aún más la celda para caracterizarla en otro régimen de comportamiento, y se realiza un ensayo de descarga profunda. Podemos bajar esa tensión de cut-off hasta 2.9V aproximadamente, sin que el acumulador sufra daños irreversibles y obtener los resultados correspondientes a los ensayos en un régimen mucho más estricto permitiendo estudiar y analizar el comportamiento del acumulador en mayor totalidad.

4.2.2.3.3. Corriente pico de Carga/Descarga

Es la corriente máxima a la que puede verse sometida la celda, suele estar indicado por el fabricante. También suelen indicar el valor sostenido de corriente al que puede descargarse por completo el acumulador. En cada acumulador la corriente pico puede ser diferente y se puede calcular mediante la siguiente expresión.

$$\text{Corriente pico} = \text{Capacidad} * \text{Tasa de Carga/Descarga}$$

4.2.2.3.4. Curvas de Carga/Descarga

Se define como el comportamiento del voltaje con respecto al tiempo en horas de carga o descarga. Dependiendo del estrés al que se someta una celda durante su carga o descarga, se pueden obtener diferentes curvas de comportamiento. Estas graficas suelen venir representadas en función de la carga que se extrae o suministra del acumulador y la tensión en cada instante del ensayo.

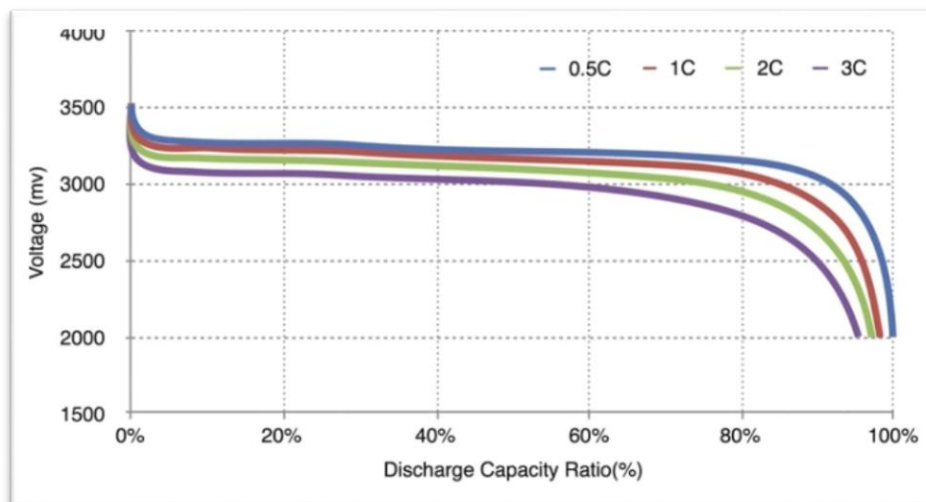


Ilustración 30 (Curvas de descarga)

4.2.2.3.5. Temperatura

Es una magnitud que afecta directamente al rendimiento o la vida útil de un acumulador. Como las baterías pueden suministrar energía gracias a una reacción química, las temperaturas elevadas pueden afectar de manera considerable a su funcionamiento y comportamiento, llegando a reducir o aumentar el valor de la resistencia interna del acumulador.

4.2.2.3.6. Capacidad

La capacidad de un acumulador es la cantidad de carga eléctrica que puede almacenar o suministrar. La unidad en la que se expresa esta magnitud es de (Ah) por lo que, como primera aproximación, una batería de 20(Ah) es capaz de suministrar 20A durante una hora o 40 A durante media hora.

4.2.2.3.7. Tasa de Descarga y Carga

Esta magnitud se mide en 'C' y es la velocidad a la que se puede descargar el acumulador, es decir, la intensidad máxima que se le puede exigir de forma segura. Básicamente, hace referencia a por cuantas veces tienes que multiplicar la capacidad para conocer su descarga máxima. El fabricante del acumulador suele indicar los C's que le puedes exigir de forma continuada en un ensayo y también la corriente pico que puedes extraer o suministrar durante periodos cortos de tiempo reducido. Una batería de 20Ah puede suministrar 20 amperios durante una hora descargándola a 1C, pero serán 40 amperios y en media hora en caso de que la descarga se produzca a 2C. La tasa de carga suele ser bastante más baja que la de descarga y no suele superar los 5C en acumuladores de litio polímero.

4.2.2.3.8. Auto-descarga

La auto descarga no es un defecto de fabricación, sino una característica de las baterías. Consiste en el proceso de descarga que sufre el acumulador, incluso sin estar conectada a la instalación eléctrica. La pérdida de energía es más alta justo después de la carga y luego disminuye gradualmente. En caso de no tener en cuenta esta característica de los acumuladores, se pueden sufrir daños irreversibles en las baterías, llegando a niveles de descarga demasiado profundos.[48]

4.2.2.3.9. Resistencia interna

Los conductores que componen un acumulador, no son perfectos y los electrodos y electrolitos que contienen no son del 100% conductores, por ello, se genera lo que llamamos resistencia interna. Este valor no es constante a lo largo de la vida de una batería, inicialmente es muy bajo, pero a medida que el acumulador envejece, el valor de la resistencia incrementa. La ley de ohm dice que $V=I \cdot R$ es decir, cuanto mayor sea la resistencia más voltaje se asigna. Si el componente tiene una resistencia pequeña la salida de voltaje no será necesariamente recibida completamente por el componente. En cambio, si la resistencia es más grande ese componente obtendrá la mayor parte del voltaje. La resistencia interna se puede calcular mediante las siguientes expresiones:[49]

$$RB = \left(\frac{Vs}{I} \right) - RL$$

$$RB = \left(\frac{Vs - V}{I} \right)$$

Dónde:

RB = Resistencia interna de una batería

Vs = Voltaje de la batería en vacío

V = Voltaje de la batería estando la carga aplicada

RL = resistencia de la carga aplicada

I = Intensidad suministrada por la batería

4.2.2.3.10. Voltaje Circuito Abierto (VOC)

Es el valor máximo de voltaje disponible en el acumulador, para ello no debemos conectar ninguna carga al acumulador, y procedemos a medir en bornes, obteniendo así el voltaje de circuito abierto.

4.2.2.3.11. Voltaje Circuito Cerrado (VCC)

En caso de conectar una carga, el valor del voltaje cae. Al tratar la resistencia interna y la resistencia de la carga como un divisor de tensión se puede calcular el valor real del voltaje de salida a través de la carga.

4.2.2.3.12. Estado de Sarga (SOC)

El estado de carga indica el porcentaje de energía disponible en un acumulador. Es un valor afectado por numerosas magnitudes, por lo que el cálculo se lleva a cabo mediante modelos matemáticas. En el apartado 4.2.1.4. se exponen modelos matemáticos que se emplean para estimar el valor del estado de carga de un acumulador.

4.2.2.3.13. Estado de Salud (SOH)

Este término hace referencia al estado de salud de una batería, un valor porcentual que valora el estado de una batería comparándola con sus condiciones ideales, es decir su valor será del 100% en el momento de la fabricación e ira disminuyendo con el uso del acumulador.

4.2.2.3.14. Profundidad de Descarga (DOD)

El termino profundidad de descarga es el valor en tanto por ciento de la energía que se ha sacado de un acumulador en un ciclo de descarga. Cuanto menos profundo sea la descarga a la que sometamos el acumulador, menos se dañará y más vida útil tendrá.

4.2.2.3.15. Vida útil

Tiempo en el que la batería no queda dañada de forma irreversible y puede seguir funcionando de forma correcta, normalmente se indica como el número de veces en el que la batería puede ser recargada para recobrar su capacidad máxima después de haber sido descargada.

4.2.2.4. Modelos matemáticos para estimar el SOC

Debido a que los acumuladores están adquiriendo más importancia, es necesario contar con las herramientas necesarias para determinar el estado de carga. De esta forma se puede asegurar que la energía almacenada sea realmente la que podemos utilizar y prever posibles fallos del sistema de almacenamiento, asegurando el correcto comportamiento de la batería. A continuación, se proponen diferentes maneras para determinar el estado de carga.

4.2.2.4.1. Estimación por modelo eléctrico

Cada acumulador se puede considerar como un circuito eléctrico conformado por diferentes elementos. Todo parámetro se puede modelar sabiendo que todo sistema eléctrico tiene su circuito equivalente. El modelo más completo se compone de una serie de resistencias y arreglos RC que representan diferentes tensiones o impedancias internas del acumulador. Este modelo dinámico, considera el deterioro y el efecto de la temperatura. El análisis de todos estos modelos y circuitos equivalentes se realiza mediante simuladores como por ejemplo (Matlab, PowerSim, etc.). [50]

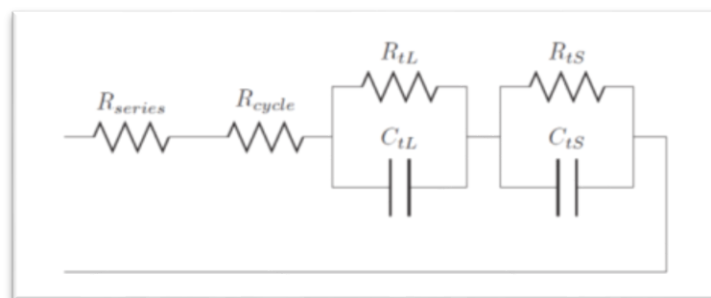


Ilustración 31 (Modelo dinámico)

4.2.2.4.2. Técnica por resistencia interna

La prueba de la resistencia interna consiste en aplicar una carga breve a la batería y medir los cambios de voltaje y corriente, de forma que podamos medir la resistencia interna del acumulador. A medida que aumenta la resistencia interna en la batería, disminuye el estado de carga. Esta técnica no considera los cambios de temperatura.

En la siguiente imagen se puede observar la resistencia de una batería de níquel-metal cuando esta descargada, durante la carga, y a plena carga después de un periodo de reposo de unas 4 horas. [50]

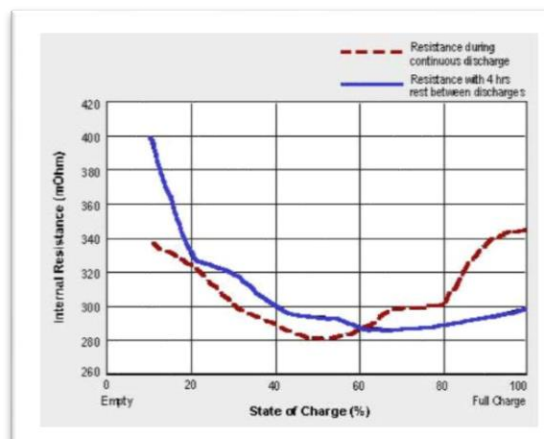


Ilustración 32 (Resistencia interna de una batería de níquel-metal)

4.2.2.4.3. Prueba de descarga completa

El modelo de descarga profunda es la más utilizada por los fabricantes, puesto que suele ser una de las pruebas de calidad que se realiza sobre un nuevo acumulador para determinar su capacidad.

La prueba consiste en aplicar una descarga a la batería, cuando se encuentra completamente cargada, es decir, realizar una descarga profunda. Se medirá la carga extraída del acumulador, y se comparará con la obtenida por el fabricante.

La batería debe ser descargada usando el índice de corriente y su tensión debe ser medida a lo largo de toda la prueba. Las estimaciones del SOC se realizan comparando valores suministrados por el fabricante con los obtenidos en nuestro ensayo.

El primer problema con el que nos podemos encontrar es que la carga que utiliza el fabricante es específica por lo que si la carga real es diferente se requiere interpolar. Además, los fabricantes no suelen proporcionar valores de tensión sin haber puesto una carga. [50]

4.2.2.4.4. Método de 2 pulsos

El cálculo de este tipo de parámetros está relacionado con la caída de tensión después de cada pulso de descarga de corriente. El primer pulso resetea la batería de su historia anterior, y el segundo establece los parámetros que tienen una relación directa con el estado de carga.

El método consta de los siguientes pasos:

- Se comienza con una batería de historia desconocida y conectada en circuito abierto
- Se aplica un pulso de corriente conocida durante 10 segundos, la tensión durante el primer pulso decae, y una vez se elimina el pulso, la tensión se recupera obteniendo V_{max} . Se esperan 10 segundos y se aplica un segundo pulso, ocurre lo mismo que en el primer pulso obteniendo en este caso V_{min} .

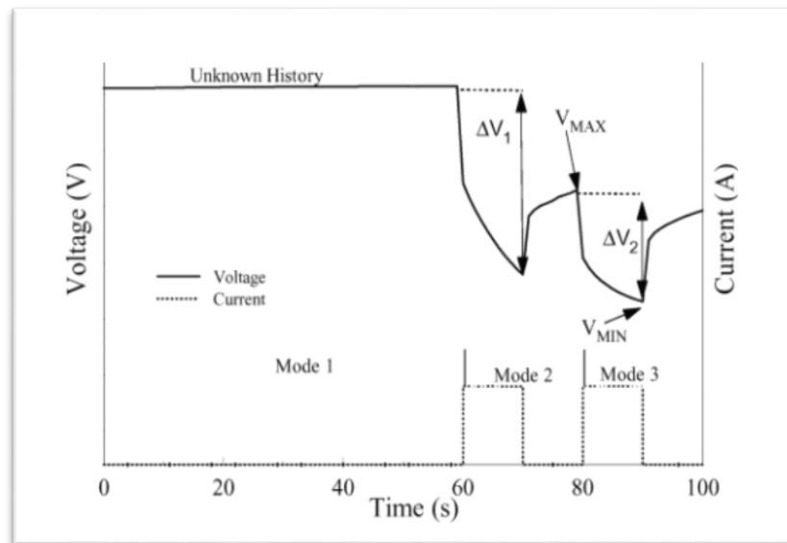


Ilustración 33 (Método de los 2 pulsos)

Para determinar el estado de la batería se deben seguir los siguientes pasos:

- Deducir un voltaje de equilibrio a partir de V_{max} y la hoja de datos del fabricante.
- El SOC se deduce a partir del voltaje de equilibrio y la hoja de datos del fabricante.

La relación entre los parámetros obtenidos por medio de la gráfica mostrada en la imagen anterior y los parámetros de estimación SOC y SOH pueden expresarse de la siguiente manera.[50]

$$SOC = \frac{V_{max} + \beta - EMF_{min}}{\sigma}$$

$$SOH = \frac{AHC_{aged}}{AHC_{nom}}$$

4.2.2.4.5. Técnica de voltaje en circuito abierto

Esta técnica a pesar de que sea la más sencilla, es la más imprecisa de todas, puesto que, los materiales de las celdas y las temperaturas se ven afectados, al someter a un acumulador a una descarga. La agitación resultante distorsiona el valor del voltaje y no representa una referencia del SOC correcta. Par poder hacer una lectura correcta, la batería debe estar al menos 4 horas en estado de circuito abierto. La medición de voltaje en circuito abierto suele utilizarse para ajustar otras técnicas más utilizadas de manera que la combinación de dos técnicas puede resultar en un valor mucho más preciso del estado de carga.[50]

4.2.2.4.6. *Modelo mediante el uso de un Filtro de Kalman y redes neuronales*

La monitorización de los procesos de la carga y descarga se vuelven esenciales para controlar su estado de operación y evitar la sobrecarga y la sobre descarga. Este modelo permite estimar el estado de carga midiendo la corriente, tensión y temperatura a tiempo real. Para determinar las ecuaciones del estado de la batería, se usa el modelo TTC que considera los componentes tradicionales del modelo de Thevenin e incluye una red de componentes RC para modelar la respuesta dinámica de la batería. Estos elementos adicionales, son resistencias y capacitancias de concentración y polarización, y los valores de estos parámetros dependen del SOC y de la temperatura del acumulador. Con el objetivo de aumentar la precisión del modelo que se plantea, se añade el comportamiento de histéresis de la batería y el ajuste térmico del nivel del voltaje de circuito abierto cuyo valor depende del estado de carga.[51]

4.2.2.4.7. *Conteo de coulomb*

El modelo para estimar el estado de carga más utilizado es el conteo de coulomb. Es muy sencillo de aplicar, sin embargo, el algoritmo cuenta con la desventaja del error acumulativo debido al valor del SOC inicial y la precisión de la instrumentación en las mediciones que se realizan. Existe la posibilidad de usar la tensión de circuito abierto, para solventar el problema del error que se acumula, puesto que existe una relación lineal entre el SOC y OCV.

La precisión a la hora de realizar la estimación del estado de carga, puede precisar la energía disponible en el acumulador o facilitar el control del sistema que se está alimentando. Pero sobre todo evitar daños irreversibles en la estructura interna de la batería. El conteo de coulomb consiste en cuantificar la energía suministrada o absorbida por el acumulador midiendo la corriente de salida y entrada. Las desventajas que nos encontramos son: el desconocimiento del valor inicial del SOC, la auto-descarga que sufre la celda, puesto que, después de un periodo largo de almacenamiento puede diferir en el valor real del estado de carga.

La estimación y cálculo del SOC de un acumulador de litio polímero mediante este método, se basa en la correcta medición de voltaje, corriente y temperatura. Cuando la batería se encuentra en circuito abierto, es decir, sin una carga conectada y sin corriente circulando a través de ella, se aplica un porcentaje de auto descarga. La cantidad de energía que suministra o absorbe un acumulador se obtiene mediante la integración de una corriente de carga o descarga medida en un ensayo.[52]

Estado del arte

$$\Delta Q = \int_t^{t+\tau} I_{\text{bat}} dt$$

Para determinar el valor del estado de carga inicial, se suele utilizar una función objetivo que relaciona la tensión de circuito abierto, y el SOC. Esta curva generalmente se determina aplicando un pulso sobre el acumulador.

$$SOC = f(OCV) = a * OCV - b$$

Segment	1	2	3	4	5	6	7	8
Voltage Range (V)	[3.3; 3.452]	[3.452; 3.508]	[3.508; 3.595]	[3.595; 3.676]	[3.676; 3.739]	[3.739; 3.967]	[3.967; 4.039]	[4.039; 4.132]
A	26.55	125	149	344	229.5	111.9	104.8	90.61
B	88.6	431.1	516.1	1225	800.9	359.9	332	274.7

Ilustración 34 (Variable para estimar el valor inicial del SOC)

La variación del estado de carga de una batería se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Delta SOC(t + \tau) = \frac{Q_{\text{gained}}(t + \tau)}{Q_{\text{rated}}} * 100$$

En el siguiente diagrama se puede ver el flujo del algoritmo propuesto para estimar el SOC

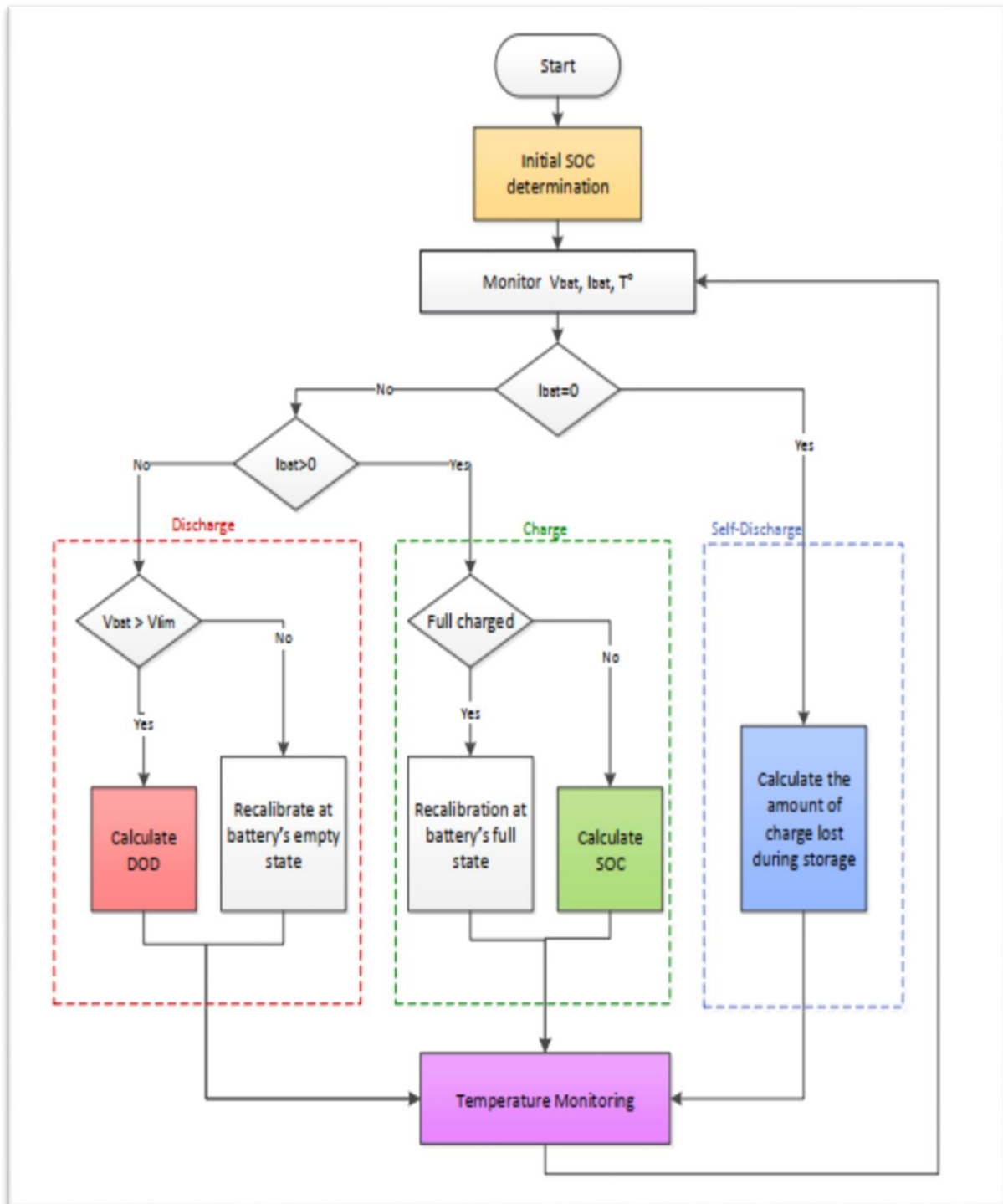


Ilustración 35 (Diagrama de bloques - Coulomb Counting)

5. DESARROLLO

El desarrollo del banco para validar uniones comienza por un estudio de necesidades. Comprender los requisitos que dicho sistema debe satisfacer, y capacidades mínimas que debe cumplir, hará posible un diseño más adecuado.

5.1. ELECCIÓN DEL MÉTODO DE UNIÓN DE LA BATERÍA

Inmersos en la V edición de la competición internacional de Motostudent, se desarrolla un acumulador con la configuración 4p26s, es decir, unir 4 celdas en paralelo y serializar esos "stack" 26 veces. En el transcurso del diseño del contacto eléctrico, se proponen varios métodos de realizar la unión.

Se valora realizar un contacto mediante soldadura, pero se encuentran las siguientes ventajas e inconvenientes:

- La soldadura permite un contacto más puro entre los elementos, mejorando la conductividad eléctrica. Sin embargo, en caso de tener una avería durante la competición, dificulta muchísimo la reparación del acumulador. En este tipo de contacto, el calor que se aporta en la pletina de la celda es elevado y no debe superar los 10 segundos, puesto que, el calor comienza a transmitirse por el electrodo al interior de la celda. Esta acción no se debe realizar más de un par de veces sobre la celda ya que al aplicar una temperatura tan elevada puede dañar el acumulador. Además, el recubrimiento que traen las pletinas de las celdas, dificulta que el estaño se adhiera de forma correcta, imposibilitando un contacto seguro y robusto.

Después de analizar la unión por diferentes métodos de soldadura, se analizan los posibles contactos mecánicos encontrando las siguientes ventajas e inconvenientes.

- En caso de que una celda llegase a dañarse y se tuviese que reparar o sustituir, la extracción es mucho más rápida y cómoda. Permite tanto la reparación de una sola celda o tener un módulo preparado para intercambiarlo de forma rápida. No se aporta calor en la pletina de la celda poniendo en riesgo su vida útil. Sin embargo, se añade peso al tener la necesidad de aumentar la superficie de contacto. Es más complicado realizar una unión en el que la superficie de contacto sea pura.

Por lo mencionado anteriormente, se decide apostar por una unión mecánica para nuestro acumulador, con el objetivo de asegurar una reparación rápida del acumulador en caso de rotura.

5.2. CALCULO ANALÍTICO DE LA SECCIÓN DEL CONTACTO

Para poder asegurar el correcto comportamiento de los diseños que se plantean, se procede a realizar el cálculo de la sección mínima que se debe disponer del material conductor, para que la corriente que circule por ella no haga que el contacto se caliente demasiado.

Se conoce que en la disipación de 2W no se genera demasiado calor por lo que imponemos que Δv no debe superar 0.1mv. A continuación, se calcula la sección que debía tener el segmento rectangular de cobre. Este valor, está restringido por el diseño de la batería, teniendo poco margen de tolerancia, por el reducido espacio del que se disponía.

Para el cálculo del espesor mínimo que debe disponer en el contacto conociendo la corriente máxima que puede circular por el mismo, se utilizan las siguientes expresiones:

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta v}$$

$$\rho = \rho_0 * (1 + \alpha * \Delta T)$$

$$\text{Espesor} = S / \text{Ancho}$$

En este caso, usando como material el cobre y 50°C la constante tiene el siguiente valor: $\rho = 0.0376425$

Se analizan diferentes casos:

- Caso 1: Según el cálculo realizado con OptimumLap se estima que la batería no tendrá necesidad de descargarse a más de 2.5C, es decir, $2.5 * 20 * 4$ (capacidad*tasa de descarga*número de paralelos) = 200 amperios → se estima que se necesita un espesor de 3.4mm
- Caso 2: Teniendo en cuenta el consumo nominal del motor se calcula que las celdas de la batería se descargaran a una tasa de descarga de 1.37C, es decir, $1.37 * 20 * 4$ (capacidad*tasa de descarga*número de paralelos) = 110 amperios → se estima que se necesita un espesor de 1.9mm

Desarrollo

- Caso 3: Teniendo en cuenta el consumo pico del motor se calcula que las celdas de la batería se descargaran a una tasa de descarga de $5.5C$, es decir, $5.5 \cdot 20 \cdot 4$ (capacidad*tasa de descarga*número de paralelos) = 440 amperios → se estima que se necesita un espesor de 7.6mm
- Caso 4: Teniendo en cuenta un consumo algo superior a lo estimado mediante OptimumLap, para ser conservadores y asegurar el comportamiento del contacto, sobredimensionándolo. Se estima una tasa de descarga de $3C$, es decir, $3 \cdot 20 \cdot 4$ (capacidad*tasa de descarga*número de paralelos) = 240 amperios → se estima que se necesita un espesor de 4mm

Estudiados los casos con todo el equipo, se decide optar por la cuarta opción. Una vez se tiene la sección del elemento de conexión principal, se estudian diferentes métodos en los que intervienen más elementos con el objetivo de mejorar la conductividad y el comportamiento del contacto para un régimen permanente de corriente elevada. Para estudiar, analizar e interpretar el correcto comportamiento de estos contactos, surge la necesidad de disponer de una herramienta capaz de simular la corriente que circulara por las uniones y monitorizar la temperatura corriente y diferencia de potencial en la unión.

5.3. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA CONTACTOS ELÉCTRICOS

Para llevar a cabo el diseño se utiliza un transformador que eleva la corriente, una etapa de rectificación de onda completa mediante un puente de diodos, y un filtro de condensadores para obtener una corriente continua a su salida.

Puesto que la entrada del transformador principal debe ser variable, y no disponer de recursos económicos, para comprar una fuente conmutada, se decide utilizar otro tipo de topología que se encuentra disponible en el laboratorio de la escuela. En este caso un autotransformador monofásico, permitiendo una entrada variable y por consiguiente también su salida.

En la Ilustración 36 se puede observar la forma de la onda en cada punto del circuito. Arriba la alterna a la salida del transformador, en el centro la salida del puente de diodos, y abajo la onda filtrada.

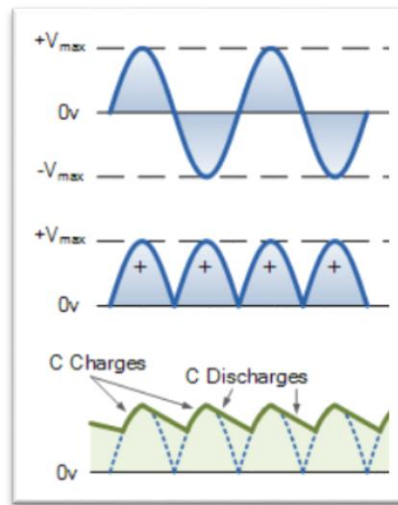


Ilustración 36 (Transformación onda)

5.3.1. Esquema eléctrico

El esquema eléctrico que se presenta a continuación es la conexión de los elementos eléctricos que interactúan en una rectificación de señal de onda completa. El transformador, la rectificación mediante el puente de diodos, y el filtrado de la señal mediante un condensador equivalente calculado en este trabajo. La entrada del transformador, el primario, en lugar de conectarlo directamente a la red, se realiza la conexión a un autotransformador monofásico. De esta forma en lugar de tener una salida en el secundario, constante, se puede variar su valor en función de las necesidades que requiera el ensayo.

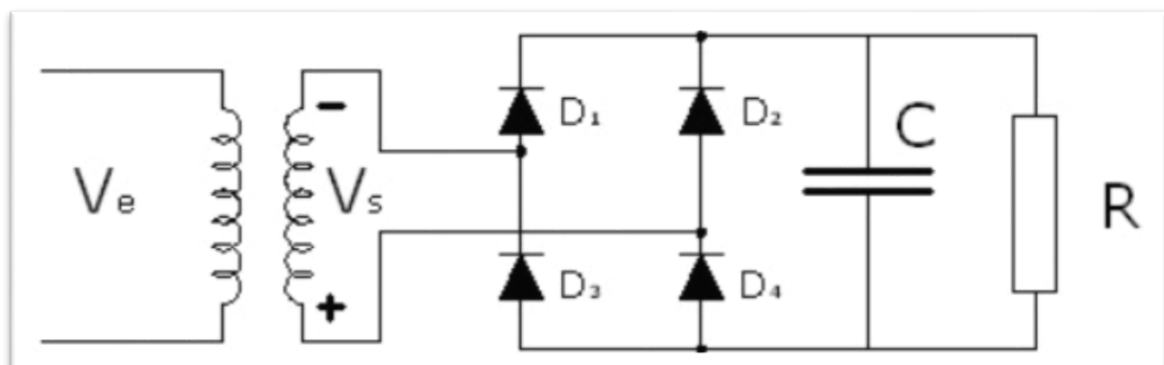


Ilustración 37 (Esquema eléctrico - Rectificada de onda completa)

5.3.2. Diagrama de bloques

En el siguiente diagrama de bloques podemos ver en rasgos generales los elementos que interactúan en el banco que se ha diseñado y de qué forma están relacionados.

En primer lugar, se alimenta un autotransformador monofásico conectado a la red. Su salida se conecta mediante elementos de protección a otro transformador con una relación de transformación fija. Dicho elemento, se conecta a un puente de diodos utilizando unos borneros adaptados para la sección de cable que se necesita, con el objetivo de rectificar la señal de onda completa. Al puente de diodos se le añade en paralelo un banco de condensadores para filtrar la salida del rectificador. A la salida del mismo disponemos de dos pinzas mecanizadas de presión regulables, de esta forma al ejercer una presión superior, la resistencia en los cables y en las pinzas de amarre, será menor y despreciable frente a la medida por ley de ohm en el contacto ensayado.

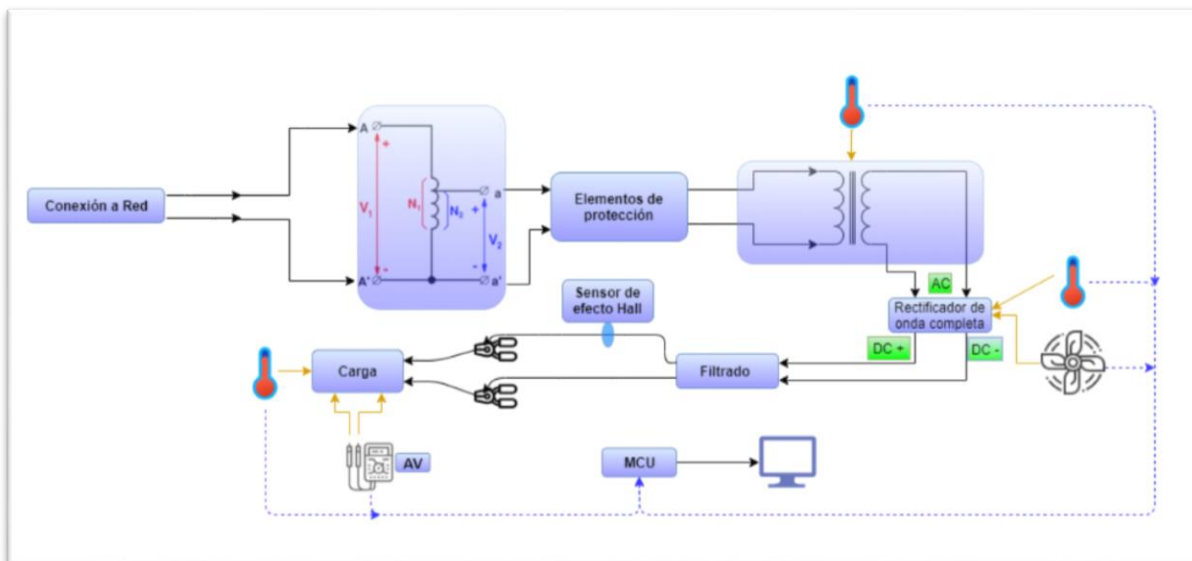


Ilustración 38 (Diagrama de bloques - Banco de ensayos para contactos)

5.3.3. Componentes del banco

El banco de pruebas consta de los elementos que figuran en el diagrama de bloques, y en este apartado se pretende explicar cuál es su funcionalidad en el banco.

5.3.3.1. Transformador

Basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética, el transformador lo que hace es elevar o disminuir la energía alterna que recibe en el primario. Puesto que las características que se precisan son muy específicas y no se encuentra ningún

transformador comercial de que ofrezca 2,3KW a la salida, a una baja tensión y elevada corriente, se dispone de un transformador en el laboratorio, cuyo secundario esta modificado con el objetivo de obtener los datos calculados a continuación.



Ilustración 39 (Transformador refrigerado)

Se realiza un ensayo en vacío, es decir, se conecta el transformador a la red, y se mide la tensión que se obtiene en el secundario sin conectar ningún elemento a su salida. Como se puede observar en la imagen, la salida es de 10,32V de alterna, con una entrada de 230V. De esta forma se conoce que la relación de transformación tiene un valor de 22.287.

5.3.3.2. Autotransformador Monofásico

El autotransformador monofásico tiene un único devanado que actúa de la misma forma en el primario y el secundario. Consta de los dos bornes habituales que se pueden encontrar en un transformador, pero este tipo de elementos poseen un tercer borne accesible, que está conectada a una toma intermedia del bobinado. Esto permite variar la relación de transformación y conseguir una tensión en el secundario variable a voluntad del usuario.

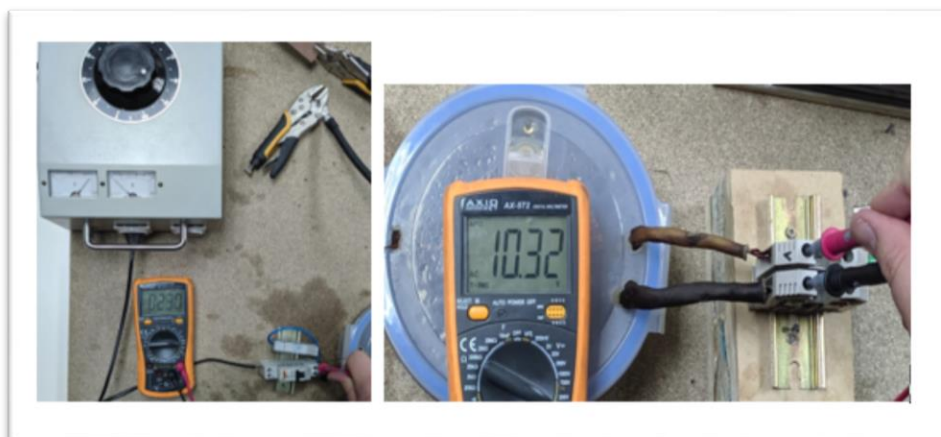


Ilustración 40 (Tensión de entrada y de salida)

Desarrollo

La idea de alimentar el primario del transformador mediante un autotransformador monofásico, surge de la necesidad de poder hacer ensayos a diferentes amperajes. Esto permite poder ampliar la gama de ensayos que se pueden realizar sobre el contacto eléctrico, pudiendo decidir en cada instante cuanta corriente se quiere que circule por la unión, cambiando la relación de transformación del autotransformador, y por consiguiente la tensión a la que se alimenta el primario del transformador principal.

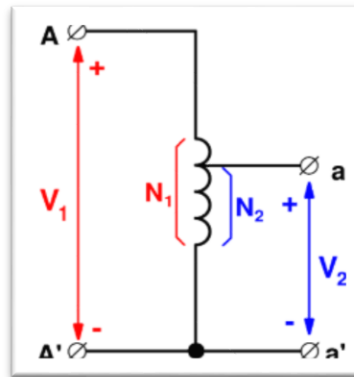


Ilustración 41 (Esquema de autotransformador)

El autotransformador que se utiliza para el banco nos lo proporciona un profesor de la escuela, en concreto es el modelo ARC 5-2 y su manual de usuario se puede encontrar en la siguiente referencia. [53]

SINGLE-PHASE			
Input 230 V / Output 0 + 250 V, 50 + 60 Hz.			
Model	Power (VA)	Current (A)	Run time (sec.)
ARC 3-2	625	2,5	7
ARC 3A-2	800	3,2	7
ARC 4-2	1.250	5	7
ARC 4A-2	1.650	6,5	7
ARC 5-2	2.500	10	7
ARC 6-2	3.000	12	7
ARC 7-2	4.000	16	10
ARC 9-2	5.500	22	10
P2ARC 7-2	8.000	32	10
P2ARC 9-2	11.000	44	10
P3ARC 9-2	16.500	66	10
P4ARC 9-2	22.000	88	10

Este autotransformador ofrece una salida de 10A y una tensión variable de hasta 250 voltios. Por lo que en caso de alimentar el transformador principal a 250V y 10 amperios, conociendo la relación de transformación, se puede calcular mediante la siguiente expresión la corriente máxima que se puede obtener a la salida.

$$V_P \cdot I_P = V_S \cdot I_S$$

La corriente más alta que se puede obtener en el transformador principal utilizando este elemento para alimentar el primario es de 242.24A.

En la metodología explicada en el apartado 5.7.1. se define que los ensayos de régimen permanente de alta intensidad se realizan ajustando una salida de 160A. Por lo que podemos utilizar la expresión anterior para calcular la tensión a la que se debe alimentar el transformador principal.

$$V_p * 10 = 10.32 * 160$$

$$V_p = 165.12V$$

5.3.3.3. Puente de diodos

Una vez establecida la tensión de alimentación del primario, se necesita rectificar la señal alterna que sale en el secundario del transformador principal por lo que se realiza un rectificador de onda completa.

Para ello el circuito que utilizamos es un puente rectificador. De esta forma podemos crear dos caminos, una para la primera mitad del periodo, semiciclo positivo de la tensión de red, donde dos de los diodos conducirán, puesto que el voltaje circulara en el sentido directo de dichos diodos, y en sentido inverso de los dos restantes. Y en el semiciclo negativo, segundo periodo, conducirán los diodos que no lo hacían y dejaran de hacerlo los que conducían. Obteniendo, así como resultado, una señal de onda completa.

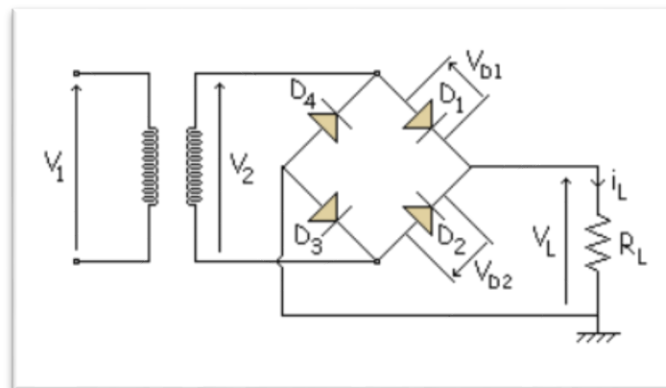


Ilustración 42 (Esquema eléctrico - Puente de diodos)

Según se muestra en la Ilustración 43, en el semiciclo positivo conducirán los diodos D1 y D3. En el semiciclo negativo, sin embargo, ocurrirá lo contrario D1 y D3 dejarán de conducir y lo harán D2 y D4.

Desarrollo

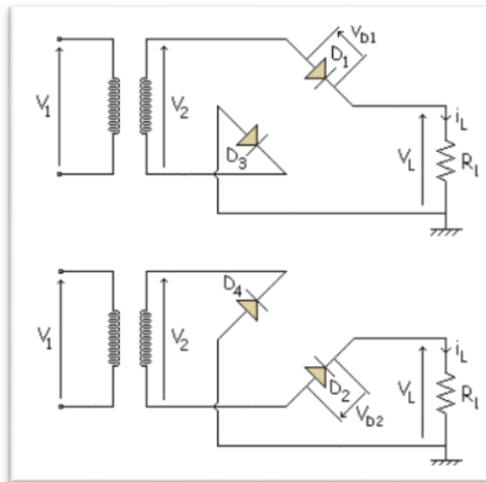


Ilustración 43 (Semiciclo Positivo y Negativo)

El puente de diodos utilizado en el banco, se consigue mediante un patrocinador del equipo, Cemex, y viene montado sobre un disipador de aluminio. Son en concreto el modelo MDD 44-12 N1B y su hoja de datos viene en la siguiente referencia.[54]



Ilustración 44 (Puente de diodos)

Son diodos que soportan 100A y 150°C, además tienen una placa base de metal aislado preparado para montar sobre un disipador y facilitar la transferencia de calor. Cada uno de los módulos rectificadores contiene dos diodos conectados en serie. Por lo que el puente de cuatro diodos se conforma utilizando dos módulos.

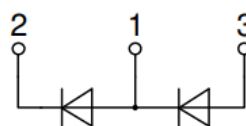


Ilustración 45 (Esquema del módulo rectificador)

5.3.3.4. Banco de condensadores

Llegados a este punto, se necesita filtrar la señal que obtenida a la salida del puente de diodos completando de esta forma la rectificación de la señal con la fase de filtrado. En este caso se dimensiona un condensador equivalente capaz de filtrar la señal y quede por debajo del 1.5% de la tensión de rizado. Se utiliza la siguiente expresión para realizar el cálculo:

$$C = \frac{I_o}{2 * f * Vr * \%}$$

Sabiendo que se trata de una rectificadora de onda completa, tomamos el siguiente valor, $f = 100\text{Hz}$. Además, en el ensayo en vacío mencionado en el apartado 5.3.3.1. alimentando el transformador principal a 230V da una salida de 10.32V. A la salida del puente de diodos, teóricamente, se obtiene el valor de la salida del secundario, más la tensión de fase de cada módulo rectificador cuyo valor indicado en la hoja de datos es de 1.26V. En la Ilustración 46 se muestra dicho resultado $10.32 + 1.26 + 1.26 = 12.84\text{V}$

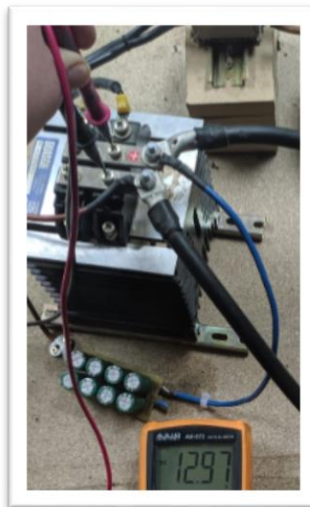


Ilustración 46 (Salida del puente de diodos)

El valor que se muestra en el multímetro, es el valor eficaz de la tensión a la salida del sistema, se calcula el de la tensión continua a la salida, quedando 9,17V. Adaptamos el banco de condensadores para que soporte esta tensión y un 15% más como factor de seguridad, es decir, calculamos un condensador equivalente de al menos 10,5V.

Se tiene en cuenta que a la salida se pueden obtener un máximo de 300 A en el caso más desfavorable, se utiliza dicho valor para calcular la capacidad del condensador equivalente. De esta forma se asegura un factor de rizado menor del 1.5%.

$$C = \frac{300}{2 * 100 * 9.17 * 0.015} = 10.905 = C$$

La capacidad del condensador equivalente, debe ser como mínimo de 10,9F y debe soportar 9,2V sin dañarse.

Se escogen supercondensadores de la familia de Eaton HV. Ofrecen una resistencia en serie equivalente muy baja para la mayor potencia de pulso y densidad. Se escoge en concreto un modelo con un voltaje de trabajo de 2,7V y una capacidad 25F.

Se realiza el montaje con una configuración de 4 condensadores en series paralelizado 2 veces, quedando así un condensador equivalente de 12.5F y capaz de soportar 10,8V como máximo. Esta configuración cumple con las condiciones mínimas calculadas que se requerían para filtrar la señal del sistema. Su hoja de datos se encuentra en la siguiente referencia.[55]



Ilustración 47 (Banco de condensadores)

5.3.3.5. Pinzas o mordazas

Las pinzas que se muestran en la Ilustración 48 son las que se utilizan en el banco de ensayos como sistema de sujeción para amarrar el contacto. Con ellas podemos sujetar los diferentes diseños de uniones que se plantean en el equipo. Estas pinzas están mecanizadas, es decir, se realiza un agujero M4 con el taladro de columna en el taller de la escuela. Se crimpa un bornero circular en el extremo del cable y mediante un tornillo y una tuerca se realiza la unión entre la pinza y la salida después de la rectificación y el filtrado de la señal.

Estas pinzas, son regulables permitiendo amarrar las uniones que se desean ensayar ejerciendo diferentes presiones y dando al sistema la posibilidad de sujetar contactos de diferentes espesores. Estas pinzas son conductoras por lo que la corriente circula por ellas sin ningún problema.



Ilustración 48 (Pinza-Mordaza)

5.3.3.6. Otros elementos

Para dotar al sistema de su plena funcionalidad se requieren otros elementos que se presentan a continuación.

5.3.3.6.1. Recipiente para el aceite del transformador

Al no conseguir un transformador de las características deseadas, y disponer de uno cuyo secundario está modificado, al ponerlo en cortocircuito y superar las potencias nominales del mismo, las temperaturas en dicho elemento son muy elevadas, por eso, se sumerge en aceite. Gracias al retraso en la transmisión del calor que ofrece este líquido, se estudia que el sistema puede funcionar durante 5 minutos sin que la temperatura del transformador llegue a niveles demasiado elevados.

Se busca un recipiente que soporte altas temperaturas donde se pueda introducir el transformador cubierto de aceite, y con la posibilidad de adaptar dicho recipiente para conectar el primario y secundario al sistema diseñado.

5.3.3.6.2. Elementos de protección

PIA: Para poder proteger el sistema de sobrecargas de corriente, causado por un consumo elevado del sistema, pudiendo llegar a provocar excesos de temperatura e incendios, se decide poner este interruptor automático magneto-térmico. Además, también protege el sistema frente al contacto accidental entre fase y neutro.

Fusible: En este caso usamos un fusible además del PIA, para que en caso de sobrecarga se funda el hilo de cobre y el circuito se quede abierto, fuera de peligro. Este elemento se sitúa en serie con el circuito en un portafusibles.



Ilustración 49 (PIA y Fusible)

5.3.3.6.3. Disipador puente de diodos

El puente de diodos contiene módulos rectificadores con una base metálica aislada que facilita el montaje en disipadores. Como se puede observar en la Ilustración 50, se disponen dichos módulos sobre un disipador de aluminio. De esta forma se transmite el calor que generan los diodos en una mayor superficie.



Ilustración 50 (Disipador de aluminio para el puente de diodos)

5.3.3.6.4. Turbina utilizada para la refrigeración forzada por aire

Como se puede observar en la hoja de datos del puente de diodos, el fabricante asegura su correcto funcionamiento a 180°C y 100A. En este caso, se tiene en cuenta que los ensayos que se desean realizar son de 160A durante 5 minutos. Por todo ello, además del disipador, se utiliza una turbina que genera aire mediante un motor de escobillas. Se conecta a un interruptor, en este caso un PIA, para poder encenderlo

cuando se desee. En la Ilustración 51 se muestra la turbina contada con el motor de escobillas y el interruptor.

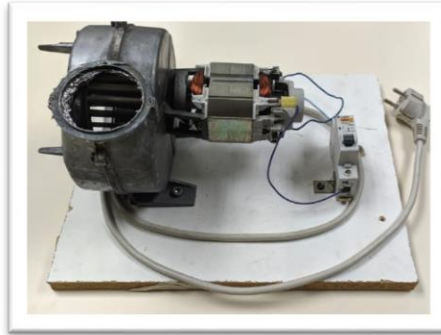


Ilustración 51 (Turbina de refrigeración forzada por aire)

5.3.4. Montaje del banco de pruebas

Con el objetivo de poder desplazar todos los elementos del banco y mantenerlos conectados, se dispone de una base de madera. Se utilizan borneros y cables de diferente sección para poder conectar los componentes eléctricamente, un trozo de carril DIN para el PIA y el portafusibles, pegamento para el recipiente que contiene el transformador y clavos para el puente de diodos. En la siguiente imagen se puede observar el resultado de cómo queda montado el banco de pruebas.

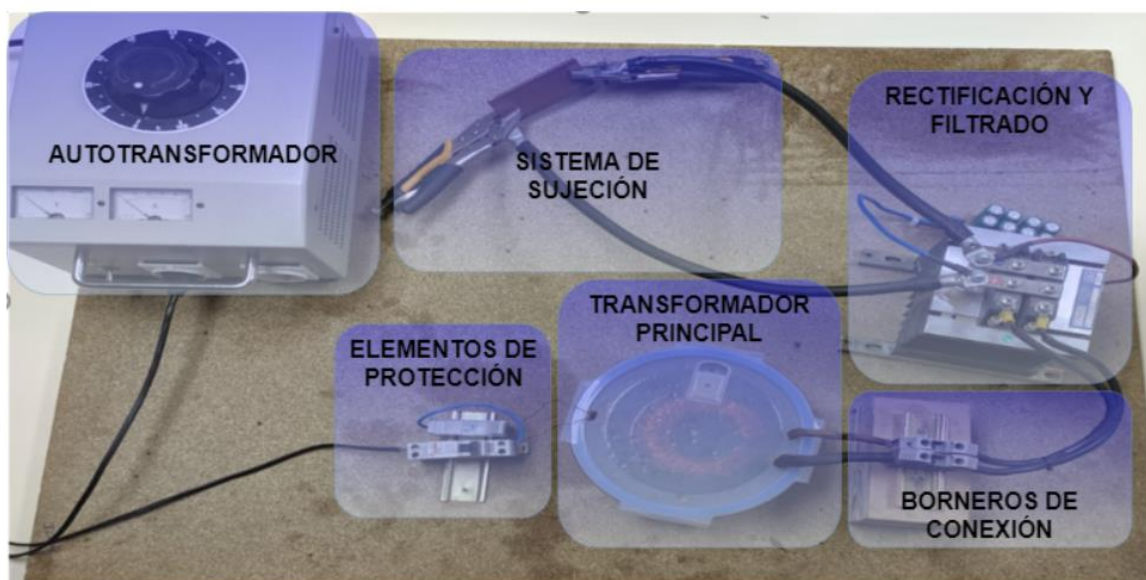


Ilustración 52 (Montaje banco de ensayos)

5.3.5. Ensayos planteados

Con el banco montado, se ponen a prueba los diferentes prototipos que se habían diseñado, con el objetivo de ver cuál de ellos se comporta mejor, asegurando así el correcto funcionamiento de la batería. Para ello utilizamos una de las piezas de la batería, colocamos los insertos, y realizamos el montaje pertinente para realizar cada ensayo.



Ilustración 53 (Cajeado utilizado en la batería)

Para realizar el montaje de estos ensayos, se utilizan los siguientes componentes: la pieza de impresión 3D con los insertos, tornillos, pletinas pedidas al fabricante junto con la compra de los acumuladores, la pieza de cobre mecanizada y dimensionada en este trabajo que se utiliza en el diseño de la batería para aumentar la superficie de contacto, un refuerzo de cobre y otro de acero y grasa para contactos eléctricos.



Ilustración 54 (Material necesario para montaje)

5.3.5.1. *Unión de cobre*

En este primer ensayo se utiliza la pieza de cobre dimensionada en este trabajo que se sitúa encima de las chapas que simulan las pletinas del acumulador. Se atornilla usando los insertos, y se ejerce la misma presión en los cuatro puntos de sujeción para que el contacto se comporte bien y la distribución de la temperatura sea uniforme.

5.3.5.2. *Unión de cobre con refuerzo de cobre y acero con grasa*

En este caso, preparamos un contacto en el que se utiliza una chapa de cobre mecanizada de 0.5 mm de espesor con la forma del cajeadado del acumulador. Se insertan las chapas que simulan las pletinas quedando apoyadas sobre una superficie conductora y más rígida que la impresión 3D. Se vuelve a repetir el ensayo anterior, pero en este caso revistiendo los materiales con la grasa para contactos, esperando mejorar el comportamiento de la unión.

Por último, se añade un refuerzo de acero con el fin de ralentizar la transmisión de calor por el contacto, y además, ejercer una presión más homogénea en toda la unión. También se aplica grasa para contactos en el refuerzo de acero para asegurar que nos acercamos a un contacto ideal del 100% de la superficie en contacto.

5.3.6. *Toma de datos*

Para obtener la energía disipada en cada tipo de contacto y analizar la relación entre dicha magnitud y el aumento de temperatura que se genera en el elemento ensayado, se necesita monitorizar las siguientes magnitudes: la corriente que circula por el contacto, la caída de tensión entre los puntos de sujeción y la temperatura en el contacto.

Además, se monitorizan la temperatura del puente de diodos y del transformador con el objetivo de proteger los elementos que intervienen en el banco y evitar que se quemen por sobretemperatura.

Estos datos se agrupan en un fichero en Excel que se genera a partir de la interfaz de LabView.

Para poder realizar las mediciones de los parámetros que nos interesa medir, se utilizan los siguientes sensores.

5.3.6.1. Termopar

Durante los ensayos es necesario medir la temperatura en dos puntos, en el transformador principal y en el puente de diodos. En ningún caso se deben superar los 150 grados en ninguno de los dos elementos.

Para tomar estos datos de temperatura se utiliza un amplificador universal MAX 31856 de Adafruit, con compensación por unión fría y útil para cualquier tipo de termopar.

En nuestro caso conectamos un termopar de tipo K y nos comunicamos mediante SPI con el microcontrolador Arduino Uno. En el visualizador de puerto serie, vemos los datos de cada termopar en 2 columnas diferenciadas. Puesto que es un integrado utilizado en ambos bancos de prueba que se desarrollan en este trabajo, las características y la elección de este sensor se detallan en el apartado 5.6.2.5.3.

5.3.6.2. Sensor de temperatura por Infrarrojos

En la unión, en lugar de utilizar un termopar que necesita estar en contacto con el elemento del que se desea conocer la temperatura, se utiliza un sensor de temperatura que funciona por infrarrojos. Esta decisión se toma puesto que al tener que medir la temperatura en una zona conductora eléctricamente, el termopar hay que aislarlo, y esta acción puede repercutir en la medida de la temperatura en el contacto.

El sensor que se utiliza es el MLX90614, se trata de un chip diseñado para ser sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto a distancia. El sensor posee una etapa de amplificación y digitalización de la señal procedente de la membrana. La salida del chip es lineal y se compensa de acuerdo a las variaciones de la temperatura ambiente.[56]

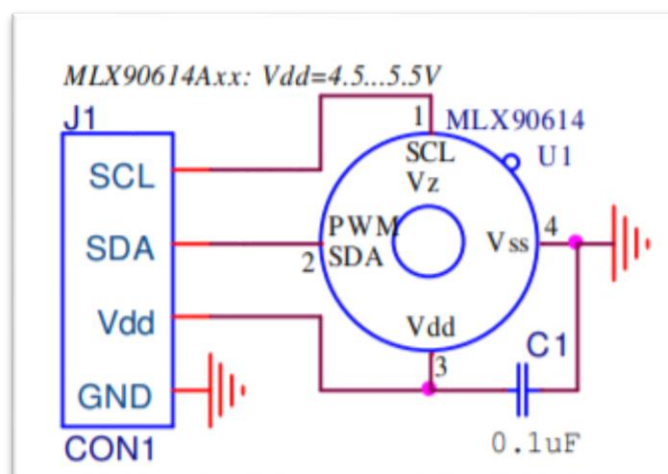


Ilustración 55 (Esquemático del MLX90614)

Este elemento integra un circuito de filtrado de ruido, un convertor A/D de 17 bits de resolución y un procesador digital de señales, su rango de trabajo es de -70°C hasta 380°C , con una precisión de 0.5°C . La comunicación con el MCU se realiza mediante el bus I2C y la conexión al Arduino es muy sencilla. Además, la programación y obtención de los valores de temperatura en objetos es muy sencilla puesto que tiene una librería publicada. Se pueden encontrar más detalles en la siguiente referencia.[57]

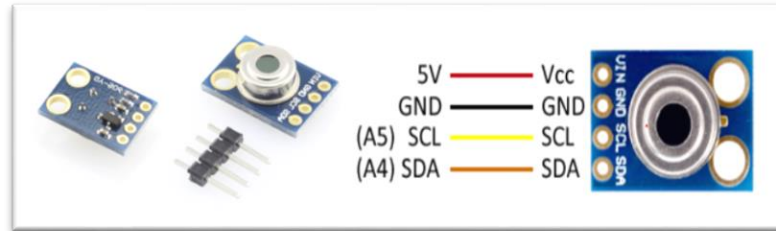


Ilustración 56 (Conexión del Módulo MLX90614)

5.3.6.3. Corriente y Tensión

Para poder monitorizar la corriente que circula por la unión que se esté ensayando, se utiliza el sensor de efecto hall HTFS 400-P / SP2 explicado con más detalle en el apartado 5.6.2.5.1.

Para tomar la diferencia de tensión entre los dos puntos de agarre del contacto, utilizamos un convertor analógico digital ADS1115 explicado con más detalle en el apartado 5.6.2.5.2.

5.3.6.4. Cámara termográfica

Además de los instrumentos mencionados, se utiliza la cámara termo-gráfica disponible en la escuela, para poder tomar imágenes del contacto y analizar el correcto comportamiento de la unión, facilitando la interpretación de los datos. Se trata del modelo Testo 882, puede tomar imágenes termográficas nítidas, guardarlas de forma simultánea y enfocar de forma manual o automática.



Ilustración 57 (Cámara termográfica Testo 882)

Desarrollo

Según indica el fabricante, las cámaras termográficas Testo permiten la evaluación del estado de calentamiento en instalaciones de baja, media y alta tensión. Las imágenes termográficas facilitan la detección temprana de piezas constructivas o conexiones defectuosas, de manera que se pueden iniciar las medidas preventivas necesarias. La termografía minimiza de esta manera los riesgos de incendio y evita costosos tiempos de inactividad de la producción.[58]

En el desarrollo del sistema, gracias a la toma de capturas en diferentes puntos del banco durante la primera puesta en marcha, se observa en la Ilustración 58, que el terminal positivo no se comporta como de forma adecuada y se calienta en exceso, afectando así de forma negativa al ensayo.

Se detecta que el bornero del cable mediante el cual se conecta a la pinza a la salida del banco de condensadores, no está bien crimpado, lo que provocaba un exceso de calor en ese punto y se transmite a la unión, imposibilitando el correcto análisis de los datos obtenidos.

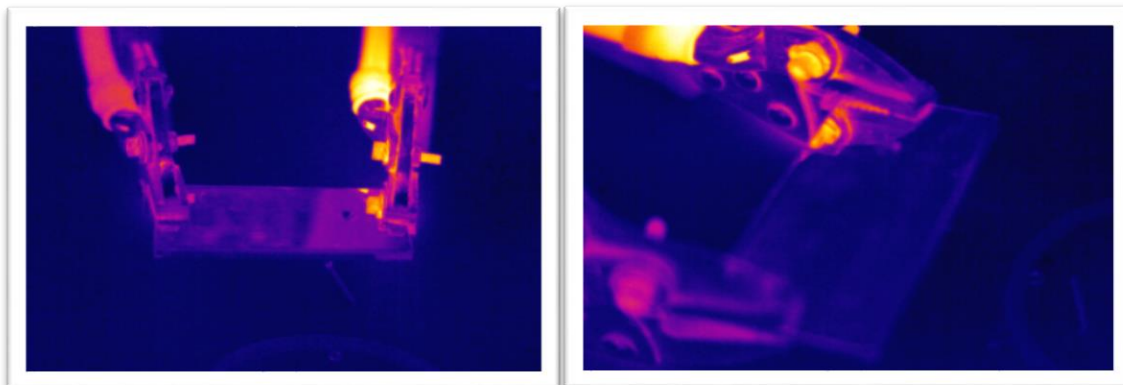


Ilustración 58 (Imágenes Termográficas del contacto con el bornero mal crimpado)

5.4. CELDAS UTILIZADAS EN LA BATERÍA

Inmersos en la competición y teniendo clara a configuración de la batería 4p26s, se eligen las celdas EPA096190SP, cuya hoja de datos se encuentra en la siguiente referencia.[59]

Estas celdas son de tipo Pouch, es decir, prismáticas y planas, en las siguientes imágenes se muestran las dimensiones indicadas por el fabricante, y una tabla de especificaciones técnicas que nos proporciona el fabricante en la hoja de datos.

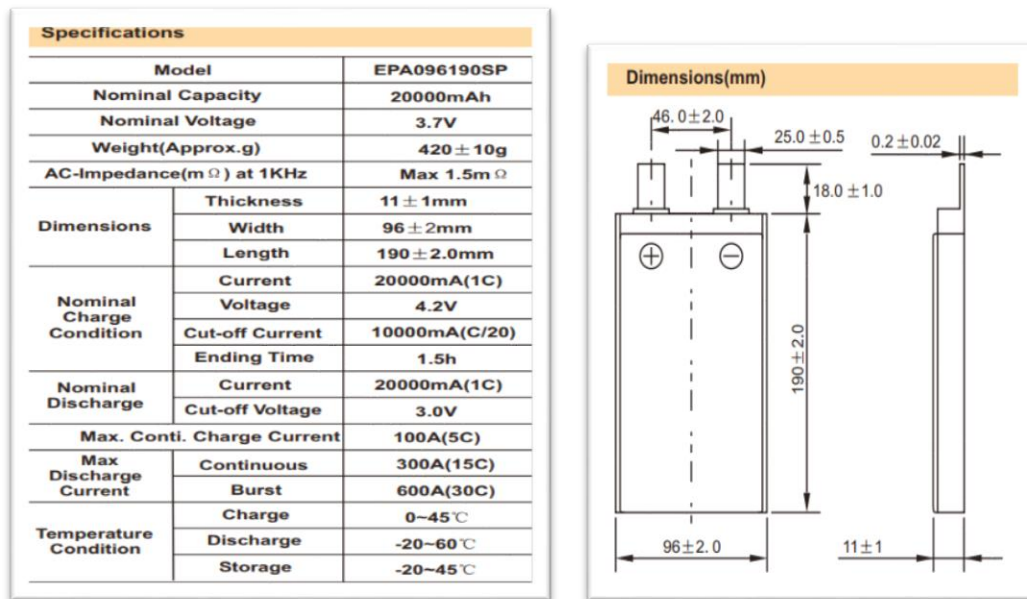


Ilustración 59 (Tabla de especificaciones y dimensiones de la celda)

Con la configuración mencionada, y conociendo los datos que nos da el fabricante, se diseña una batería con las siguientes características.

Características	
Tension y corriente de cada paralelo	4,2v, 80Ah
Capacidad_Nominal	7,696 kWh
Capacidad_Maxima	8,736 kWh
Tensión_Nominal	96,2 v
Tensión_Maxima	109,2 v
Maxima corriente de carga	400 A
Maxima corriente continua de descarga	1200 A
Maxima corriente pico de descarga	2400 A

Ilustración 60 (Características de la batería)

5.5. NECESIDAD DE ENSAYAR LAS CELDAS

Cuando se comienza a diseñar y dimensionar la batería, surge la necesidad de verificar que los datos que nos indica el fabricante son correctos, y que la celda se comportará de la forma adecuada durante la competición. Para ello, se plantea realizar un banco de pruebas, donde mediante una fuente de alimentación y una carga resistiva se pueda someter la celda a una carga y descarga profunda estudiando su comportamiento y obteniendo un certero análisis sobre las celdas. A continuación, se procede a detallar el diseño completo del banco de pruebas planteado. Vista la necesidad se plantean los siguientes objetivos con los que debe cumplir el sistema desarrollado.

Desarrollo

- Capacidad de cargar y descargar la celda al menos a 0.5C
- Tener un modo manual y otro automático para realizar ensayos
- Disponer de una interfaz de usuario intuitiva
- Obtener y mostrar datos a tiempo real
- Calcular con precisión el SOC a tiempo real
- Guardado de datos en un fichero Excel.xls

5.6. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA CELDAS

En los siguientes apartados se muestra el desarrollo que se ha seguido para diseñar el banco de pruebas para caracterizar las celdas de Litio Polímero. Destacar que al no disponer de un cargador comercial para realizar la fase de la carga ni de una carga electrónica programable puesto que son de precios elevados

5.6.1. Diagrama de bloques

Como se indica en el diagrama de bloques en la Ilustración 61, el banco consta de tres elementos principales: Una celda de Litio Polímero, unas resistencias de potencia para poder realizar la descarga y una fuente de alimentación para poder cargar el acumulador.

Además, se cuenta con varios sensores que interactúan con el banco de ensayos con el objetivo de monitorizar y guardar los datos para poder obtener resultados, representarlos y mostrarlos a tiempo real en la interfaz de usuario y la app Data Dashboard. Un sensor de corriente de efecto hall, un convertidor analógico digital capaz de realizar la lectura en modo diferencial, y cinco termopares para medir las temperaturas en diferentes puntos.

También se dispone de tres relés que mediante una etapa de control están controlados por el MCU, permitiendo así la automatización del banco.

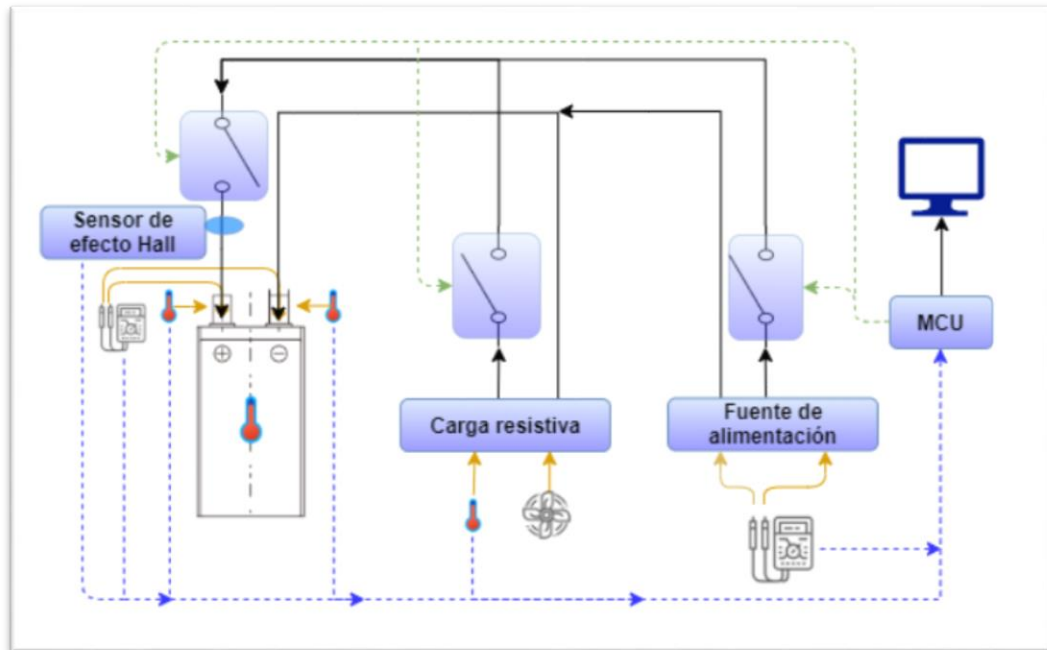


Ilustración 61 (Diagrama de bloques - Banco de pruebas para Acumulador)

5.6.2. Componentes del banco

En el siguiente apartado se pretende analizar cada componente que forma parte del banco de pruebas para caracterizar baterías y explicar cuál es su funcionalidad.

5.6.2.1. Celda

Como se indica en el apartado 5.4. la celda que se utiliza en el diseño de la batería y por tanto para realizar los ensayos, es el modelo EPA096190SP. Con el objetivo de realizar los ensayos sin que la celda sufra esfuerzos mecánicos en las pletinas, la disponemos en una superficie rígida de forma que su movimiento quede limitado.

Para ello limitamos su movimiento mediante unas chapas. Además, para no actuar directamente sobre las pletinas, se fabrican 2 "busbar" en forma de L sobre las que se conectan todos los elementos que necesiten interactuar con el acumulador, de esta forma se evita la rotura de la pletina. Se consigue una unión robusta sobre la que trabajar, sin miedo a que la pletina se rompa. Para mejorar la conductividad se añade la gras para contactos utilizada en el método de unión que se ensaya en este trabajo.



Ilustración 62 (Celda utilizada en los ensayos)

5.6.2.2. Resistencias de potencia

Lo ideal para poder obtener datos precisos, es realizar una descarga a corriente constante, para ello se estudian en los antecedentes de este trabajo, diferentes modelos de fuentes electrónicas programables, que consiguen mantener la corriente de descarga constante. Puesto que son herramientas de gran precisión con un precio económico demasiado elevado, para poder descargar la celda y desarrollar el trabajo, se utiliza una carga resistiva.

Se compran las resistencias de potencia HS50 R39 J ARCOL, están diseñadas para montar sobre disipadores térmicos, y lograr su máximo rendimiento. Según su hoja de datos, [60], no se deben superar los 200°C.

Como se puede observar en la siguiente imagen la elección tomada disipa 50 Watts a unos 150 grados.

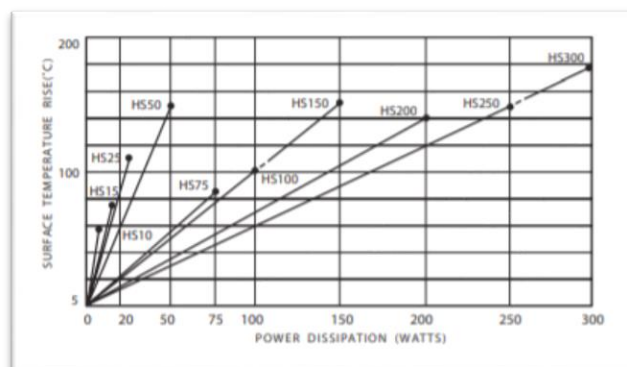


Ilustración 63 (Relación de capacidad de disipación y temperatura)

Las resistencias que escogidas son de 390mOhms por lo por la ley de ohm, calculamos cuanto corriente circularía por la resistencia.

$$\frac{V}{R} = I = \frac{4.2}{0.39} = 10.76 = I$$

Poniendo esta resistencia, se puede realizar la descarga a 0.538C cumpliendo el mínimo del objetivo planteado para el banco. También se pueden estimar cuantos watts tendría que disipar esta única resistencia.

$$P = R * I^2 = 0.39 * 10.76^2 = 45.15 \text{ Watts}$$

Para poder aumentar la tasa de descarga y poder realizar ensayos de más amperaje, se disponen cuatro resistencias en paralelo.

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \dots}$$

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{0.39} * 4} = 0.0975 = Req$$

Como todas están a la misma tensión, se comportan igual que la resistencia original de 0.39 ohm, es decir, aunque se paralelicen, cada una de las resistencias tendrá que disipar 45.15 Watts. La diferencia es que, por la ley de nodos de Kirchhoff, la intensidad consumida en la batería será 4 veces mayor.

$$\frac{V}{R} = I = \frac{4.2}{0.0975} = 43.075 = I$$

Habiendo aumentado la corriente consumida en el acumulador, su de descarga aumenta de forma proporcional permitiendo hacer ensayos a 2.15C, es decir, 0.538C*4.

En el caso de que se quiera consumir esa corriente de la batería con una resistencia de 0.09 ohm, tendría que disipar mucha energía.

$$P = R * I^2 = 0.09 * 43.075^2 = 166.99 \text{ Watts}$$

Esta opción se descarta puesto que el fabricante indica que es capaz de disipar un máximo de 50 Watts a 150°C, siendo el máximo de temperatura que puede alcanzar 200°C.

Antes de confirmar la paralización de las 4 resistencias, se realiza la última comprobación, consiste en tener en cuenta la tolerancia del valor óhmico de la resistencia para el caso más desfavorable donde comenzaría a circular más corriente y habría que disipar más energía.

Desarrollo

Teniendo en cuenta el 10% de tolerancia indicado por el fabricante en su hoja de datos, nos queda una resistencia de 0.351 ohm. Se recalcula la potencia que van a tener que disipar.

$$\frac{V}{R} = I = \frac{4.2}{0.351} = \mathbf{11.96 = I}$$

$$P = R * I^2 = 0.351 * 11.96^2 = \mathbf{50.207 Watts}$$

Como se ha indicado anteriormente, con la energía que tiene que disipar cada una de ellas, alcanzan unos 150°C. Por lo que se considera que según los valores que se indican en la hoja de datos, con esta configuración se pueden realizar ensayos a 2.15C, es decir, a 43.075 amperios.

Habiendo realizado los cálculos pertinentes, se compran las resistencias, y se paralelizan. Para ello se quita la envoltura del cable, conociendo que a esas temperaturas podría llegar a quemarse y se sueldan las resistencias en paralelo como se muestra en la Ilustración 64, además, en el extremo se añaden 2 fichas para unir esta resistencia equivalente al sistema y poder utilizarlas para descargar el acumulador.

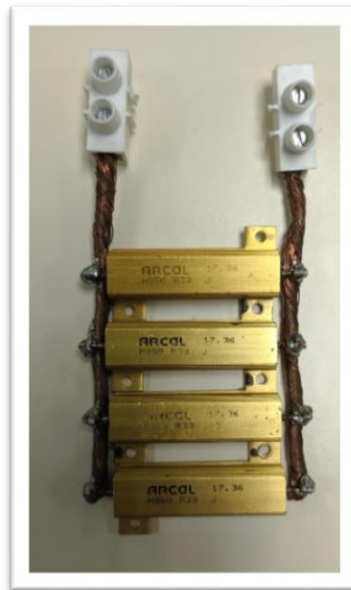


Ilustración 64 (Resistencias de potencia ARCOL HS50 R39)

El uso de las resistencias en la aplicación para las que ha sido dimensionadas, pueden alcanzar temperaturas muy elevadas. Por ello, con el objetivo de mantener una temperatura en la que las sigan funcionando correctamente sin quemarse, se montan las resistencias sobre un disipador de aluminio que se obtiene de otro componente eléctrico en el laboratorio de la escuela.

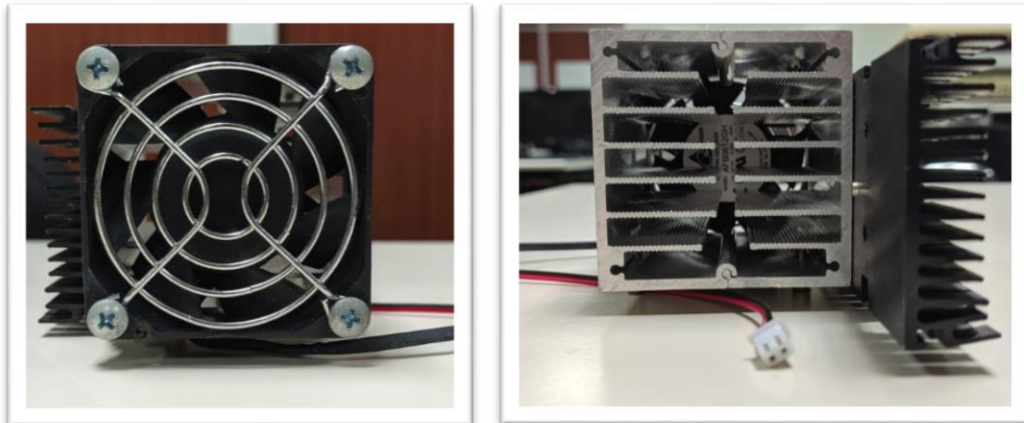


Ilustración 65 (Disipador con ventilador)

Se adapta el disipador como se muestra en la Ilustración 65, se marca con una punta donde realizar los agujeros, en el taladro de columna del taller se procede a agujerear el disipador en los puntos en los que se atornillan las resistencias. Se pasa el macho de roscar puesto que la inserción de una tuerca por debajo es muy complicada y el espesor es suficiente como para que el tornillo amarre bien.

Además, se aplica pasta térmica con el objetivo de aumentar la superficie de contacto con las resistencias y mejorar la conductividad térmica de las mismas. El disipador trae incorporado un ventilador que se alimenta a 12 voltios, por lo que se utiliza para refrigerar aún mejor la carga resistiva en el proceso de descarga. El control del mismo se lleva a cabo mediante un pin digital del MCU, en este caso el mismo que activa el relé que cierra el circuito con las resistencias para iniciar la descarga.

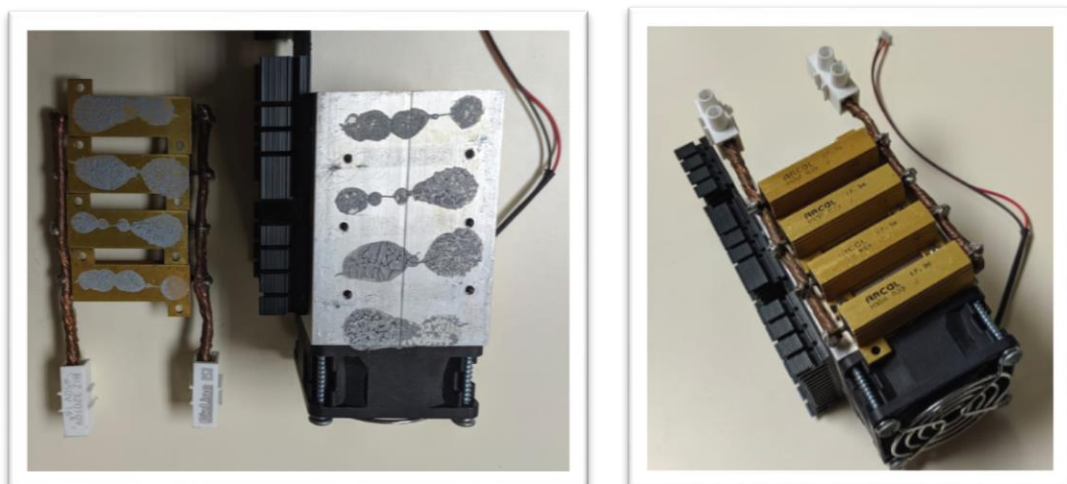


Ilustración 66 (Las resistencias montadas sobre el disipador con pasta térmica)

5.6.2.3. Cargador (Fuente de alimentación modificada)

Para poder realizar la carga de la batería, al no disponer de recursos económicos para comprar una fuente de alimentación de corriente constante de mucha potencia regulable, se utiliza la fuente de la marca Mean Well en concreto el modelo SE-350-5. cuya hoja de datos se encuentra en la siguiente referencia.[61]

Para construir un cargador, se modifica el lazo de realimentación en tensión y en corriente. Pudiendo modificar mediante software y un relé el "setting" de tensión. Al inicio de la carga se dispone la fuente en una tensión más elevada, con el objetivo de hacer circular más corriente. Al llegar a la última fase, se disminuye la tensión quedando así más cerca del target para que la corriente que circula por el mismo sea menor y la batería no sufra daños. Se modifica el lazo de realimentación de tensión indicado en el recuadro azul, y el de corriente indicado en el recuadro naranja.

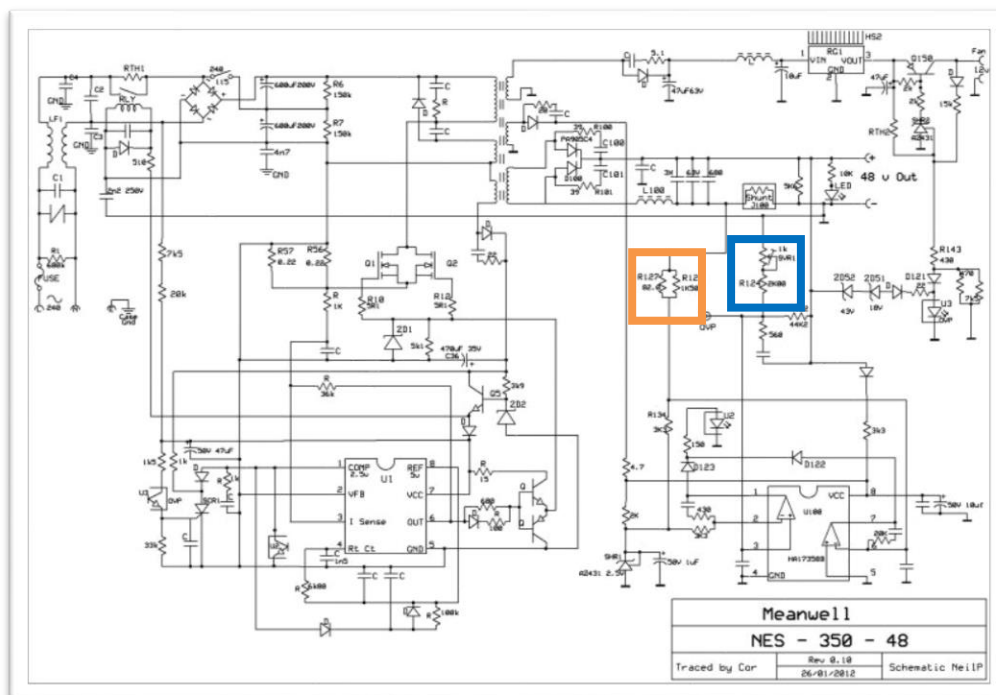


Ilustración 67 (Esquema de la modificación de realimentaciones)

Para el lazo de realimentación de tensión se quita el potenciómetro, y la resistencia R137 y R 124, sin embargo, para el lazo de realimentación de corriente es necesario modificar la R127. Para poder tener la tensión y la corriente regulada, un miembro del equipo diseña una PCB que se muestra a continuación.



Ilustración 68 (Placa para el control de la fuente por MCU)

En esta placa se dispone de un relé de dos posiciones que al modificar de posición dicho elemento, la salida de la fuente de alimentación varía. En función de un ajuste que se realiza mediante los potenciómetros, cuyo valor se modifica manualmente, la fuente de alimentación tiene a la salida una tensión diferente.

Para realizar el ajuste de los potenciómetros y dejar la fuente lista para conectar, se siguen los siguientes pasos:

- Se busca una fuente que funcione y se verifica que la modificación es correcta. Se retira el potenciómetro y la resistencia R128, se sustituyen por cables que se trenzan y se conectan a un conector molex.
- Se realiza un pequeño programa en Arduino con el objetivo de modificar la posición del relé. Para ello se alimenta a 12V y se conecta un pin digital que cambie de estado en función de la orden que se introduzca en el puerto serie.
- Se conecta la placa a la fuente, y para ajustar la salida en las dos posiciones del relé, se conecta la carga resistiva usada para la descarga. Así, se tiene en cuenta la caída de voltaje aproximado a la que se verá sometido el sistema.
- Con todo conectado, se dispone el relé en una de las posiciones y se ajusta el valor de los potenciómetros hasta tener a la salida de la fuente, una tensión de 4.2, que será el modo seguro de carga.
- Una vez realizado este primer ajuste, se cambia el relé a su segunda posición y se procede a encontrar el valor de los potenciómetros con el objetivo de que a la salida se obtenga una tensión de 4.6v que será el modo rápido de carga.

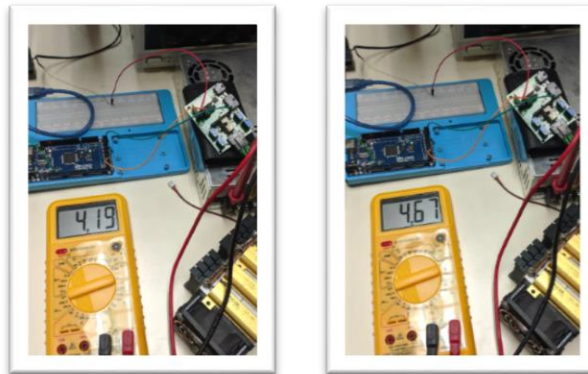


Ilustración 69 (Salida de la fuente de alimentación en las dos posiciones del relé)

5.6.2.4. Relés

Para poder automatizar el banco de pruebas y realizar el control y automatización del sistema, se utilizan tres relés de dos posiciones. Por los amperios que van a circular por los relés, teniendo en cuenta ambas fases, la de carga y descarga, se sobredimensiona, y se decide utilizar un relé que soporte al menos 100 amperios.

Encontramos los relés que cumplen las especificaciones mínimas. Son de la marca Durakool, en concreto escogemos el modelo DG85D-7021-76-1012-DR, soporta 100 amperios y conmuta a 12v y 0.5A. Su hoja de datos la encontramos en la siguiente referencia. [62]



Ilustración 70 (Relé escogido)

Para poder hacer conmutar los 3 relés y el ventilador del disipador de las resistencias, se dispone de un adaptador AC de un router cuya salida es de 12V y 2A. Teniendo en cuenta que se consumen 0.5 amperios para el ventilador que se sitúa en el disipador de la carga resistiva, el consumo que queda para activar los relés es de 1.5A, es decir, 0.5A por cada uno de ellos.

Se disponen de la siguiente forma: se conecta a uno de los terminales de las resistencias, otro a la salida positiva de la fuente y en el tercero se unen las salidas de los dos relés anteriores. Para poder controlar la computación del relé desde un microcontrolador se realiza la siguiente etapa de control con la siguiente conexión eléctrica.

En la Ilustración 71 se observa cómo realizar la conexión entre el pin digital de microcontrolador y el sistema, mediante el uso de un pin digital, un transistor, la alimentación y el relé.

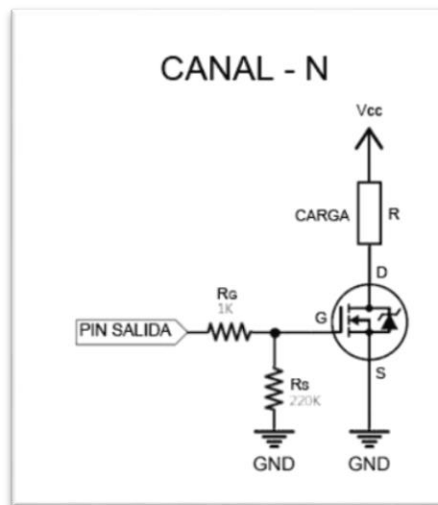


Ilustración 71 (Etapa de control para un transistor de tipo N)

Los transistores escogidos, son el modelo MOSFET IRFZ44N de canal N y son capaces de soportar los amperios de alimentación de los relés. Teniendo en cuenta el pinout del transistor escogido, y la configuración que se muestra, se prepara una etapa de control para cada uno de los relés y otro para el ventilador. Se montan en una placa de pruebas los transistores y los elementos que completan el esquema. En la siguiente referencia, se encuentra la hoja de datos de los transistores. [63]

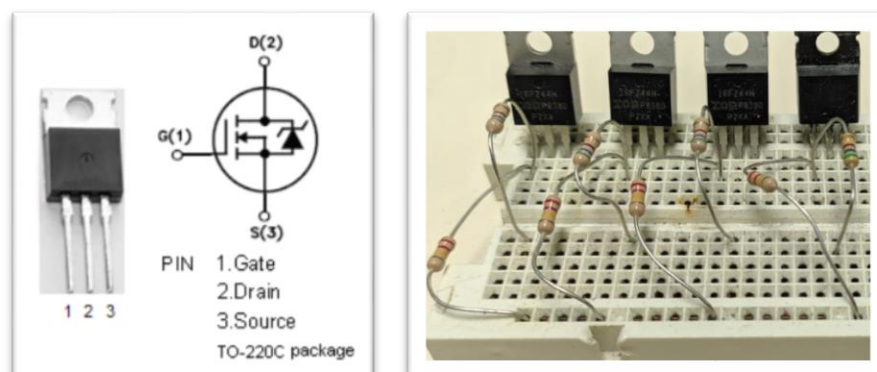


Ilustración 72 (PinOut y etapa de control utilizada)

Desarrollo

Teniendo cada relé con su etapa de control, y un pin digital asignado en el microcontrolador se pueden realizar las siguientes acciones:

Activar/Desactivar el relé 1 y por consiguiente en una de las posiciones, cerrar el circuito con las resistencias por lo que comienza la descarga del acumulador o en la posición contraria del relé, dejando el circuito abierto con las resistencias liberadas.

Activar/Desactivar el relé 2 y por consiguiente en una de las posiciones, cerrar el circuito con la fuente de alimentación por lo que comienza la carga del acumulador o en la posición contraria del relé, dejando el circuito abierto con la fuente de alimentación liberada.

Activar/Desactivar el relé 3 y por consiguiente cerrar o abrir el circuito por completo, permitiendo la carga o descarga y actuando de relé de seguridad para detener los ensayos en caso de superar las alertas establecidas por el usuario.

5.6.2.5. Sensores

Para poder tomar los valores a tiempo real de la corriente, tensión y temperatura, se utilizan los sensores que se detallan en los siguientes apartados. Para la elección de estos sensores se tiene en cuenta, sobre todo, el rango, la resolución y la velocidad de adquisición de los mismos.

5.6.2.5.1. Corriente

Para medir la corriente que se extrae o suministra durante los procesos de carga y descarga, se utiliza el sensor de corriente de efecto hall HTFS 400-P / SP2. Puede leer hasta 400 amperios y tiene 4 pines de fijación para PCB. Este sensor consume 22mA por lo que se puede alimentar mediante el microcontrolador escogido. Su hoja de datos se encuentra en la siguiente referencia.[64]

Este sensor, tienen una tensión de referencia, en la que el fabricante dice que a 2,5V el valor de la corriente que circula por el mismo es de 0A. Con esta función de transferencia, se consigue una lectura diferencial entre dos puntos pudiendo medir corrientes negativas y positivas.

La placa que se muestra a continuación está diseñada por un miembro del equipo. Para poder realizar una lectura digital de este sensor, se asocia a un ADC, en concreto el MCP3421, un conversor analógico digital que se comunica por I2C y tiene 18 bits de resolución y es capaz de realizar 3.75SPS. Este chip gracias a que incluye un PGA internamente, permite prefijar una ganancia en la lectura de la corriente. Mediante este conversor analógico digital se obtienen 0V a 0A.

En la ilustración 73 se puede observar el esquema de la placa desarrollada. Los condensadores C1, C2, C3 y C4 son requeridos e indicados por el fabricante en su esquema eléctrico, C5 y C6 son añadidos de forma opcional para filtrar mejor. Por último, el C7 es el condensador de desacoplo. Las resistencias R3 y R4 son las utilizadas para el Pull-Up del I2C

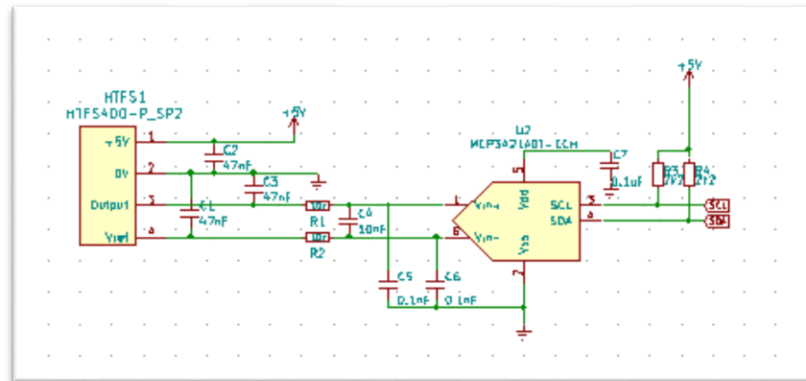


Ilustración 73 (Esquema eléctrico del convertor del sensor de efecto hall)

Se monta una unidad sobre la placa diseñada y se sueldan todos los componentes que interactúan con el sensor. Como se observa en la Ilustración 74 la PCB lleva un agujero por donde se pasa el cable en el cual se mide la corriente que circula por el mismo. Esta placa tiene dimensiones aproximadas a las de una tarjeta de crédito

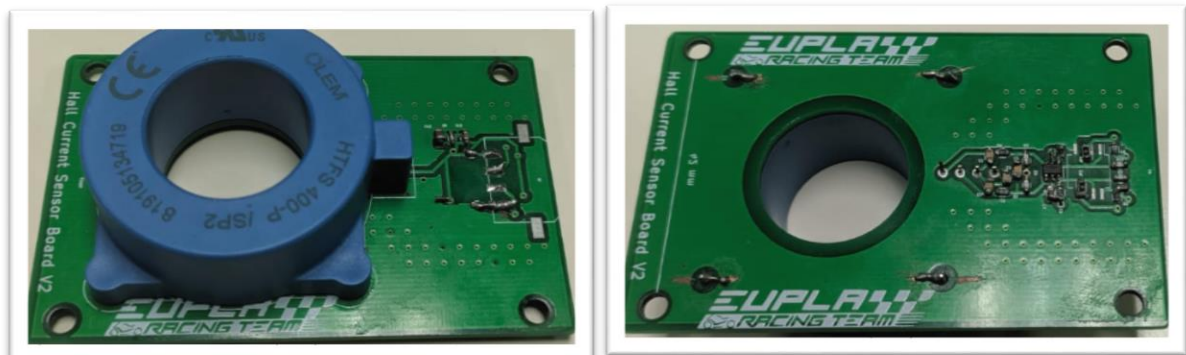


Ilustración 74 (PCB - Sensor de efecto hall)

Para poder comprobar la correcta calibración y la correcta representación de datos, se pasa un cable por el sensor de efecto hall y se conecta a una fuente de alimentación DC. Se cortocircuita obteniendo así a la salida tres amperios.

Para analizar el correcto funcionamiento de la placa, y calibrar el sensor, se crea un código en Arduino para poder hacer la lectura de la corriente. Para ello se utiliza la

Desarrollo

librería del integrado que se encuentra publica en internet y se adapta al sistema desarrollado. [65]

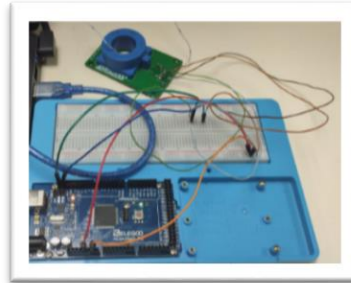


Ilustración 75 (Conexión para calibrar el sensor de efecto hall)

Una vez se valida que tanto el sensor como el indicador de corriente de la fuente indican el mismo valor, se desconecta y se dan vueltas con el cable sobre el sensor formando una especie de bobina, aumentando así el número de vueltas, generando un factor multiplicativo, con el objetivo de “engañar” al sensor y tener una lectura de un amperaje más elevado. Se dan cinco vueltas al cable multiplicando el valor de la corriente que circula por el interior del sensor. Teniendo que marcar esta vez 15 amperios.



Ilustración 76 (Calibrado del sensor de efecto hall)

Como se indica anteriormente, la comunicación del sensor de efecto hall al microcontrolador se realiza mediante I2C. En la placa se dispone de una huella donde se puede soldar un conector de 4 pines Molex-Microfit 3.0 43650-0412. Dos de ellos son de alimentación, Vcc y GND, y los otros dos para la comunicación I2C, SCL y SDA.

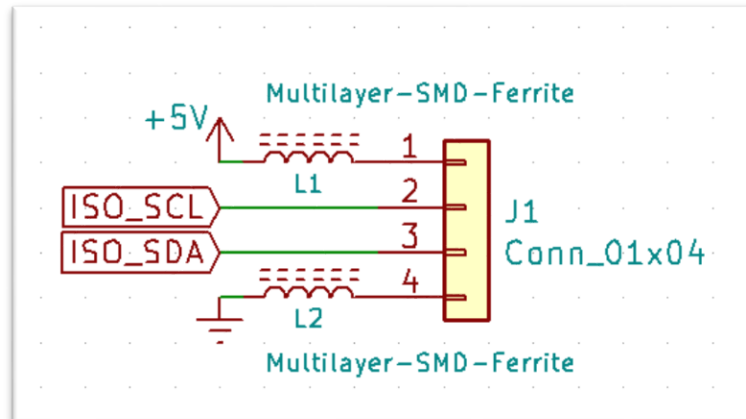


Ilustración 77 (Pines de salida del sensor de efecto hall)

Una vez conectado el sensor de efecto hall al sistema, se verifica mediante un equipo profesional de precisión de la marca Fluke que la lectura obtenida en el sensor es correcta y precisa. Este paso es muy importante puesto que el cálculo realizado del estado de carga depende de la precisión de esta magnitud.

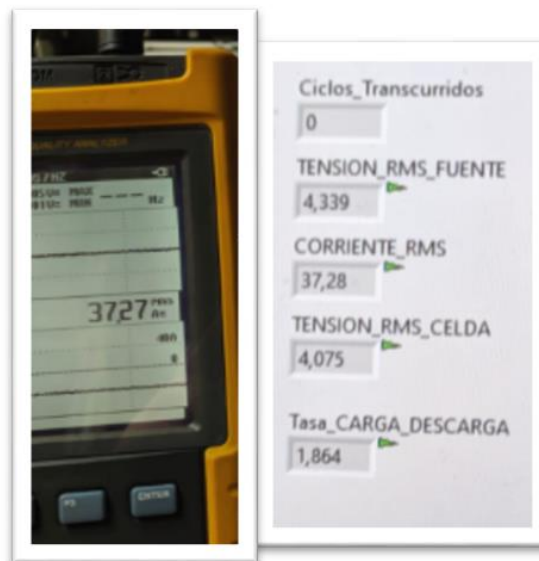


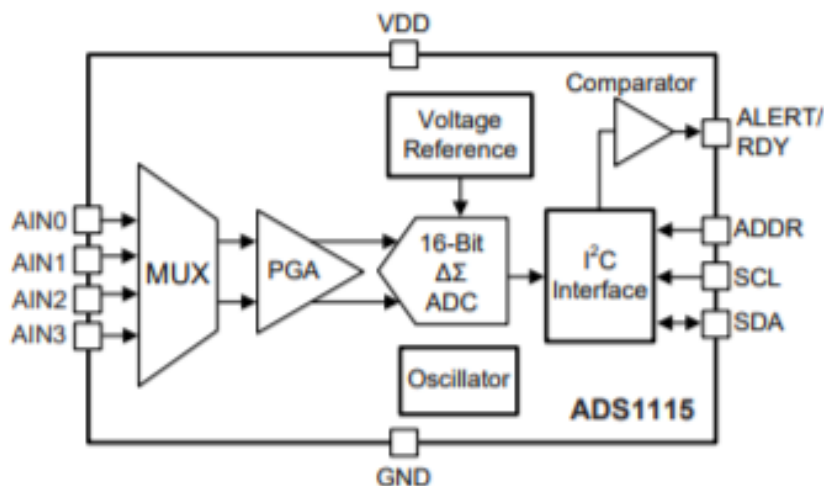
Ilustración 78 (Verificación mediante equipo de precisión)

Como se puede observar en la imagen, el error que tenemos en la calibración del sensor de efecto hall es de 10 miliamperios, es el ajuste fino que se ha podido alcanzar puesto que al realizar pruebas de calibración se descubre que el sensor tiene una histéresis que depende del sentido de la corriente, por lo que se calibra mediante software para que en la carga y descarga podamos tener el menor error posible.

5.6.2.5.2. Tensión

Para poder tomar los datos de la tensión tanto de la celda como de la fuente de alimentación que se utiliza para cargar el acumulador, se escoge un conversor analógico digital ADC 1115 teniendo un rango de medida de -40°C a 125°C . Se puede alimentar en un rango de 2V a 5.5V y tiene un bajísimo consumo de 150uA.

Este chip es compatible con el bus de I2C y tiene una resolución de 16 bits. Contiene una referencia interna de voltaje, un oscilador, un amplificador de ganancia programable (PGA) y un comparador digital para detectar subvoltaje y sobrevoltaje. A continuación, se muestra un diagrama de bloques del chip con los elementos mencionados representados.



El ADC 1115 realiza conversiones a velocidades de hasta 860 SPS. El amplificador ofrece rangos de entrada de 256mV a 6.144V lo que permite al chip realizar mediciones precisas de señales grandes y pequeñas.

Este elemento contiene un multiplexor que permite 4 entradas simples (de un solo extremo de medición) o 2 entradas diferenciales. El conversor analógico digital puede trabajar tanto en modo continuado o medida única. [66]

Para el desarrollo del trabajo se utiliza este chip que viene montado en una placa de pruebas comercial, en concreto de la marca ADAFRUIT. Se puede encontrar la hoja de datos de este conversor montado en la placa de Adafruit en la siguiente referencia. [67]

A continuación, en la ilustración 79 se muestra el esquemático del conversor analógico digital. Se pueden observar las resistencias de Pull-Up de la línea SCL y SDA del I2C y el condensador de desacoplo en el pin Vdd.

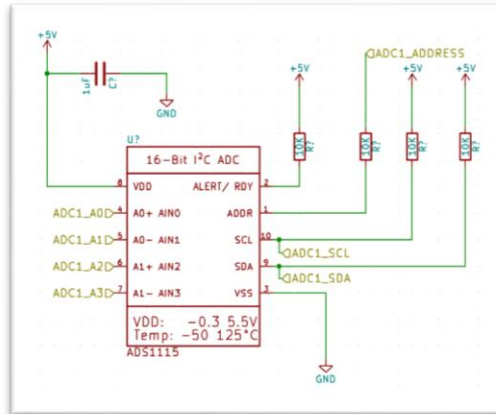


Ilustración 79 (Esquema eléctrico del módulo ADS 1115)

Este conversor, como se indica anteriormente, se comunica por I2C y dispone de cuatro direcciones, por lo que se podrían conectar hasta 4 de ellos sin que los buses datos interfirieran entre sí. Esta dirección se define mediante el pin llamado Adress. A continuación, en la ilustración 79, se muestra una conexión de cuatro módulos al Arduino Uno.

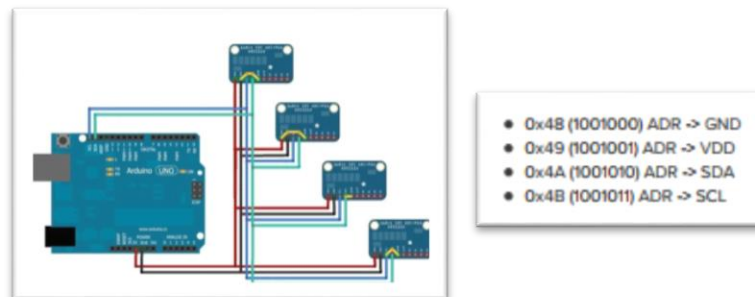


Ilustración 80 (Conexión I2C de varios módulos ADS 1115)

La conexión al microcontrolador para hacer una lectura diferencial se realizaría de la siguiente forma.

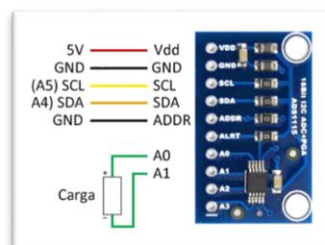


Ilustración 81 (Conexión a microcontrolador del módulo ADS 1115)

La hoja de datos del chip utilizado en este ADS 1115 de Adafruit es decir el conversor analógico digital ADC 1115 se encuentra en la siguiente referencia. [68]

5.6.2.5.3. Temperatura

Para poder realizar las tomas de temperatura usamos un amplificador universal de termopares MAX31856 de 19 bits de resolución. Puede tomar valores de -210°C a 1800°C con una resolución de 0.0078°C . Este amplificador tiene una referencia interna para realizar la compensación por unión fría, además, se puede conectar cualquier tipo de termopar (K, J, N, R, S, T, E y B), puesto que contiene un corrector lineal automático para 8 termopares diferentes. La comunicación del chip se realiza mediante SPI y la programación del mismo es muy sencilla puesto que encontramos una librería publica en internet,[69].

En este caso se utiliza un módulo comercial de Adafruit, cuyo esquemático se muestra en la Ilustración 82. La placa contiene un regulador LDO de 3,3v en concreto el MIC5225, también se puede observar que las resistencias R3 R4 y R5 forman el Pull-Up del SPI que junto a la LDO permiten la adaptación de niveles, pudiendo ser usado con prácticamente cualquier microcontrolador. Los condensadores que se muestran son de desacoplo, además el fabricante ha dispuesto en los pines de comunicación diodos de protección que inhiben la posibilidad de ser alcanzados por las señales o pulsos del exterior permitiendo así junto con las resistencias mencionadas anteriormente la adaptación de niveles de 3.3V a 5V. En la siguiente referencia podemos encontrar la hoja de datos específica del conversor Max31856. [70]

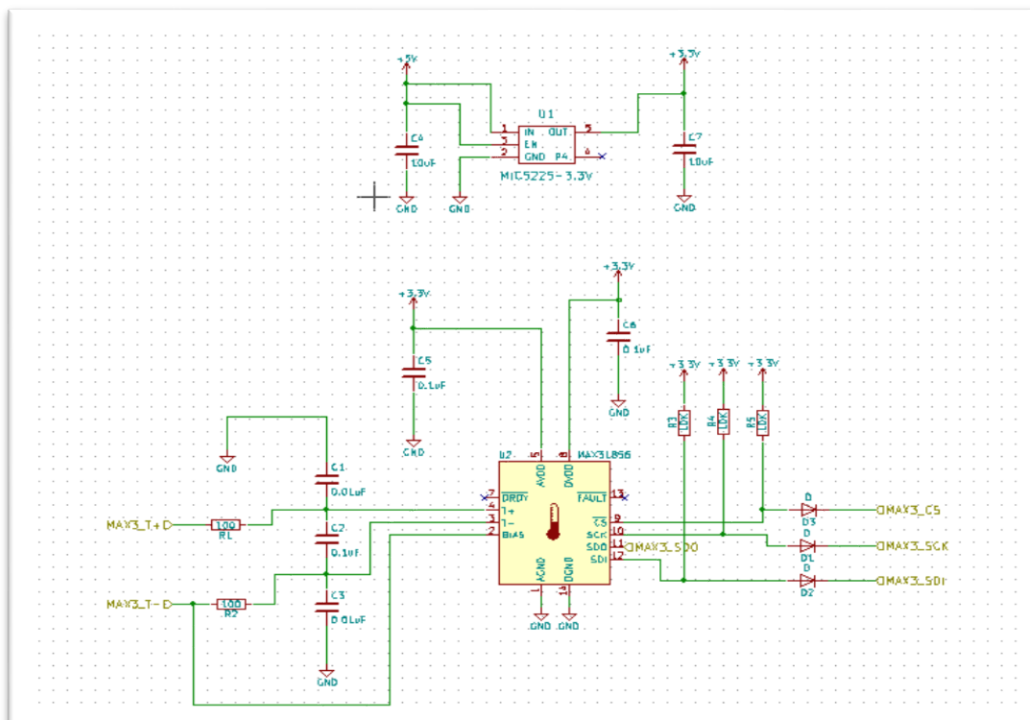


Ilustración 82 (Esquemático MAX31856)

En la siguiente imagen podemos observar el pinout de la placa. Podemos ver la hoja de datos de la placa de Adafruit en la siguiente referencia. [71]

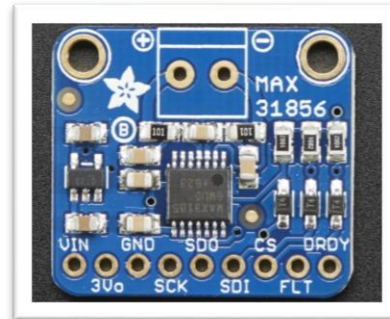


Ilustración 83 (Modulo Adafruit MAX 31856)

En el terminal de 2 pines, se conecta el termopar que en nuestro caso se usa en concreto el RS PRO tipo K, su largura de 2 metros da la posibilidad de que el amplificador esté conectado cerca del microcontrolador, afectando de la menor manera posible a la comunicación SPI, pero el punto de medida de la temperatura puede estar alejado. El modulo tiene un pin de chip select, lo que permite conectar varios módulos cambiando este pin vía software en cada uno de ellos. Encontramos la hoja de datos del termopar de tipo K en la siguiente referencia.[72]



Ilustración 84 (Termopar de 2m)

5.6.2.6. Microcontrolador

El microcontrolador utilizado es un Arduino MEGA, de esta forma se dispone de suficientes pines digitales para poder realizar la lectura de todos los sensores. Además, se pueden utilizar dichos pines del MCU para realizar las etapas de control para los relés.

La alimentación del Arduino se facilita desde el puerto USB del ordenador que se utiliza para controlar el sistema, puesto que este estará conectado durante todo el

Desarrollo

ensayo, con la interfaz de usuario en funcionamiento, mostrando a tiempo real los valores de los sensores que registra el microcontrolador.

Se atornilla sobre una base donde tiene incorporada una placa de pruebas, facilitando de esta forma las conexiones entre el Arduino y los módulos que se utilizan.

5.6.1. Montaje del banco de pruebas

Se dispone de una superficie rígida donde colocar todos los elementos conectados y se deja un espacio vacío para poder situar el PC que se quiera utilizar con la interfaz de usuario instalada. De esta forma cualquier alumno o profesor de la universidad, puede utilizar el banco de pruebas y realizar ensayos.

Además, se puede transportar el sistema entero sin necesidad que desmontarlo por partes para trasladarlo. Al tratarse de un primer diseño, se decide realizar el cableado con cables puente para placas prototipo y Arduino. Se compra un soporte donde atornillar el Arduino MEGA para que se quede fijado en una posición. Para el cableado de mayor sección se utilizan borneros o terminales adecuados para cada caso, y se sujetan con unas pinzas de goma a los terminales en forma de L que tiene el acumulador. En la siguiente imagen se muestra como queda el montaje del banco de pruebas con todos los elementos conectados.

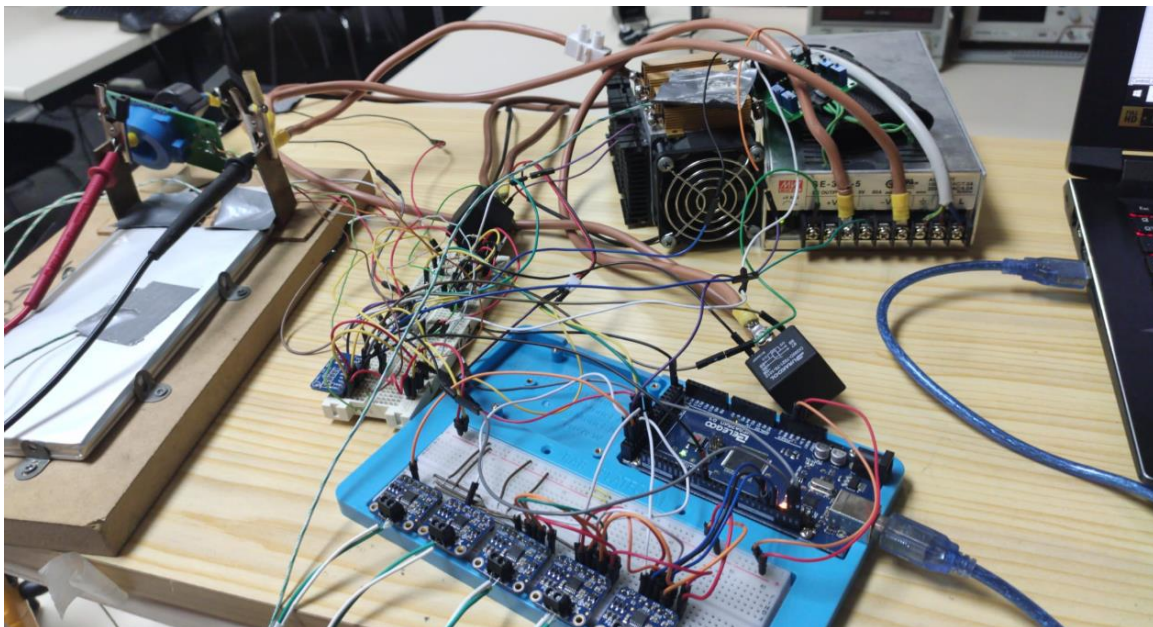


Ilustración 85 (Montaje del banco de pruebas para celdas)

5.6.2. Software

El código que se implementa en el microcontrolador, realiza la lectura de los sensores de temperatura, tensión y corriente. Para ello se incluyen todas las librerías utilizadas. En primer lugar, se definen las características de set-up de cada módulo, así como la ganancia, multiplexor, parámetros de comunicación SPI e I2C.

Una vez capturados los datos, se hace el tratamiento respectivo para poder pasarlos después a la interfaz de usuario, donde realizan los cálculos del estado de carga para cada caso, y se representan todas las magnitudes a tiempo real.

La frecuencia de muestreo a la que se desarrolla el sistema es de 100Hz, es decir 100 muestras por segundo, sin embargo, se adapta el código para tener 10 muestras por segundo a la salida, puesto que se considera que esta tasa de muestreo es suficiente para el sistema desarrollado y se pueden seguir detectando irregularidades sin mayor problema. Además, mediante los pines digitales del Arduino, se controlan los relés del banco de pruebas y la señalización dispuesta mediante diodos LED para las alertas de sobretensión y sobrecorriente. A continuación, se muestra un diagrama de flujo que muestra el funcionamiento del código.

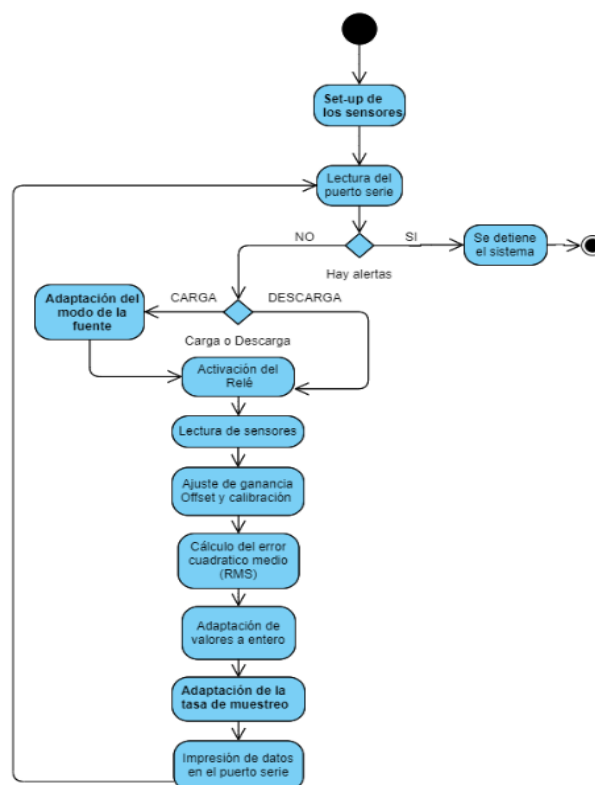


Ilustración 86 (UML - Código Arduino)

5.6.3. Interfaz de usuario

Para facilitar el uso del banco de pruebas, se diseña una interfaz gráfica en la que pueden interactuar los usuarios. Se pueden configurar parámetros del acumulador que se desea ensayar, dichos valores se utilizan como límites que establece el usuario que interactúan para automatizar el banco, además, contribuyen en el cálculo del estado de carga. Todos ellos se visualizan a tiempo real en el entorno gráfico. También habrá una pestaña donde se verán las gráficas de carga y descarga que se irán representando mientras transcurre el ensayo. A continuación, se muestra el diagrama de flujo del sistema automatizado

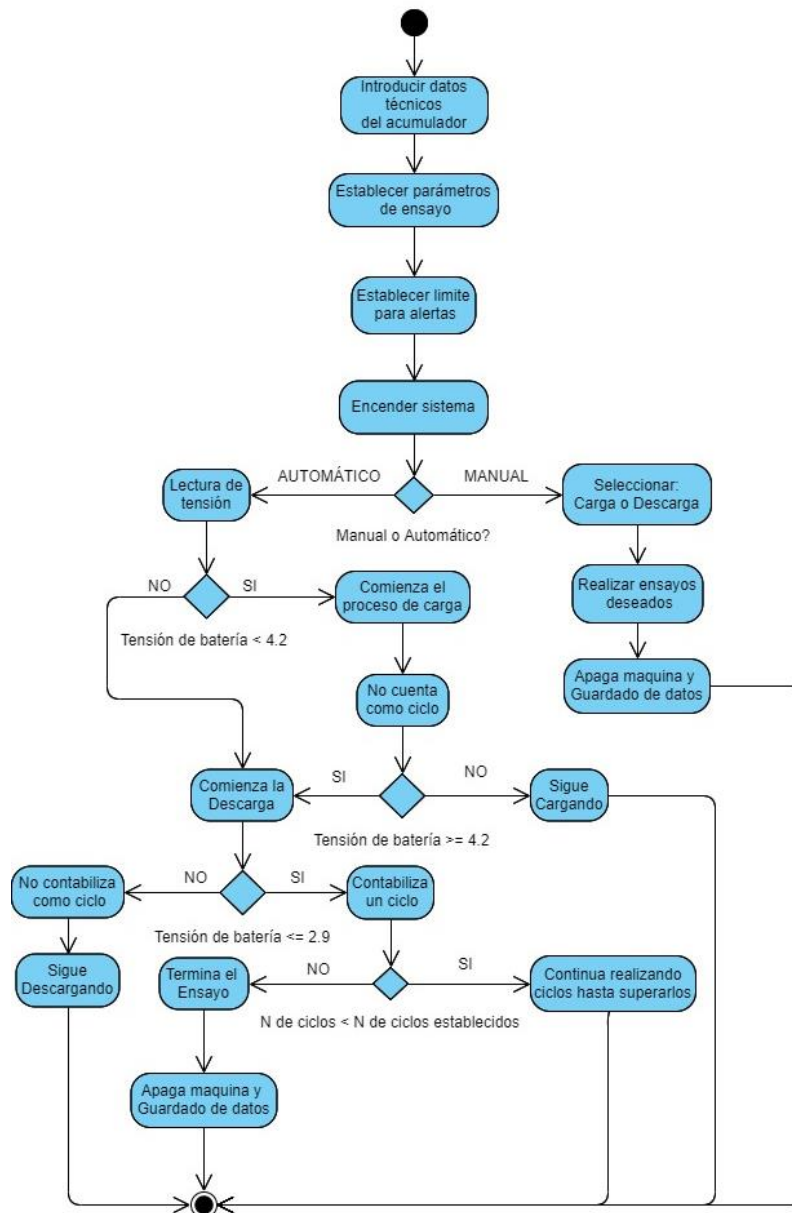


Ilustración 87 (Diagrama de actividad de la Interfaz)

5.6.3.1. Entorno general

En la ventana frontal se observa el entorno con el que se encuentra el usuario del banco cuando abre la interfaz y quiere realizar un ensayo

5.6.3.1.1. Pantalla principal y pestaña de control

Se disponen de 5 pestañas donde se reflejan diferentes ventanas de visualización o actuación sobre el banco. Además, se sitúan elementos fijos que se mantienen visibles en todo momento independientemente de la pestaña en la que se encuentre el usuario. Las alertas y los datos de tensión y corriente del acumulador y la fuente de alimentación se mantienen todo el rato a la vista.



Ilustración 88 (Pantalla principal y Pestaña de control)

En la imagen anterior, también se observa la pestaña de control, donde encontramos los pulsadores: Marcha/Paro que permite encender la máquina, reset de ciclos realizados, pulsador para forzar el modo seguro de la fuente a 4,2V y un último pulsador para apagar la máquina y forzar el guardado de datos en cualquier punto del ensayo, sin tener que ser necesario esperar a que termine.

También dispone de dos interruptores que permiten cambiar el modo automático o manual del sistema, y dentro de esta segunda opción, si se quiere cargar o descargar. Además, se observa una pestaña de selección para indicar el puerto serie en el que está conectado el MCU en el cual se están leyendo los datos.

Desarrollo

5.6.3.1.2. Pestaña de configuración

En esta segunda pestaña se agrupan las variables que el usuario tiene a disposición para poder modificar en función de la celda o batería que desee ensayar:

Datos de la celda, habitualmente indicadas por el fabricante en la hoja de datos, la configuración que tiene la batería en caso de querer ensayar una, los límites de temperatura considerados para que salte la alerta y se interrumpa el ensayo, la tensión a la que se fuerza a la fuente de alimentación cambiar al modo seguro disminuyendo la diferencia de potencial y por consiguiente la corriente que circula, y por ultimo una pestaña en la que se definen los ciclos a realizar en el ensayo.

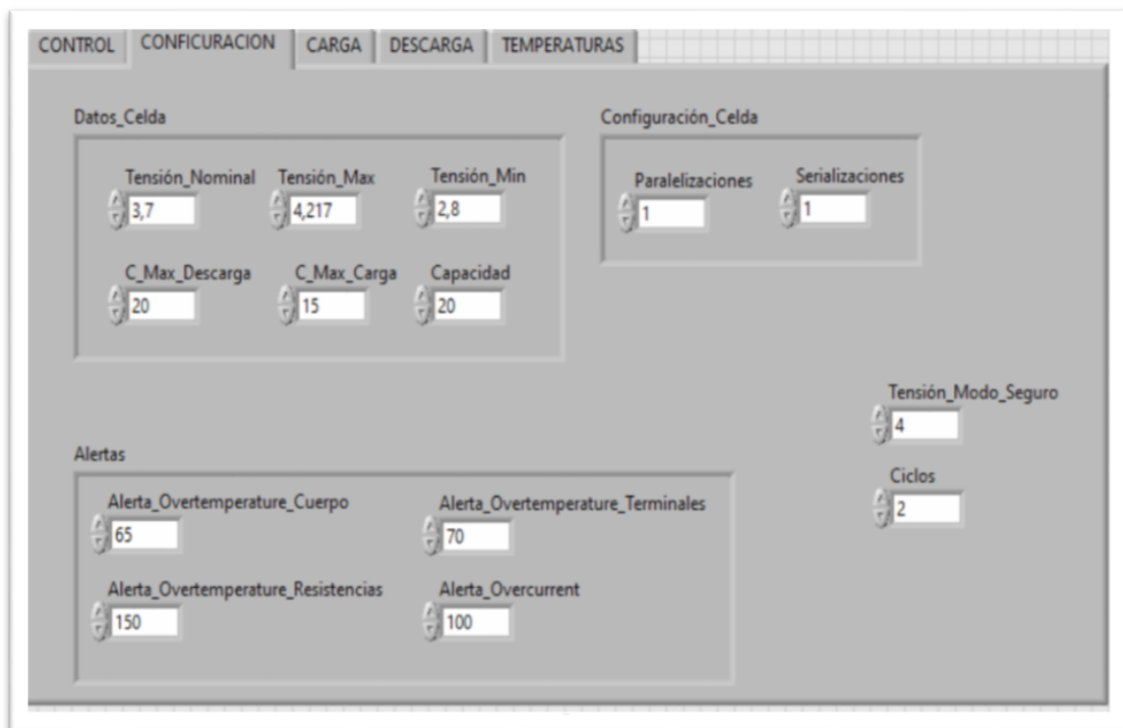


Ilustración 89 (Pestaña de configuración)

5.6.3.1.3. Pestaña de carga

La tercera pestaña es simplemente de visualización, tanto en el modo automático como en el manual, se observa cómo se dibuja a tiempo real la curva de carga, además, contiene dos indicadores donde se ven reflejados el valor del SOC calculado a tiempo real y la capacidad en Ah que se le ha suministrado a la celda.

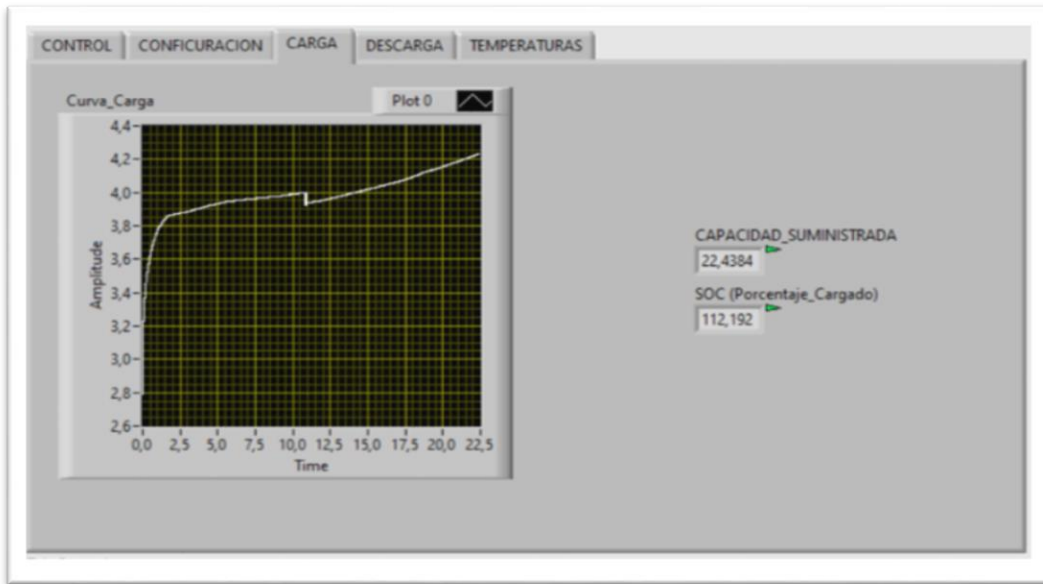


Ilustración 90 (Pestaña de carga)

5.6.3.1.4. Pestaña de descarga

Se trata de una cuarta pestaña muy similar a la tercera, en este caso, muestra a tiempo real la gráfica de descarga, tanto en el modo automático como en el manual. Además, hay dos indicadores donde se ven reflejados la capacidad que ha sido extraída del acumulador en Ah y el SOC que se calcula a tiempo real.

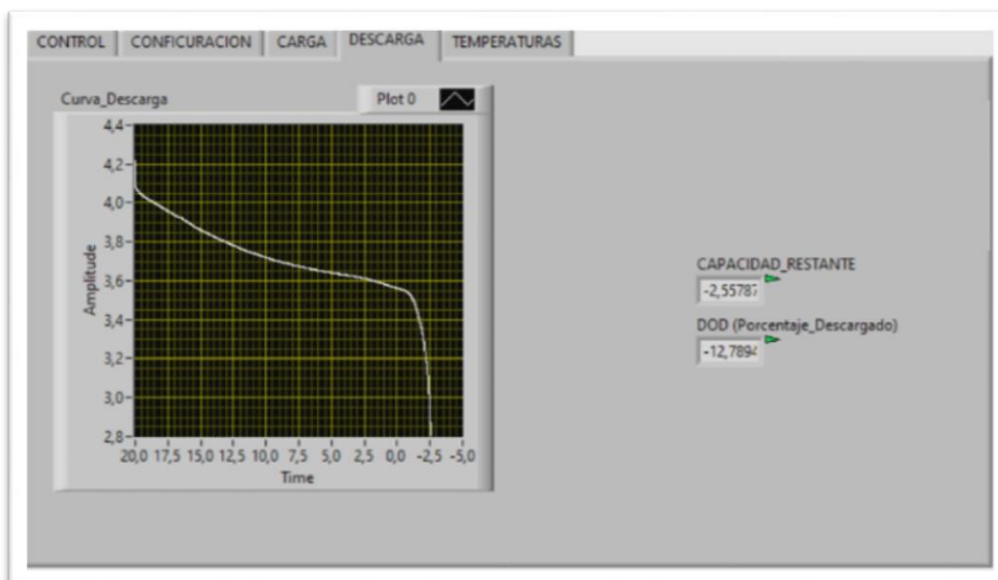


Ilustración 91 (Pestaña de descarga)

5.6.3.1.5. Pestaña de temperaturas

En esta última pestaña, se representan las temperaturas del cuerpo de la celda, polo positivo y negativo, las resistencias utilizadas para la descarga, y la temperatura ambiente de la sala donde se encuentra el banco. También se disponen indicadores numéricos para conocer el valor preciso en cada instante.

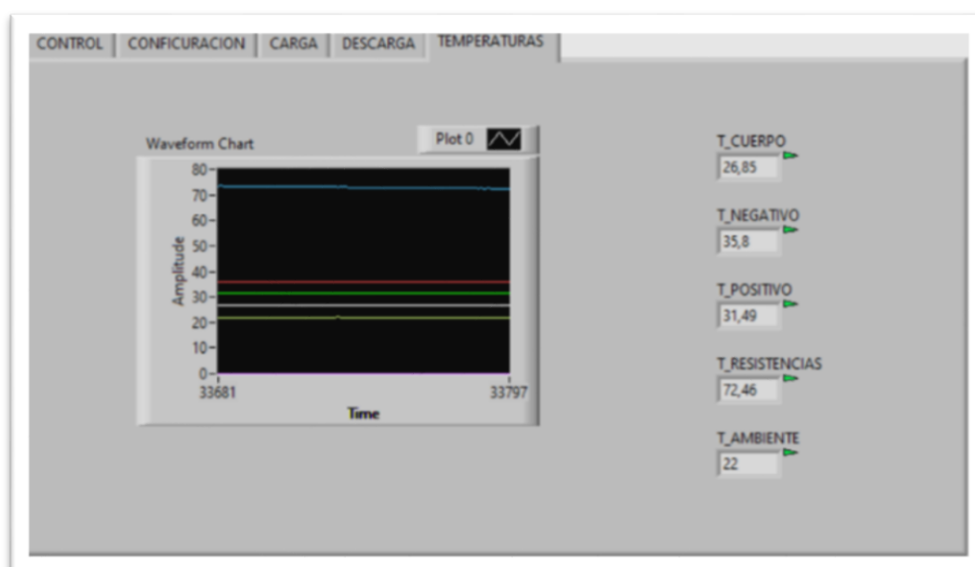


Ilustración 92 (Pestaña de temperaturas)

5.6.3.2. Programación por bloques

En los siguientes apartados se muestra la programación por bloques realizada para el correcto funcionamiento del banco de pruebas.

5.6.3.2.1. Comunicación entre MCU y LabView

El Arduino se comunica mediante NI-VISA al software LabView, complemento que se debe instalar para permitir la comunicación serial entre microcontrolador y la interfaz de usuario que se quiere diseñar en dicho software de programación de entornos gráficos.

Se utiliza un bloque del complemento para elegir el puerto serie, "COM", en el que se encuentra conectado el microcontrolador. Otro bloque para configurar el puerto serie, en este caso se especifican los baudios a los que transfiere el Arduino. Se realiza una lectura del puerto serie mediante el buffer. De esta lectura se separan los datos del "string" recibido con el objetivo de tratarlos de forma independiente. Y por último se cierra el puerto serie cuando el software no esté en funcionamiento.

A continuación, se muestra una captura de la programación básica que se realiza en el LabView para poder trabajar con los valores recogidos por los sensores.

Una vez se tienen los datos accesibles en la interfaz, se utilizan para la automatización del banco, cálculo de otros parámetros esenciales para interpretar el comportamiento del acumulador, graficarlos a tiempo real y guardarlos en un fichero.

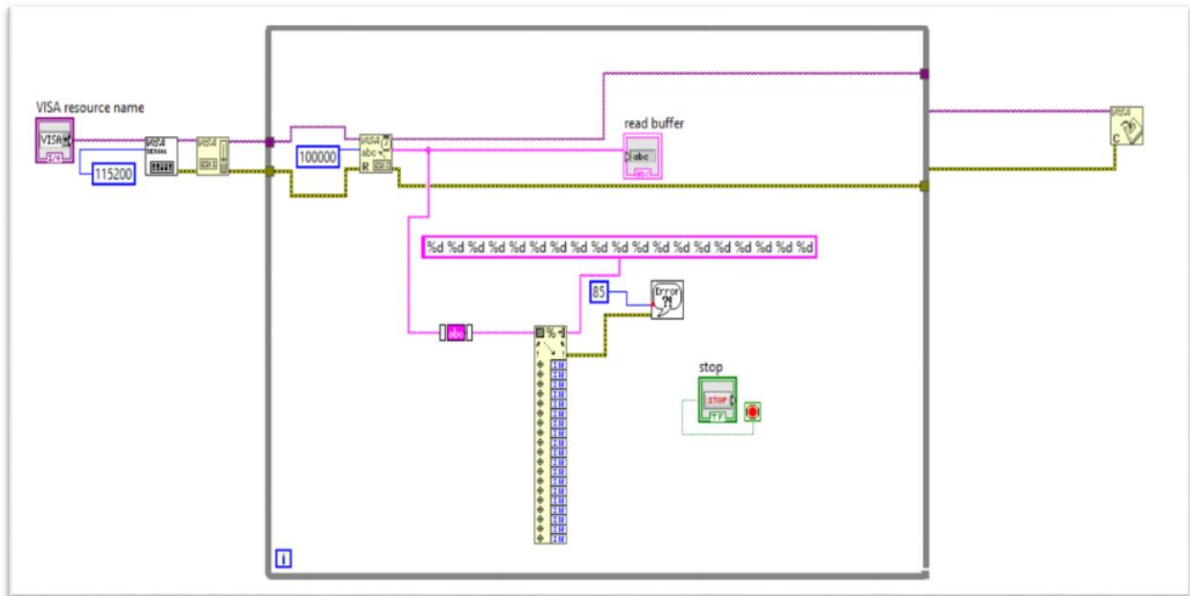


Ilustración 93 (Comunicación entre MCU y LabView)

5.6.3.2.2. Cálculo del SOC

En este apartado de la programación por bloques, se calcula el estado de carga de la batería en cada instante.

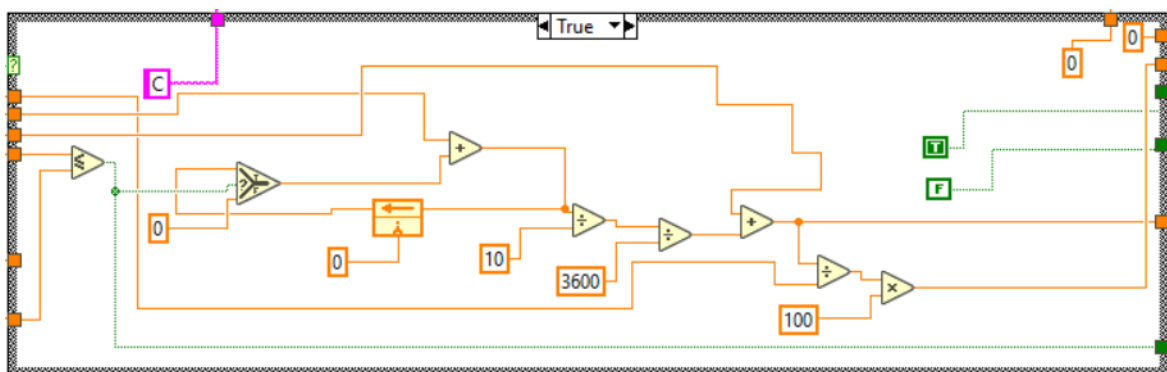


Ilustración 94 (Cálculo del SOC en el proceso de carga)

Se toma el valor 0 en el instante en el que la celda se encuentra en su tensión más baja, indicada por el usuario, cuando la tensión de la celda comienza a subir y deja de ser menor o igual a la tensión mínima del acumulador, se suma el valor anterior calculado, para ello se utiliza un selector. Se plantea la integral como un sumatorio de los valores discretos dividido por el espacio temporal. Además, en lugar de expresar el SOC en tanto por uno, se hace en tanto por cien.

Desarrollo

En el proceso de descarga, sin embargo, se realizan algunas modificaciones. En lugar de sumar los valores partiendo de un estado de carga inicial con valor de 0, se asume que cuando el acumulador se encuentra a 4,2V está al 100% de su estado de carga. Es decir, que contiene la capacidad máxima indicada por el fabricante, por ello, en este caso se resta el consumo extraído del acumulador en cada instante para así ver como el SOC disminuye.

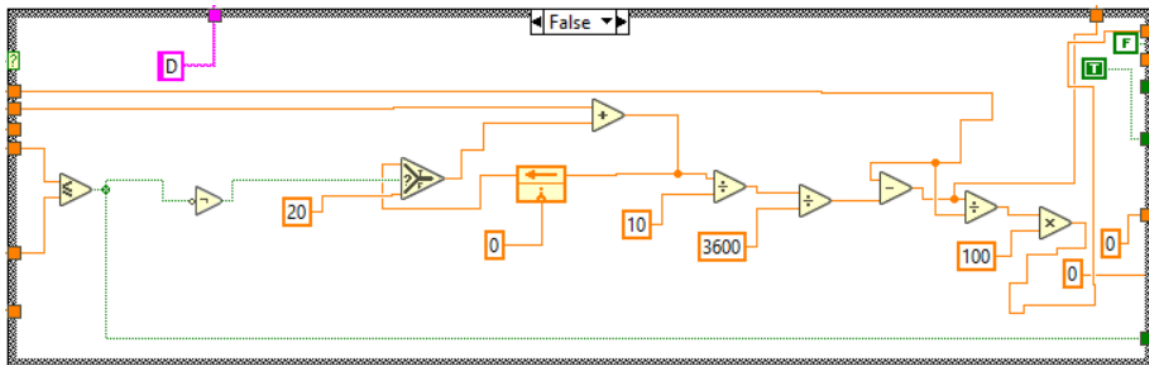


Ilustración 95 (Calculo del SOC en el proceso de descarga)

5.6.3.2.3. Modo automático y manual

En esta interfaz se plantean dos modos de trabajo con el banco de pruebas, aquel en el que el usuario puede elegir si quiere descargar o cargar la celda, modo manual, o aquel en el que indicando los parámetros de configuración y el número de ciclos que se quieren realizar sobre el acumulador es suficiente para que se efectuó el ensayo, modo automático.

5.6.3.2.4. Alertas

En la pestaña de configuración, se pueden determinar las temperaturas que no deben superarse en los ensayos, y que en caso de que lo hagan, salte una alerta de sobretemperatura y el sistema detenga el ensayo por completo.

Además de los límites de temperatura, también se puede establecer una corriente máxima, de forma que, en caso de detectar una corriente superior, el sistema interrumpa el ensayo, guarde los datos obtenidos hasta el momento, y apague el sistema por completo.

En caso de que la temperatura disminuya, el sistema se reestablece en el punto que se ha interrumpido, sigue con la toma de datos en el mismo punto, y se reanuda el ensayo. Estos límites los puede modificar el usuario en función del ensayo que se plantee

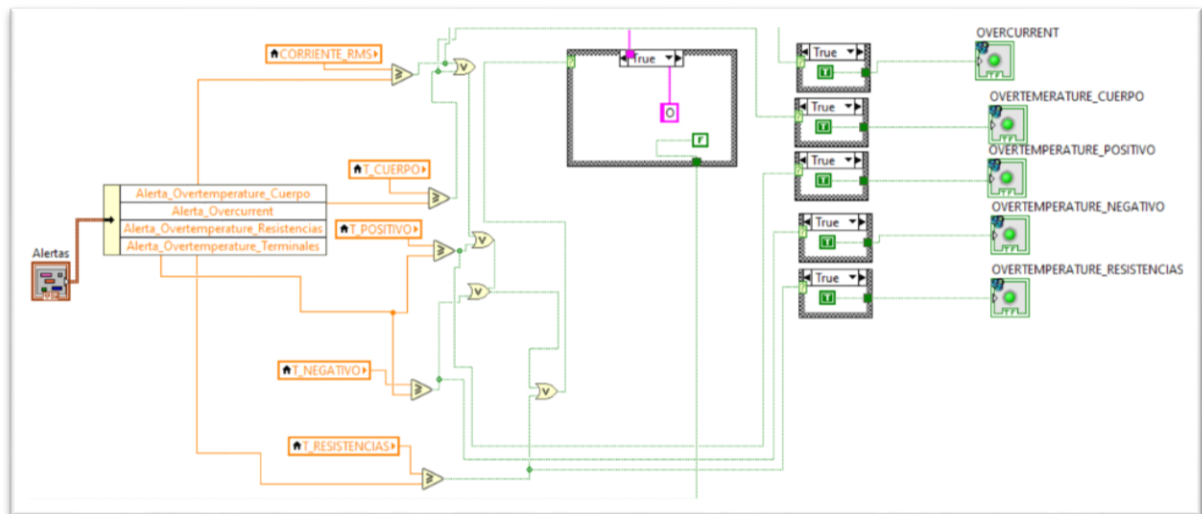


Ilustración 96 (Alertas)

5.6.3.2.5. Toma de datos

En primer lugar, se obtienen las variables locales de las magnitudes que se desean guardar y cada vez que el valor cambia, se guarda en una fila nueva de un array. Una vez se tienen todos los arrays agrupados en un "dynamic data" se separan por columnas. Para ello, se utiliza un bloque que permite dotar de atribuciones a la variable que se quiere guardar, como por ejemplo el encabezado o el número de la columna en el que se desea guardar.

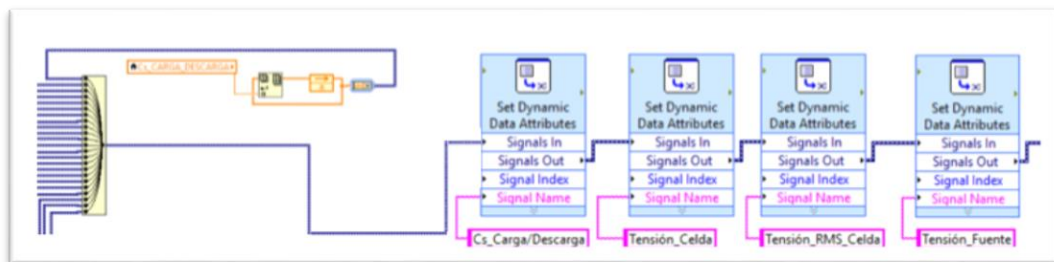


Ilustración 97 (Captura y acondicionamiento de datos)

Por último, se utiliza un bloque que permite ordenar los datos en un archivo de texto, pudiendo elegir el tipo de archivo y configurar algunos parámetros del mismo.

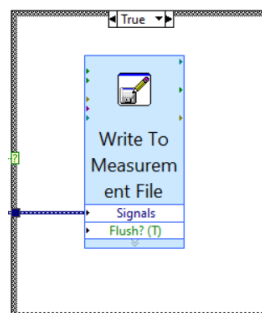


Ilustración 98 (Escritura de datos en un archivo Excel)

Desarrollo

En este caso específico, se define un directorio donde se guardar los archivos que se generan en cada ensayo. Se indica que introduzca una columna donde se anota el instante de tiempo en el que se registra el dato. Todos estos valores se almacenan en un fichero de Excel, y se utilizan para representarlos gráficamente y ayudar en la interpretación y análisis de resultados.

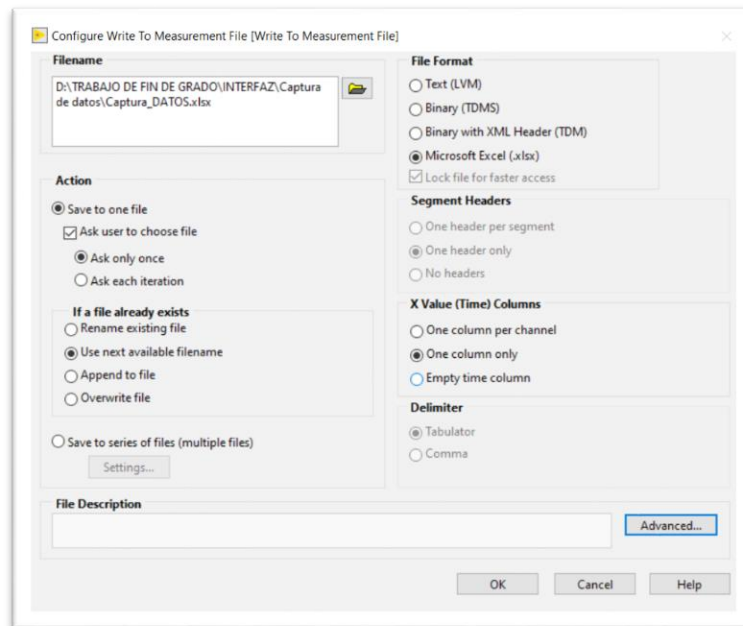


Ilustración 99 (Configuración del archivo de texto)

5.6.4. App Dashboard

Una vez la interfaz está programada, desarrollada y se comprueba que es funcional, se opta por conseguir una tablet e instalar la aplicación Data Dashboard. Esta app permite crear pantallas personalizadas de la interfaz de LabView. Para ello se crean variables compartidas publicadas en la red y se despliegan los servicios web de LabView.



Ilustración 100 (Variables públicas en la red)

Se pueden crear paneles para visualizar indicadores numéricos, indicadores de las magnitudes que se están midiendo y mostrar su valor a tiempo real. También permite generar interruptores, permitiendo actuar sobre el banco de pruebas desde la tablet y tener el 100% del control.

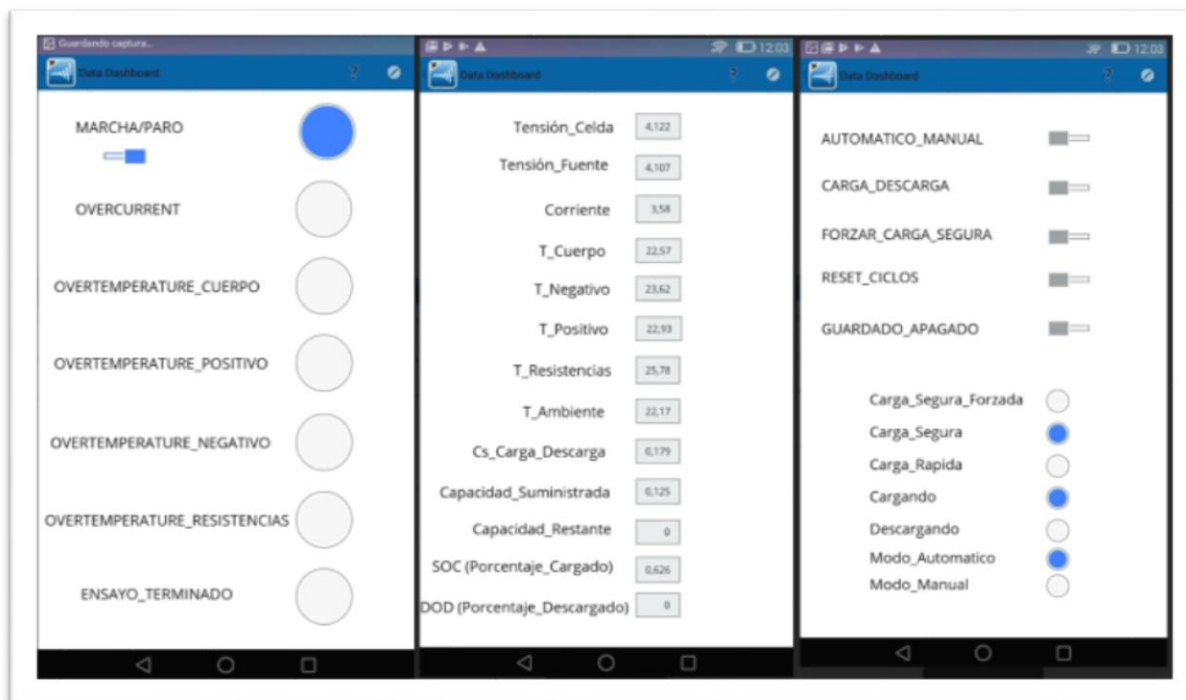


Ilustración 101 (Paneles de la app Data Dashboard)

5.7. DEFINICIÓN DE LAS METODOLOGÍAS SEGUIDAS PARA REALIZAR ENSAYOS

A continuación, se explican las metodologías que se han seguido para realizar los ensayos en cada banco de pruebas. Estas, definen los pasos que se siguen en cada caso para obtener los resultados que se muestran en el apartado 6.

5.7.1. Banco de ensayos para validar contactos

Se realiza una búsqueda de la norma para poder realizar ensayos de alta intensidad, con el objetivo de plantear una metodología para los ensayos que se realizan con los prototipos que se diseñan en el equipo.

La norma UNE EN 62475:2010, hace referencia a ensayos de corriente continua en régimen permanente. En el punto 5.5.2. de dicha norma se detalla, que la corriente debe aplicarse al dispositivo de forma continua hasta que alcance una estabilidad térmica. Además, indica que el ensayo no debe superar los 20 minutos. Esta norma se

Desarrollo

aplica a los ensayos de alta intensidad, ocupándose de las corrientes de régimen permanente y ensayos de alta potencia en corriente continua. Para poder aplicar esta norma a los ensayos de corriente continua, se debe tener en cuenta que las intensidades de la prueba son superiores a 100 A.[73]

Basándonos en la competición de Moto-Student, estimamos que una vuelta al circuito dura aproximadamente 5 minutos. Por lo que asumimos que debemos analizar cuál es el comportamiento del contacto en una vuelta. Para ello se considera que, si no se logra estabilizar el sistema en una vuelta al circuito, se trata de un contacto mal diseñado. En definitiva, se realizan ensayos de 5 minutos para ver cuál será el comportamiento de los diseños de unión.

A continuación, se muestra cual es el procedimiento que se seguirá en cada caso para obtener los resultados:

- En primer lugar, se monta el contacto y se amarra mediante el sistema de sujeción del banco, las pinzas de presión regulables.
- En el siguiente paso se disponen los sensores para tomar las medidas de forma adecuada: el sensor de efecto hall, en la salida positiva del puente de diodos; el convertidor analógico digital, en los puntos de sujeción; y los termopares, en el transformador, el puente de diodos y el contacto.
- A continuación, se comprueba mediante la interfaz de usuario que todos los sensores toman las medidas de la forma correcta y que no hay ningún error en la medición o calibración de los mismos. Para ello, se comparan los datos que indica un equipo profesional con los obtenidos con los sensores.
- Se enciende y regula el autotransformador para alimentar el primario del transformador principal a 170V. Con esta alimentación en el primario, se obtiene una salida de 160 A en el secundario.
- Una vez preparado todo el sistema, puede comenzar el ensayo. Se encienden el PIA y el cronometro al mismo tiempo; y, acto seguido, se pone en marcha la refrigeración forzada.
- A lo largo del ensayo, se controla que ni el transformador principal ni el puente de diodos superan los 100°C. Se debe tener en cuenta que el aceite genera una inercia térmica, por lo que la temperatura continuará incrementando tras terminar el ensayo.

- Una vez alcanzados los 5 minutos, se detiene el ensayo y se procede al guardado de datos, posteriormente se representan gráficamente y se procede a su análisis.

5.7.2. Banco de ensayos de baterías

A continuación, se establecen los pasos que se deben seguir a la hora de realizar los ensayos para obtener los resultados:

- En primer lugar, se conecta el acumulador al sistema desarrollado.
- Se disponen los sensores para tomar las medidas correctamente; el sensor de efecto hall, en el terminal positivo para medir la corriente tanto en el proceso de carga como en el de descarga; el conversor analógico digital para poder medir la tensión de la fuente y de la celda; y ponemos cuatro termopares, en el cuerpo de la batería, sus terminales y el elemento que usemos para la descarga, las resistencias o la carga electrónica programable.
- Una vez colocados los elementos de medición, verificamos que las medidas observadas en la interfaz se asemejan a las que muestran los equipos profesionales calibrados. De esta forma se asegura una medición precisa y eficiente.
- A continuación, se enciende el sistema, y se configuran las características del acumulador mediante la pestaña que encontramos en la interfaz de usuario. En esta misma pestaña de configuración se indica de cuantos ciclos se desea realizar el ensayo.
- Una vez se adapta el sistema, se conecta la Aplicación DataDashboard de Android al sistema para que el usuario pueda moverse teniendo los indicadores y alertas en una tablet cuya información se refresca a tiempo real.
- Cuando se verifica la conexión Wifi entre el banco de pruebas y la tablet, se pone en marcha el banco de pruebas.
- En este caso se realizan 2 ciclos, es decir, una carga y descarga completa sobre el acumulador.
- Una vez terminado el ensayo, el sistema se queda a la espera de que el usuario indique el nombre y la ubicación donde se desea guardar el fichero

Desarrollo

con todos los datos que posteriormente se representan gráficamente y se procede a su análisis.

Con el primer ensayo terminado, reemplazamos la carga resistiva por una carga electrónica programable cuyo objetivo es realizar descargas de corriente constante a 20 amperios. La metodología de ensayo que se sigue en este caso es el mismo, se calibra de nuevo la histéresis del sensor de efecto hall, y en los puntos donde teníamos la resistencia equivalente conectamos esta carga.



Ilustración 102 (Carga electrónica programable 20 Amperios)



6. RESULTADOS

A continuación, se exponen los diferentes resultados obtenidos de los dos bancos de pruebas y las respectivas metodologías que se han seguido. Se analizan los datos obtenidos y se representan principalmente en gráficas para facilitar su correcta interpretación.

6.1. BANCO DE ENSAYOS PARA CONTACTOS

Este apartado aglutina los resultados obtenidos a partir de los ensayos que se realizan con diferentes diseños de contactos y siguiendo la metodología explicada en el apartado 5.7.1.

También se analizan dichos resultados representados en graficas principalmente y se muestran las termografías obtenidas. De esta forma se determina si el comportamiento del contacto diseñado es satisfactorio o desfavorable.

6.1.1. *Unión de cobre*

En este apartado se ensaya la primera unión planeada por el equipo. Sobre las pletinas de las celdas, colocamos una pieza rectangular de sección conocida, calculada en el apartado 5.2.

6.1.1.1. *Ensayo de corriente en régimen permanente*

En la Ilustración 103 podemos observar que a medida que aumenta la temperatura en el contacto representada en color naranja, la corriente en color azul que circula por la unión disminuye. En este caso no se puede apreciar que la temperatura ni la corriente, después de 5 minutos de ensayo tiendan a estabilizarse por lo que no podemos asegurar el correcto funcionamiento del contacto.

En el momento en el que se inicia el ensayo, el sistema comienza por suministrar 167.2 A, a medida que aumenta la temperatura en el contacto, este comienza a calentarse, produciendo un descenso en la corriente cuyo valor al terminar el ensayo es de 106.7 A. La temperatura medida en el contacto al iniciar el ensayo es de 20.46°C, sin embargo, cuando transcurren los 5 minutos de ensayo y deja de suministrarse corriente, la temperatura en el contacto es de 41.8°C

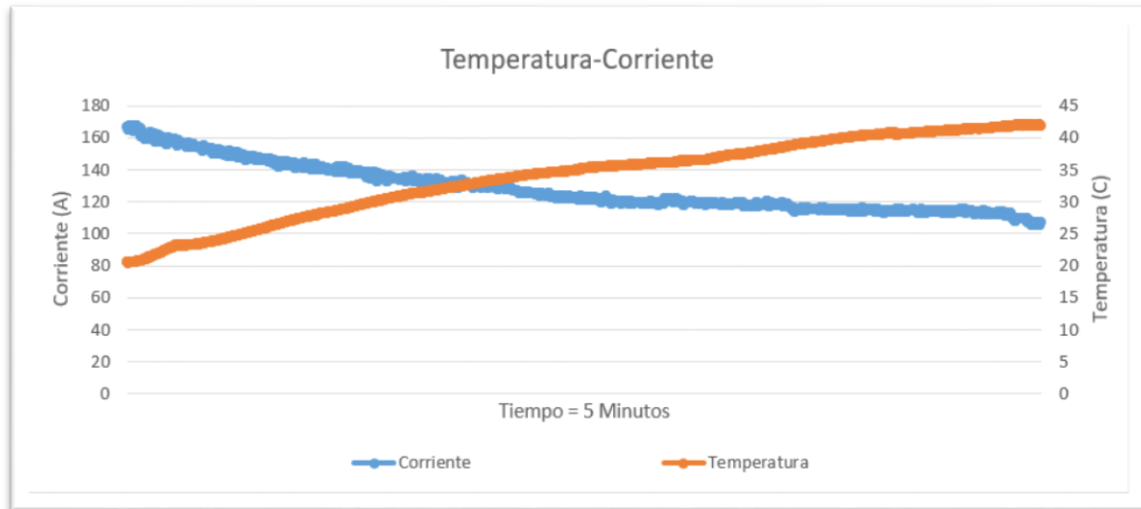


Ilustración 103 (Unión cobre - Relación Temperatura-Corriente)

En la siguiente imagen podemos observar en color naranja la potencia que se disipa en cada instante del ensayo. A consecuencia de la caída de la corriente representada en color azul, que circula por el contacto, la potencia que se tiene que disipar también es menor. Se obtiene la curva polinómica de orden 4 representada en color negro, de forma que se pueda analizar con más facilidad la tendencia.

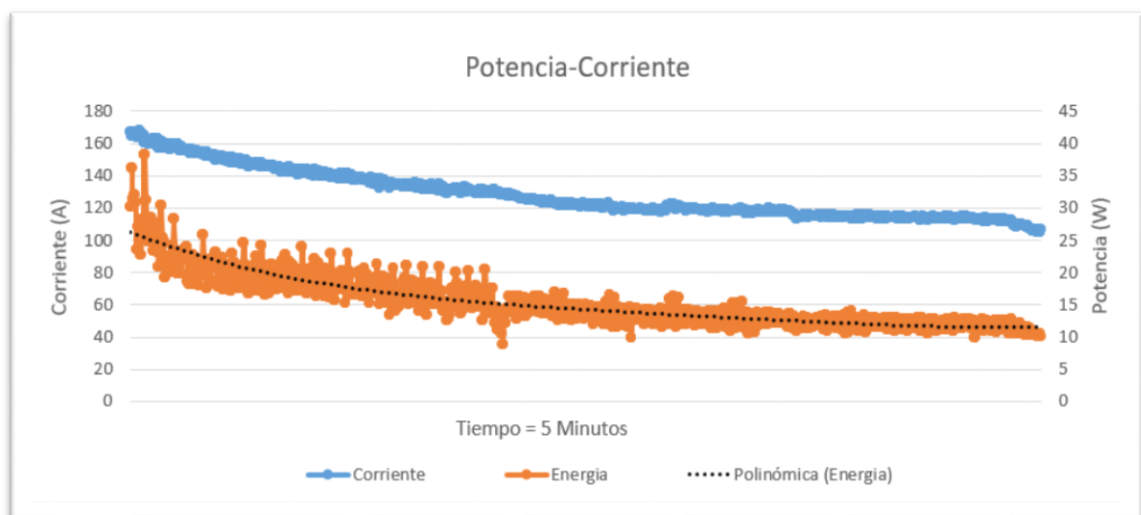


Ilustración 104 (Unión cobre - Relación Energía- Corriente)

Se calcula la energía disipada por el contacto durante el ensayo. Para ello realizamos la integral de la energía disipada utilizando el paso temporal que tenemos en el sistema. Estos valores quedan representados en la siguiente imagen.

Resultados

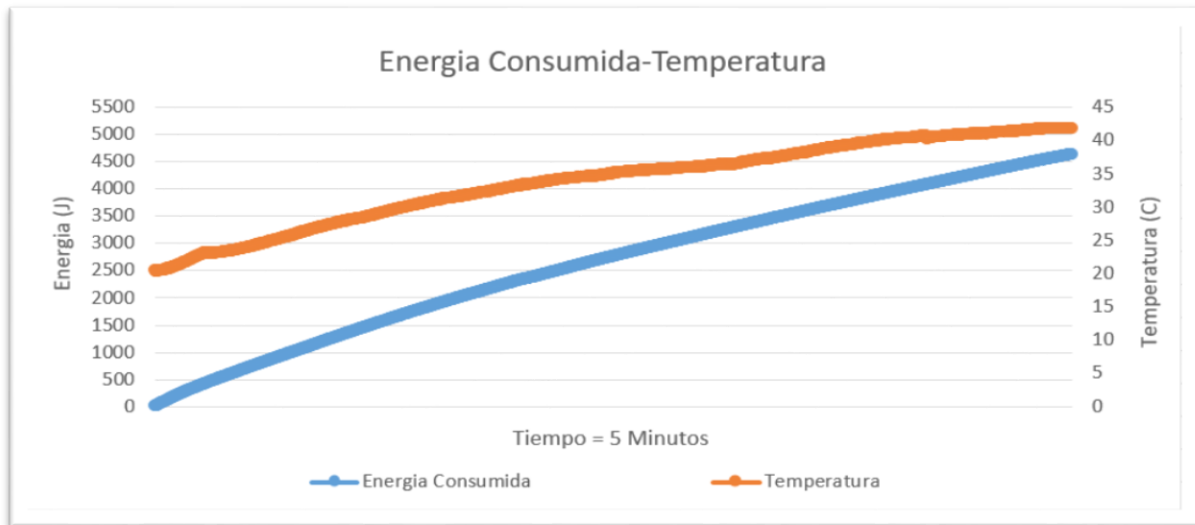


Ilustración 105 (Unión Cobre - Relación Energía Consumida y Temperatura)

En la ilustración anterior se puede observar en color azul como la energía disipada por el contacto incrementa a medida que el ensayo avanza. En color naranja se observa como la temperatura aumenta a medida que el contacto disipa más energía.

En definitiva, en los 5 minutos que dura el ensayo, la corriente varía su valor en 60 amperios, el aumento de temperatura que tenemos en el contacto es de 21 grados y se disipan 4639.37 Julios. A continuación, se muestra la termografía obtenida al terminar el ensayo.

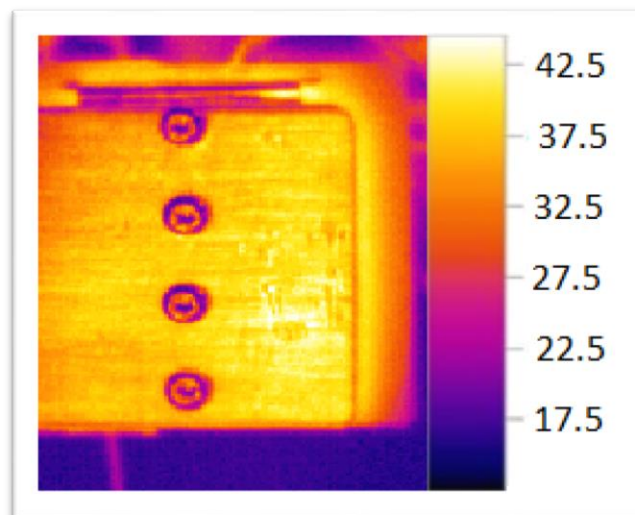


Ilustración 106 (Unión Cobre - Termografía)

Esta imagen es muy representativa de cómo se comporta el contacto, es decir, en el borde del contacto, se puede observar de donde proviene el calor por lo que podemos suponer que el contacto no se comporta de la forma más adecuada puesto que no se calienta de forma homogénea.

6.1.2. Unión de cobre con refuerzo de cobre y acero con grasa conductora para contactos

En este caso se pretende mejorar los resultados obtenidos en el apartado anterior, para ello, se añade un refuerzo de cobre que permite que las pletinas de las celdas apoyen sobre una superficie rígida, en lugar de sobre el plástico de impresión 3D que puede tener un acabado más rugoso que perjudique al contacto. Además, se añade un refuerzo de acero cuyo objetivo es ejercer una presión homogénea en todo el contacto, haciendo que este se comporte de una mejor forma y la superficie de contacto sea más cercana al 100%.

6.1.2.1. Ensayo de corriente en régimen permanente

En la Ilustración 107 podemos observar como la corriente, en color azul, que circula por el contacto disminuye a medida que la temperatura, en color naranja, baja. En este caso, la temperatura del contacto en 5 minutos no aumenta tanto como en el caso anterior, por lo que la corriente que circula por la unión es mayor al finalizar el ensayo. Se puede ver que la temperatura y la corriente comienzan a estabilizarse antes que, en el caso anterior, por lo que podemos suponer que el contacto se comportara en condiciones similares a partir de la primera vuelta.

En el momento en el que se inicia el ensayo, el sistema comienza por suministrar 168.86 A, a medida que aumenta la temperatura en el contacto, este comienza a calentarse, produciendo un descenso en la corriente cuyo valor al terminar el ensayo es de 118.28 A. La temperatura medida en el contacto al iniciar el ensayo es de 20.08°C, sin embargo, cuando transcurren los 5 minutos de ensayo y deja de suministrarse corriente, la temperatura en el contacto es de 28.3°C

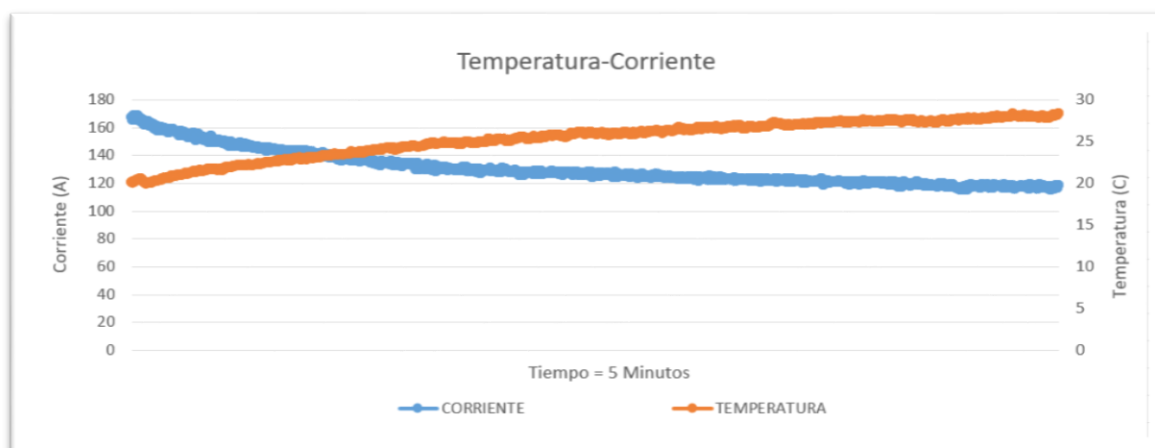


Ilustración 107 (Unión cobre con refuerzos y grasa – Relación de corriente y temperatura)

Resultados

En la siguiente imagen podemos observar en color naranja la potencia que se disipa en cada instante del ensayo. A consecuencia de la caída de la corriente representada en color azul, que circula por el contacto, la potencia que se tiene que disipar también es menor. En este caso el contacto se comporta mejor que el anterior diseño, puesto que la potencia disipada es menor y la corriente y temperatura se estabilizan antes. Se obtiene la curva polinómica de orden 4 representada en color negro, de forma que se pueda analizar con más facilidad la tendencia de la potencia disipada.

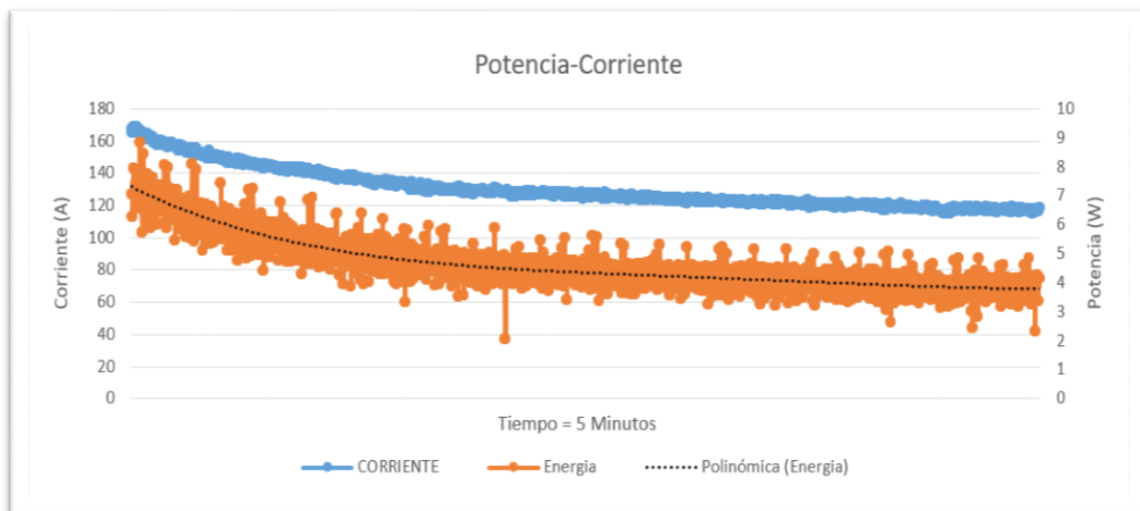


Ilustración 108 Unión cobre con refuerzos y grasa - Relación Potencia y Corriente

Se calcula la energía disipada por el contacto durante el ensayo. Para ello realizamos la integral de la energía disipada utilizando el paso temporal que tenemos en el sistema. Estos valores quedan representados en la siguiente imagen.

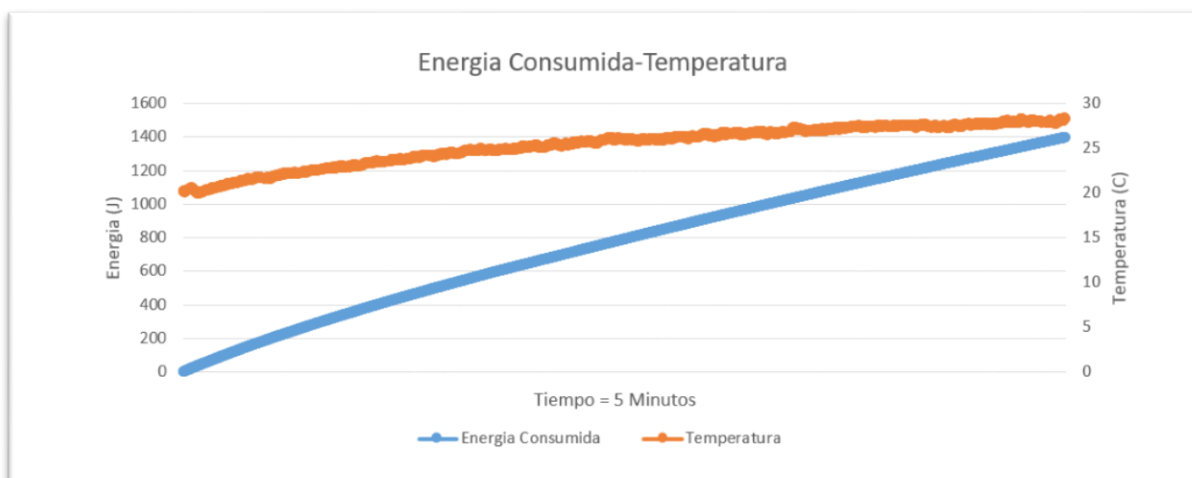


Ilustración 109 (Unión cobre con refuerzos y grasa - Relación Energía Consumida y Temperatura

En la ilustración anterior se puede observar en color azul como la energía disipada por el contacto incrementa a medida que el ensayo avanza. En color naranja se observa como la temperatura aumenta a medida que el contacto disipa más energía. Sin embargo, en este caso la energía disipada en el contacto es menor.

En definitiva, en los 5 minutos que dura el ensayo, la corriente varía su valor en 40 amperios, el aumento de temperatura que tenemos en el contacto es de 8 grados y se disipan 1396.74 Julios.

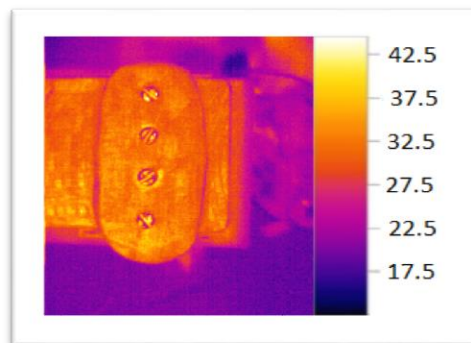


Ilustración 110 (Unión Con refuerzo, arandela y grasa - Termografía)

En este caso, el calor en el contacto se distribuye de forma uniforme lo que indica que de los diseños de unión estudiados en este trabajo es la mejor opción, puesto que es el método de unión que mejor se ha comportado y mejores resultados ha dado.

6.1.3. Comparativa entre uniones

A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos en los ensayos que se han realizado para los diferentes contactos.

Tabla 1 (Resumen de resultados de Uniones)

Tabla Resumen Magnitud	Tipo de Unión	
	Unión Cobre	Unión Cobre con grasa + refuerzos
Temperatura Inicial	20,46°C	20,08°C
Temperatura Final	41,8°C	28,3°C
Aumento de temperatura	21,34°C	8,27°C
Corriente Inicial	167,2A	167,91A
Corriente Final	106,7A	128,28A
Caída de corriente	60,5A	40,28A
Potencia Media	14,5537W	4,4644W
Energía Disipada	4639,37 J	1396,74 J

En la tabla anterior se puede observar que una vez añadimos la grasa para contactos y los refuerzos de cobre y acero el comportamiento de la unión mejora de forma considerable, y el calor se distribuye por el contacto de forma uniforme.

6.2. BANCO DE ENSAYOS PARA BATERÍAS

En los siguientes apartados se muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados con el banco de pruebas para caracterizar celdas. Se diferencian tres grupos para poder analizar e interpretar de forma correcta los datos obtenidos.

En primer lugar, se representan los resultados del banco de pruebas utilizando la carga resistiva, en segundo lugar, se analizan los datos obtenidos del banco de pruebas utilizando la carga electrónica programable, y en último lugar, se añade un apartado donde se interpretan los resultados que se obtienen con unos equipos de alta precisión en el centro de investigación tecnológico en Tecnalia. Además, se añade una tabla resumen comparando los datos obtenidos con diferentes equipos, y se calculan los errores absolutos del sistema desarrollado en el presente trabajo.

6.2.1. Ensayos Realizados con el Banco de pruebas (Carga Resistiva)

En este apartado se mostrarán todos los resultados obtenidos en el banco de pruebas diseñado en este trabajo, utilizando la carga resistiva calculada en el mismo. Tal y como está diseñado el banco, la primera carga del acumulador no la analizaremos puesto que no contará como ciclo valido. Por lo que comenzamos por la primera descarga.

6.2.1.1. Etapa de Descarga

Una vez el acumulador llega a cargarse por completo, comienza el ensayo. En la siguiente imagen se muestra la curva de descarga que obtenemos a partir de los valores almacenados en el archivo de datos.

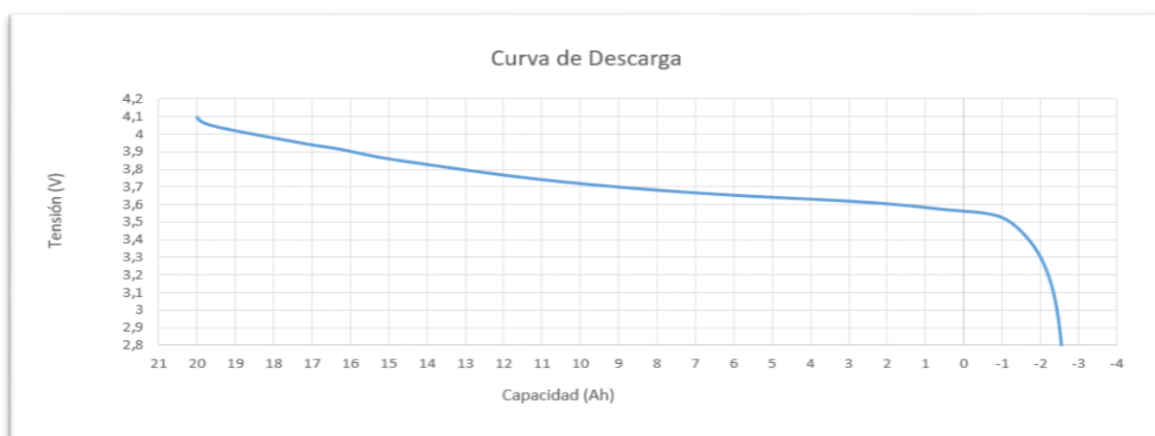


Ilustración 111 (Banco de pruebas - Curva de Descarga - Ah)

En la curva de descarga se puede observar que la descarga no termina cuando la energía extraída del acumulador llega a 0, es decir, la descarga continua hasta llegar a -2.5621Ah. De esta curva podemos deducir que el fabricante asegura que la celda tiene una capacidad de 20Ah, pero en realidad puede contener 2.56Ah más de energía.

A continuación, se muestra una gráfica similar a la anterior, pero en este caso en lugar de representarla utilizando la energía extraída del acumulador en Ah, utilizamos el estado de carga calculada a tiempo real en tanto por cien.

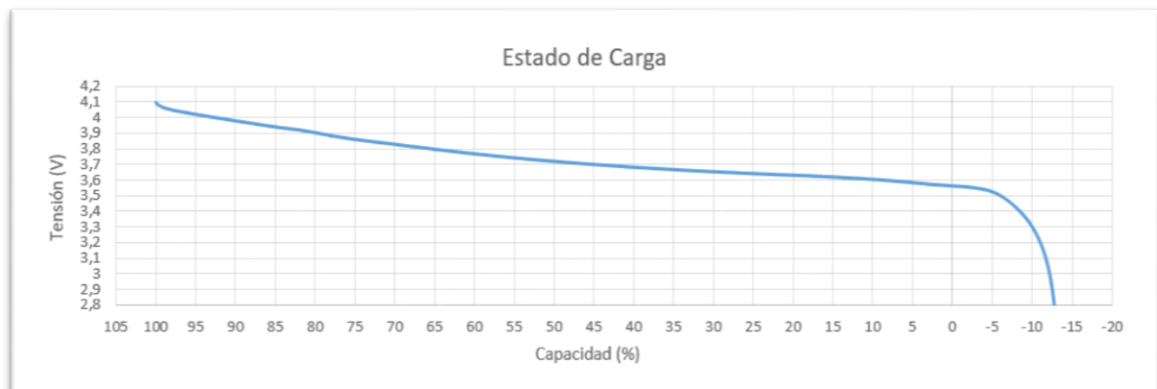


Ilustración 112 (Banco de pruebas - Curva de Descarga - %)

En este caso observamos que en lugar de extraer el 100% de la energía del acumulador, somos capaces de extraer un 112.8109% de la energía que almacena el acumulador. Por lo que se puede suponer al igual que en la Ilustración 112, que la celda contiene un 12.81% más energía de la que indica el fabricante.

En la siguiente imagen podemos observar como la corriente en color azul, disminuye a medida que la temperatura aumenta en los diferentes puntos del acumulador. El cuerpo del acumulador llega a 40.53°C en la última fase de la descarga, que es la más crítica para la celda. Y los terminales del acumulador no superan los 38.7°C en todo el ensayo.

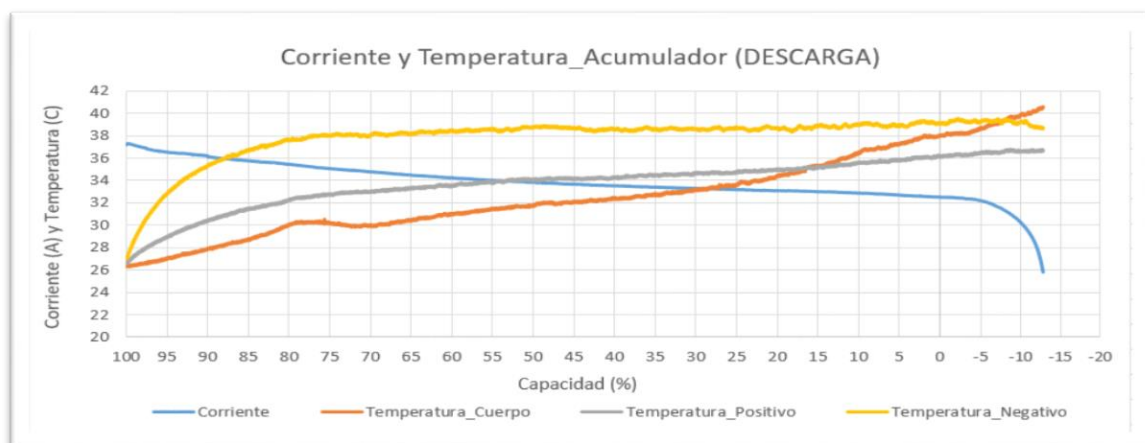


Ilustración 113 (Banco de Pruebas - Relación Temperaturas y Corriente)

Resultados

En la siguiente imagen se relaciona la tasa de descarga a la que se está realizando el ensayo en cada instante, y la corriente que está circulando en ese mismo instante. A consecuencia de que la corriente vaya disminuyendo en relación al aumento de temperatura y subida de tensión de la celda, la tasa de descarga disminuye. Es decir, el ensayo comienza con una corriente de 37.19A y una tasa de descarga de 1.854C, pero termina a una intensidad de 25.8A y una tasa de 1.292C.

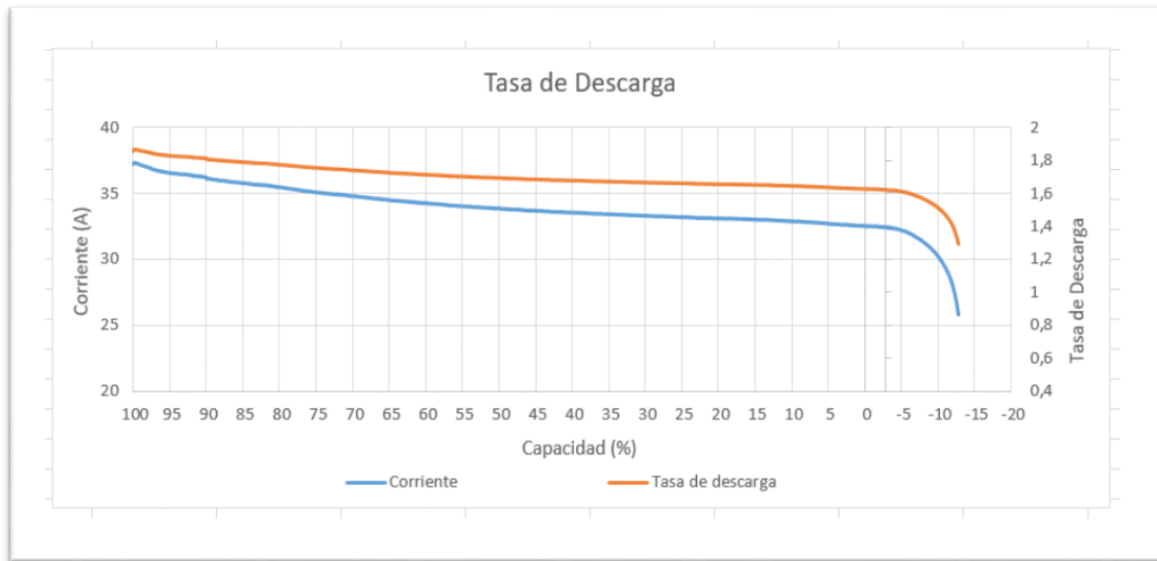


Ilustración 114 (Banco de pruebas - Relación Corriente y Tasa de Descarga)

6.2.1.2. Etapa de Carga

Una vez el acumulador se descarga por completo y llega a la tensión mínima indicada por el usuario, comienza la carga. Se toma como valor inicial el 0, puesto que, según el comportamiento ideal, el acumulador cuando se encuentra a 2,8v se encuentra completamente descargado.

Cuando el acumulador llega a 4V, la fuente de alimentación que se utiliza para realizar el proceso de carga, pasa de un modo rápido (4,6V) a un modo seguro (4,2V). Al realizar este cambio, y variar la salida de la fuente de alimentación, el convertor analógico digital, detecta una lectura inferior en la tensión del acumulador, por lo que la fuente se vuelve a cambiar de modo. De esta forma, hasta que la tensión del acumulador no disminuya de 4v al cambiar de modo la fuente, la tensión que lee el convertor analógico digital fluctúa. Esta histéresis la podemos ver en la siguiente imagen.

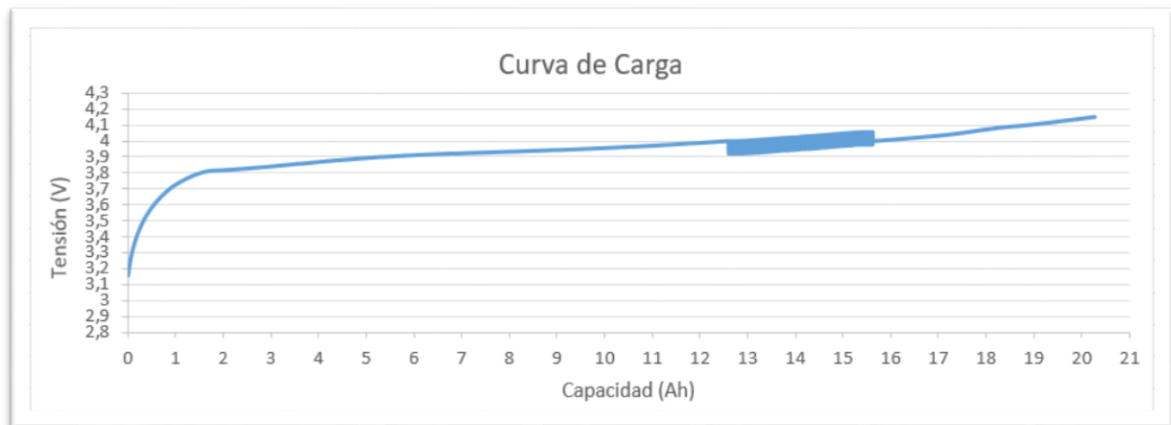


Ilustración 115 (Banco de pruebas - Histéresis - Curva de Carga)

Para solucionar la histéresis, se programa mediante software que una vez detecte por primera vez la tensión a la que se quiere que la fuente pase a modo seguro, se mantenga hasta terminar la carga. En la siguiente imagen se puede observar el ensayo realizado con esta modificación.

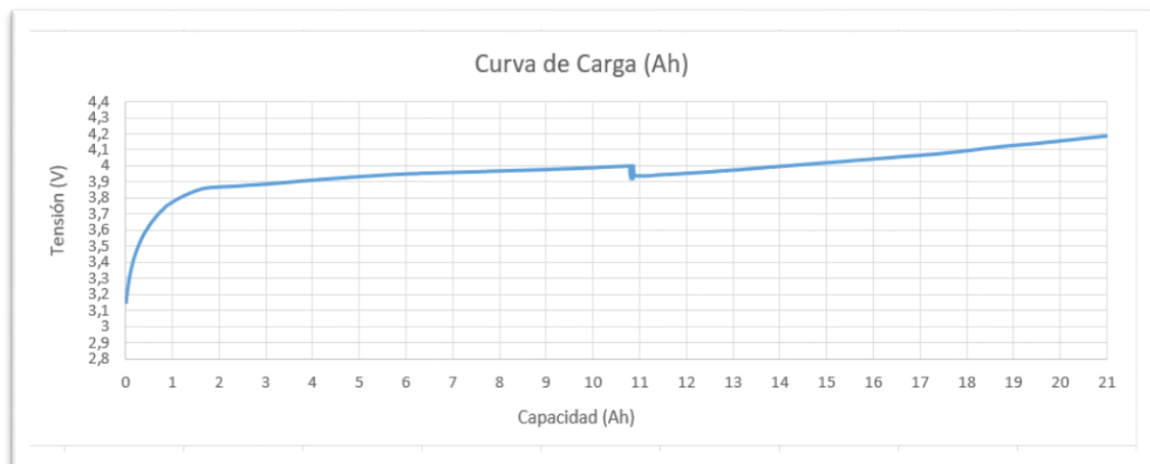


Ilustración 116 (Banco de Pruebas - Curva de Carga - Ah)

En la curva de carga se puede observar que la fase de carga no termina cuando la energía suministrada al acumulador llega a su capacidad máxima, es decir, 20 Ah. La Carga continua hasta llegar a 22.46Ah por ello, deducimos que al igual que en la descarga, estamos suministrando más capacidad.

A continuación, se muestra una gráfica similar a la anterior, pero en este caso en lugar de representarla utilizando la energía suministrada al acumulador en Ah, utilizamos el estado de carga calculada a tiempo real en tanto por cien.

Resultados

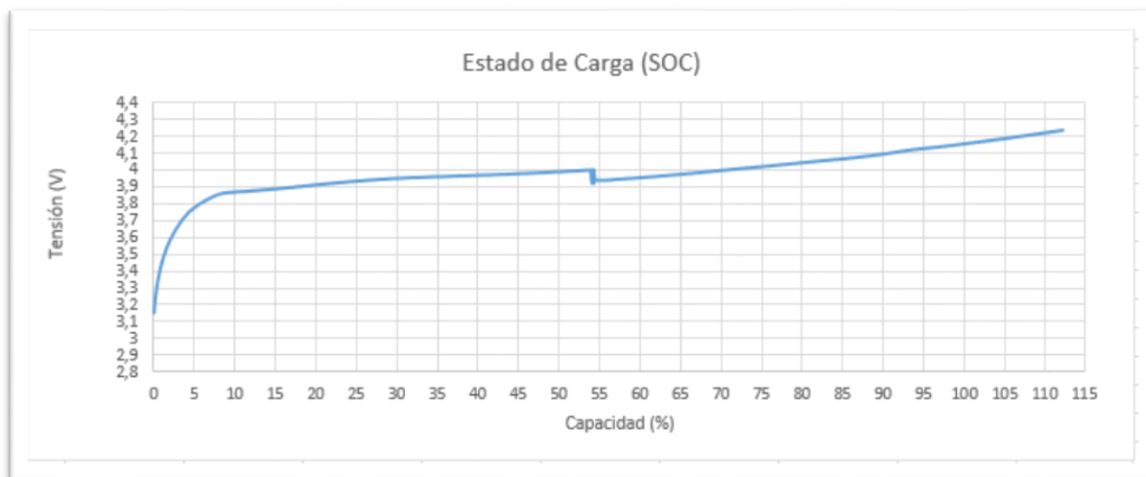


Ilustración 117 (Banco de pruebas - Curva de Carga - %)

En este caso observamos que en lugar de suministrar el 100% de la energía que puede almacenar el acumulador, suministramos un 112.3207%, es decir, un 12,32% más de la energía que puede contener el acumulador.

En la siguiente imagen se puede observar al igual que en la fase de descarga, como la corriente disminuye a medida que la temperatura en los diferentes puntos del acumulador aumenta. La temperatura en el cuerpo del acumulador representado en color naranja, comienza a 41.6°C, temperatura a la que termina la descarga, y disminuye a 29.71°C, en este caso los terminales de la celda representados en color amarillo para el negativo y gris para el positivo, vemos el aumento de temperatura más desfavorable. La temperatura máxima que alcanzan los terminales es de 64.38°C. El cambio brusco de la corriente que se observa en la imagen, es a consecuencia del cambio en la fuente de alimentación de modo rápido a lento.

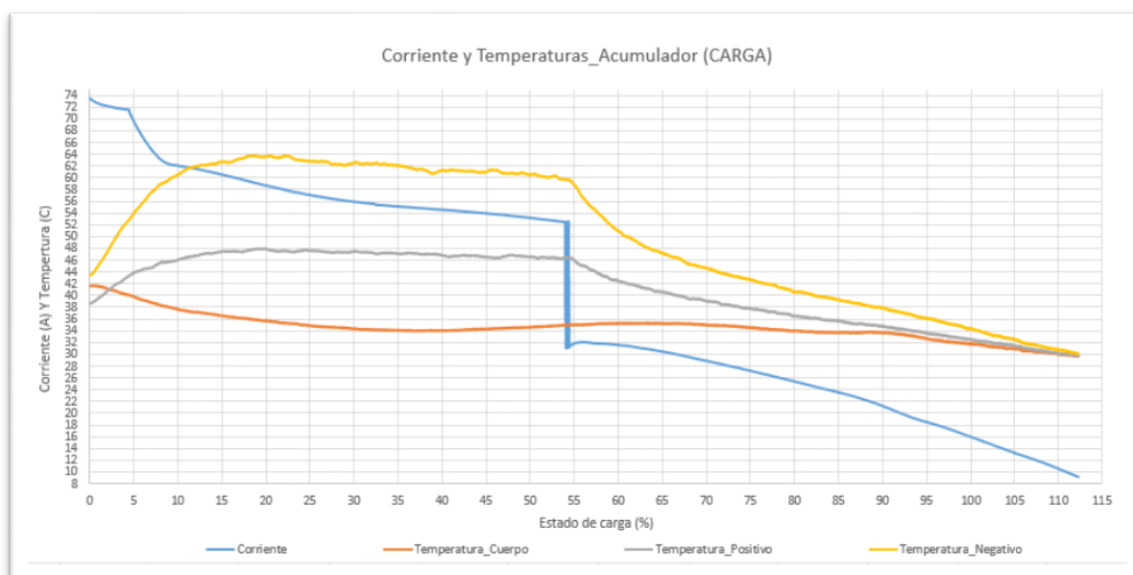


Ilustración 118 (Banco de pruebas - Relación Temperaturas y Corriente)

A continuación, en la imagen se relaciona la tasa de carga a la que se está realizando el ensayo en cada instante, y la corriente que está circulando en ese mismo instante. A consecuencia de que la corriente vaya disminuyendo en relación al aumento de temperatura, también lo hace la tasa de descarga. Al igual que en las demás representaciones, en este caso también se observa la variación de la tasa de carga en el punto en el que la fuente cambia de modo.

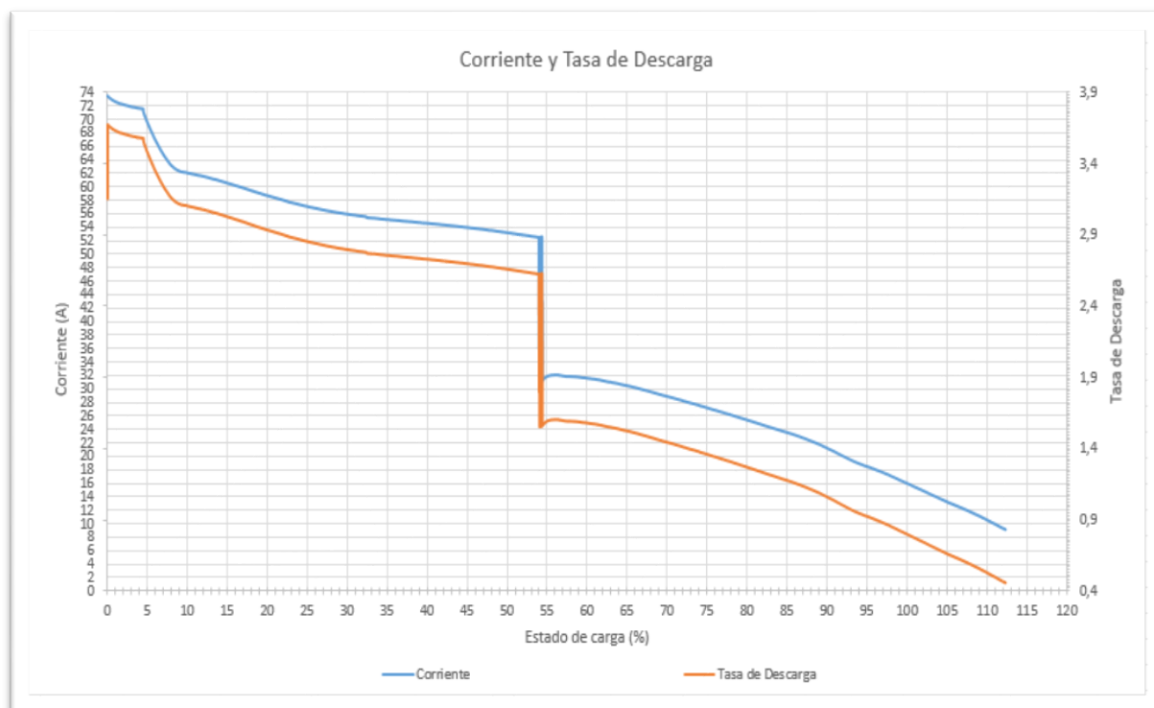


Ilustración 119 (Banco de pruebas - Relación Corriente y Tasa de Carga)

6.2.2. Ensayos Realizados con el Banco de pruebas (Carga Electrónica Programable)

En este apartado se mostrarán todos los resultados obtenidos en el banco de pruebas diseñado en este trabajo, utilizando la carga electrónica programable, cuyo objetivo es mantener la corriente de descarga constante. Tal y como está diseñado el banco, la primera carga del acumulador no la analizaremos puesto que no contará como ciclo válido. Por lo que comenzamos por la primera descarga.

Además, la carga del acumulador siempre se lleva a cabo utilizando la misma fuente de alimentación, puesto que en este apartado analizaremos el comportamiento del acumulador frente a una descarga de corriente constante.

Resultados

6.2.2.1. Etapa de Descarga

En esta primera imagen que se muestra a continuación, se puede observar la curva de descarga que se obtiene a partir de los datos en el fichero. En la siguiente imagen se puede observar que la capacidad extraída del acumulador es superior a la que indica el fabricante, 2.53Ah.



Ilustración 120 (Banco de pruebas – Carga electrónica - Curva de Descarga - Ah)

En la Ilustración 121 se muestra una curva similar a la anterior, pero en lugar de utilizar la capacidad en Ah para representar la curva de descarga, se utiliza el estado de carga en tanto por cien.

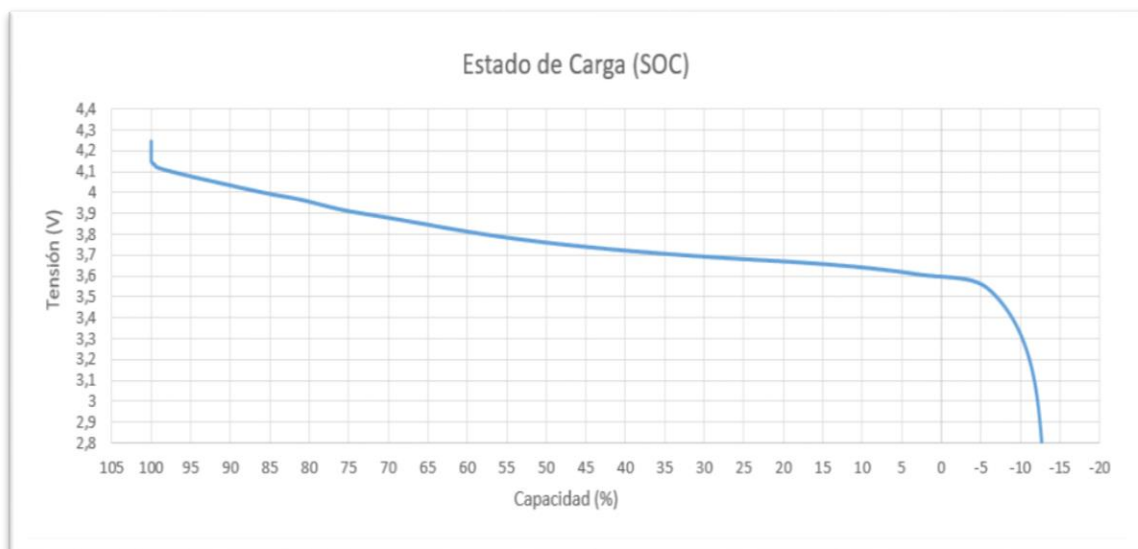


Ilustración 121 (Banco de pruebas – Carga electrónica – Curva de Descarga - %)

En la imagen anterior se puede observar que la capacidad descargada del acumulador en tanto por cien es del 112.6742%, por lo que en este caso se está extrayendo del acumulador un 12.67% más de la energía que puede almacenar.

En este caso como utilizamos una carga electrónica programable, debemos ser capaces de mantener una corriente constante independientemente del aumento de temperaturas. En la siguiente imagen se puede ver la relación entre la corriente, representada en azul, que se mantiene constante durante todo el ensayo y las temperaturas en diferentes puntos del acumulador: el cuerpo en color naranja, el terminal positivo en gris y el terminal negativo en amarillo.

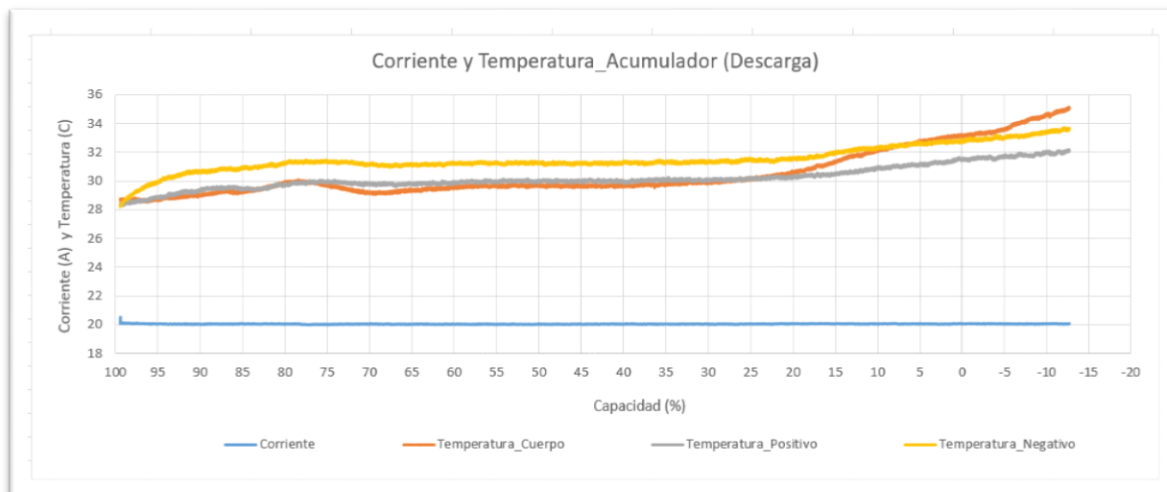


Ilustración 122 (Canco de Pruebas - Carga electrónica - Relación Temperaturas y Corriente)

La temperatura máxima que alcanza el cuerpo es en la última fase de la descarga y tiene un valor de 35.05 °C. A continuación, se muestra en una gráfica la tasa de descarga que se mantiene constante, al igual que la corriente a lo largo de todo el proceso de descarga.

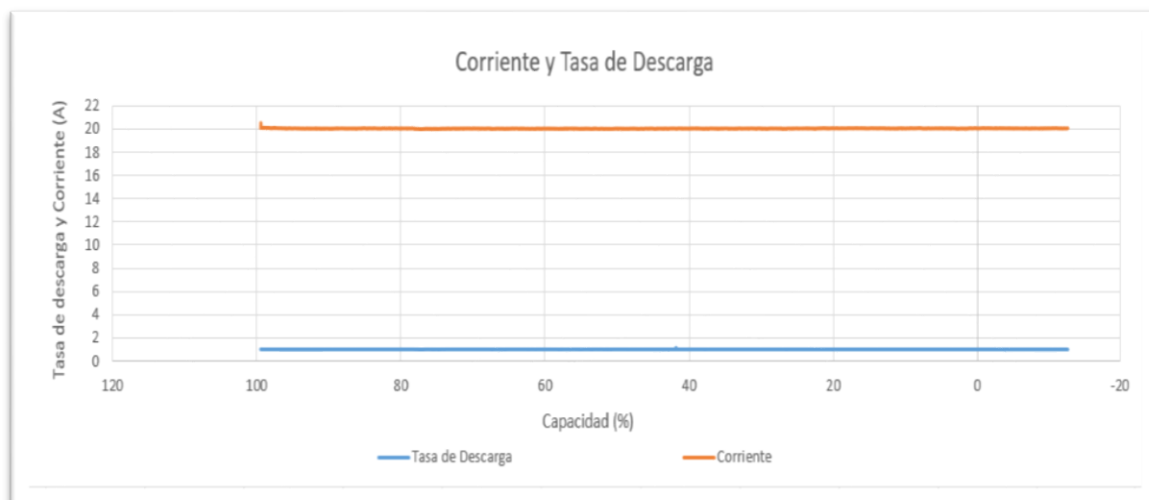


Ilustración 123 (Equipo profesional - Tasa de descarga)

El proceso de carga es exactamente igual que en el apartado 6.2.2.2.

6.2.3. Ensayos realizados con un Equipo de Precisión

En este apartado se presentan y analizan los resultados obtenidos por el centro tecnológico y de investigación de Tecnalía. En este caso, a partir del fichero de datos que proporciona esta empresa, se calculan los valores necesarios para poder realizar un estudio similar al que se realiza mediante los datos que se obtiene a tiempo real en el sistema desarrollado en el presente trabajo.

6.2.3.1. Etapa de Descarga

En esta primera imagen que se muestra a continuación, se puede observar la curva de descarga que se obtiene a partir de los datos que obtienen en el laboratorio de Tecnalía. En este caso las gráficas muestran que en el ensayo de descarga también se extrae una capacidad superior a la indicada por el fabricante, exactamente 2.46Ah mas de capacidad.

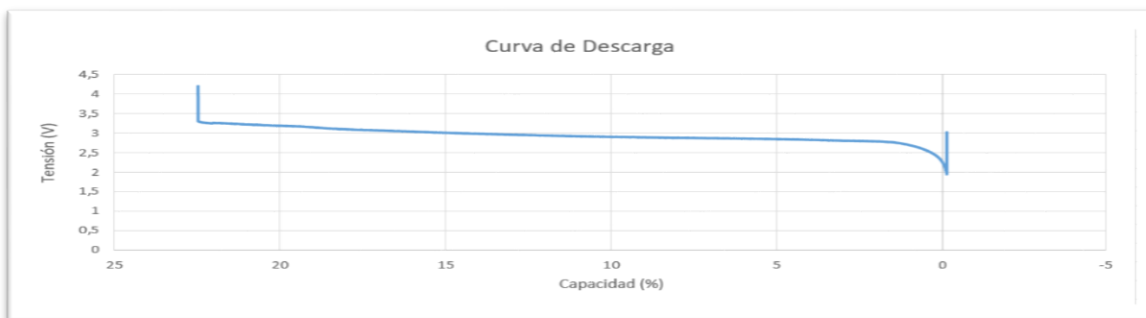


Ilustración 124 (Equipo profesional - Curva de Descarga - Ah)

En esta segunda imagen en lugar de utilizar la capacidad en Ah para representar la curva de descarga, utilizamos el estado de carga en tanto por cien calculado a partir de su paso temporal entre toma de datos, y las lecturas de corriente en cada instante. Y podemos observar que se extrae un 12.38% más de la capacidad que indica el fabricante.

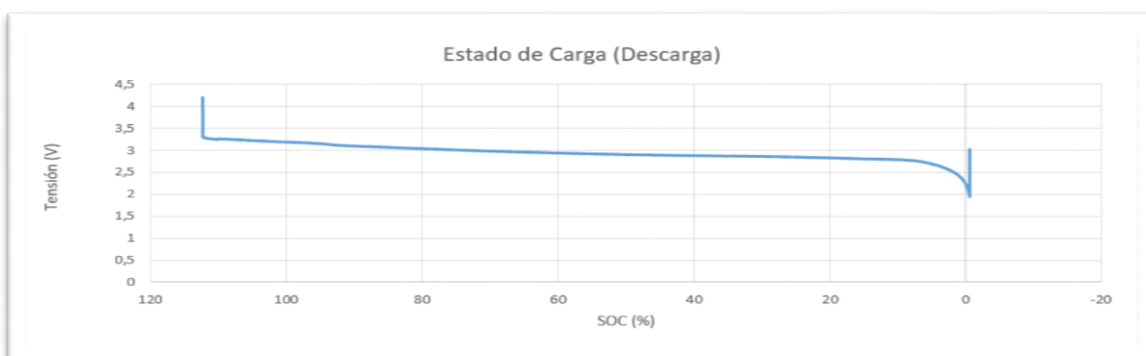


Ilustración 125 (Equipo profesional - Curva de Descarga - %)

En el caso de Tecnalía, también utilizan una carga electrónica programable, por lo que son capaces de mantener una corriente constante independientemente del aumento de temperaturas. En la siguiente imagen se puede ver la relación entre las temperaturas en diferentes puntos del acumulador y la corriente representada en color amarillo, que se mantiene constante durante todo el ensayo. En este caso la corriente que lee el sensor que tienen es negativa, y su valor de 40A, por lo que se trata de un ensayo de descarga profunda del acumulador con una tasa de descarga de 2C.

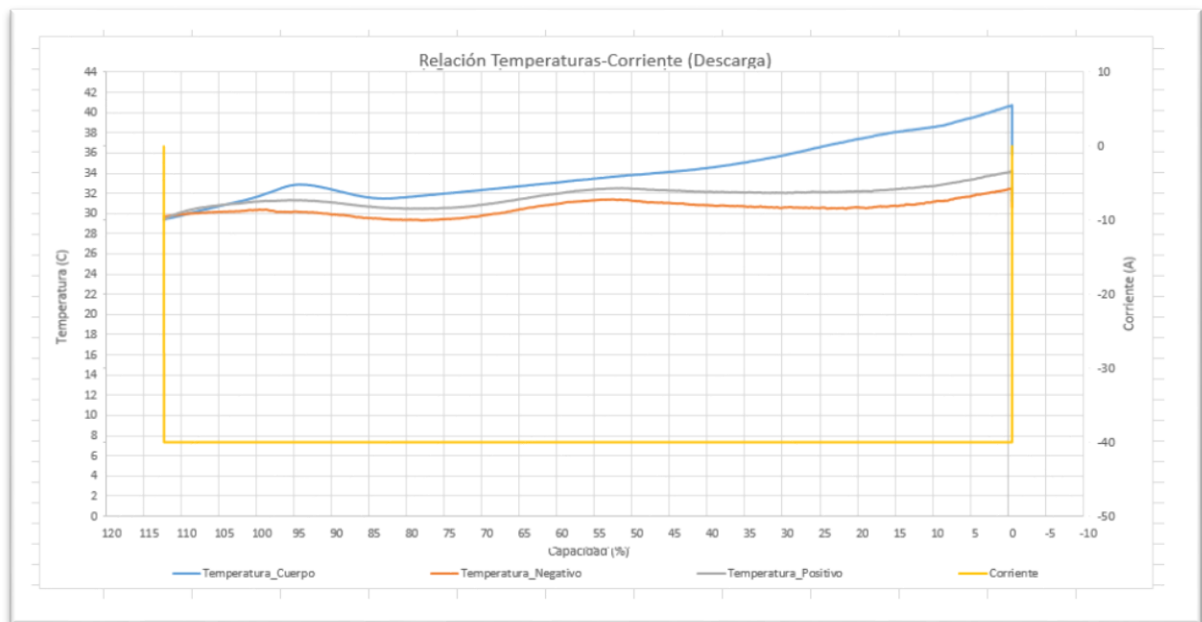


Ilustración 126 (Equipo profesional - Relación Temperaturas y Corriente durante la Descarga)

La temperatura máxima que alcanza el cuerpo es en la última fase de la descarga y tiene un valor de 40.49 °C. A continuación, se muestra en una gráfica la tasa de descarga que se mantiene constante al igual que la corriente a lo largo de todo el proceso de descarga.

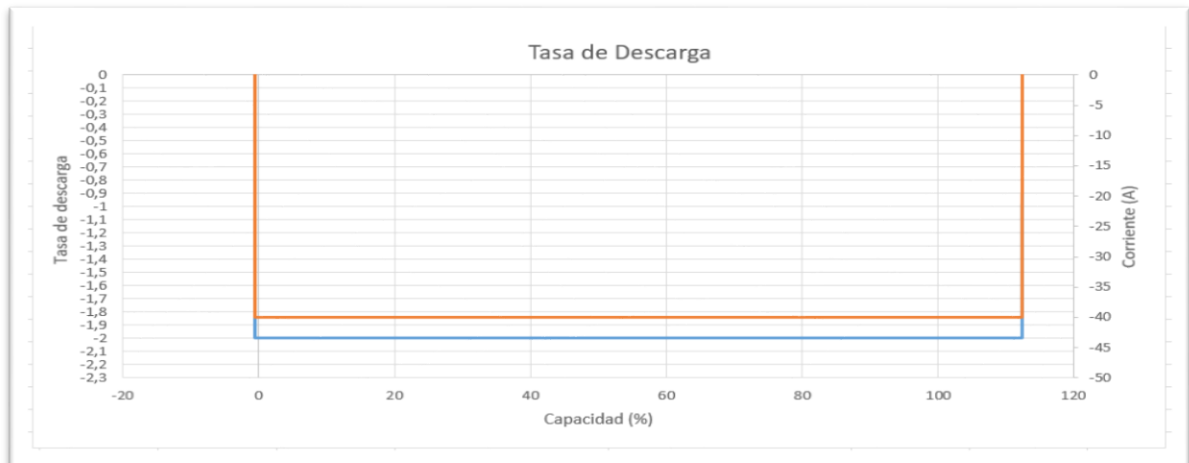


Ilustración 127 (Equipo profesional - Tasa de descarga)

Resultados

6.2.3.2. Etapa de Carga

En la siguiente imagen, se puede observar la curva de carga que se obtiene a partir de los datos que obtienen en el laboratorio de Tecnalía. En este caso como poseen de una fuente de alimentación programable, realizan una carga de forma constante, sin diferenciar entre un modo rápido y otro lento para la última fase de la carga. Como se puede apreciar en la representación de la curva, en la fase de carga también se suministra más capacidad de la que indica el fabricante, en este caso 2.46Ah de más.

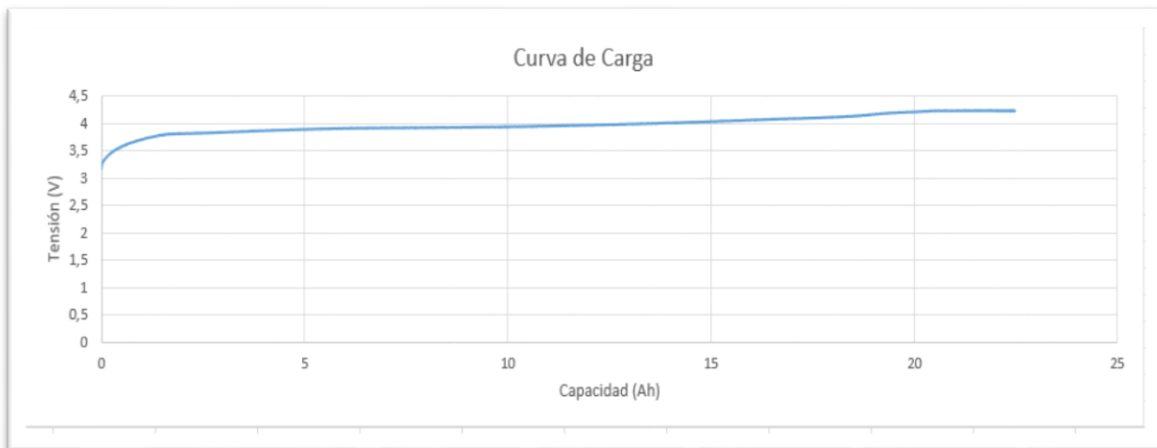


Ilustración 128 (Equipo profesional - Curva de Carga - Ah)

En esta segunda imagen en lugar de utilizar la capacidad en Ah para representar la curva de descarga, utilizamos el estado de carga calculado a partir de su paso temporal entre datos, y las lecturas de corriente en cada instante. Al igual que en el caso anterior, se puede observar que la capacidad total descargada del acumulador en tanto por cien es del 112.338%, por lo que se obtiene que se suministra un 12.38% más de la capacidad que puede almacenar el acumulador según el fabricante.

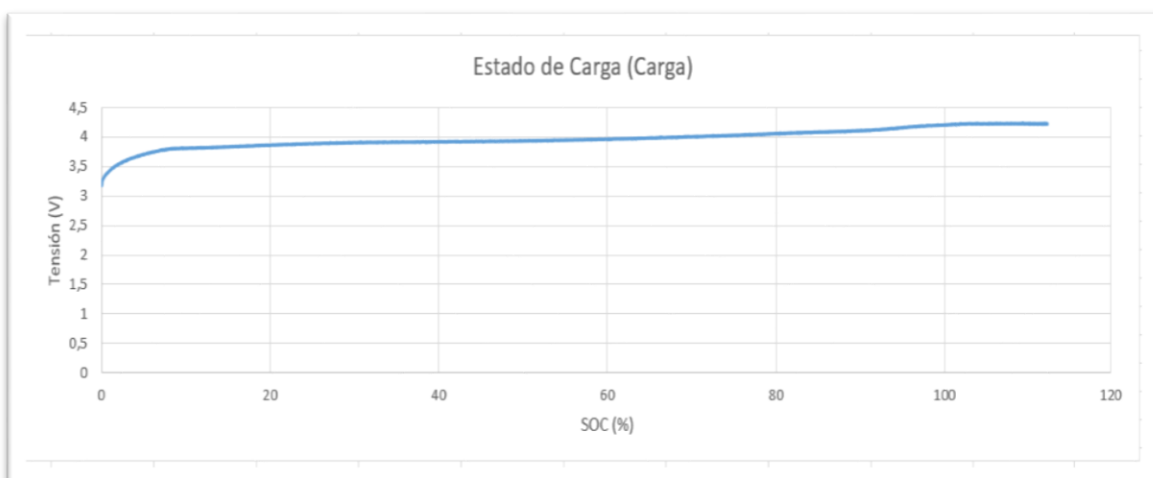


Ilustración 129 (Equipo profesional - Curva de Carga - %)

En el caso de Tecnalía, utilizan una fuente de alimentación programable, por lo que son también capaces de mantener una corriente constante independientemente del aumento de temperaturas en la fase de carga.

En la siguiente imagen se puede ver la relación entre las temperaturas en diferentes puntos del acumulador y la corriente representada en amarillo que se mantiene constante durante todo el proceso de carga. La temperatura máxima que alcanza el acumulador es de 31.402 °C.

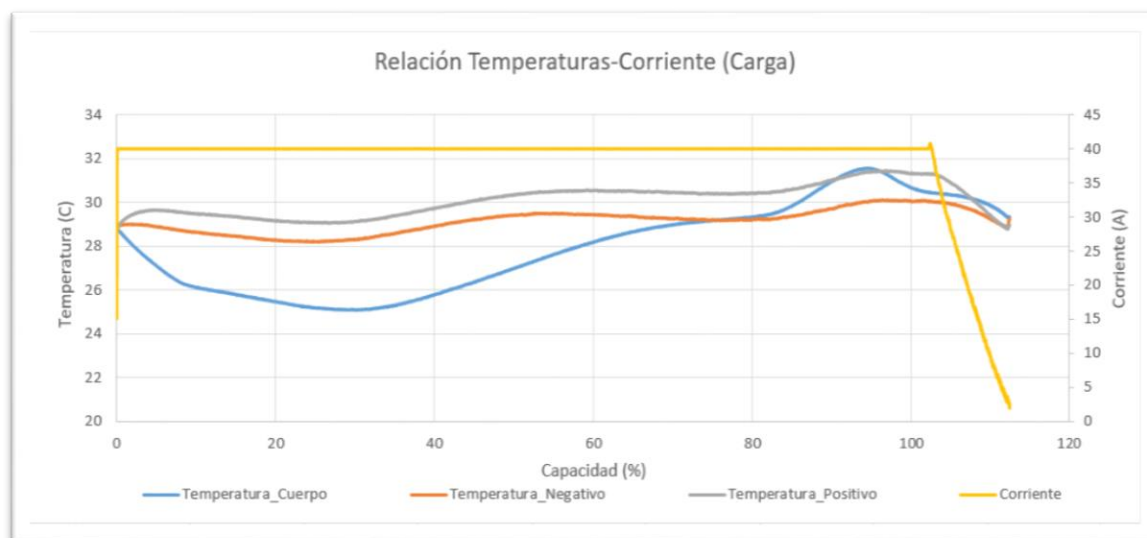


Ilustración 130 (Equipo profesional - Relación Temperaturas y Corriente durante la Carga)

A continuación, se muestra en una gráfica la tasa de carga que se mantiene constante al igual que la corriente a lo largo de todo el proceso de Carga. En este caso, se puede observar que la tasa de carga disminuye en la última fase de la carga, se asume que es una forma de proteger el acumulador, haciendo que disminuya la diferencia de potencial y por consiguiente circule menos corriente en esa fase.

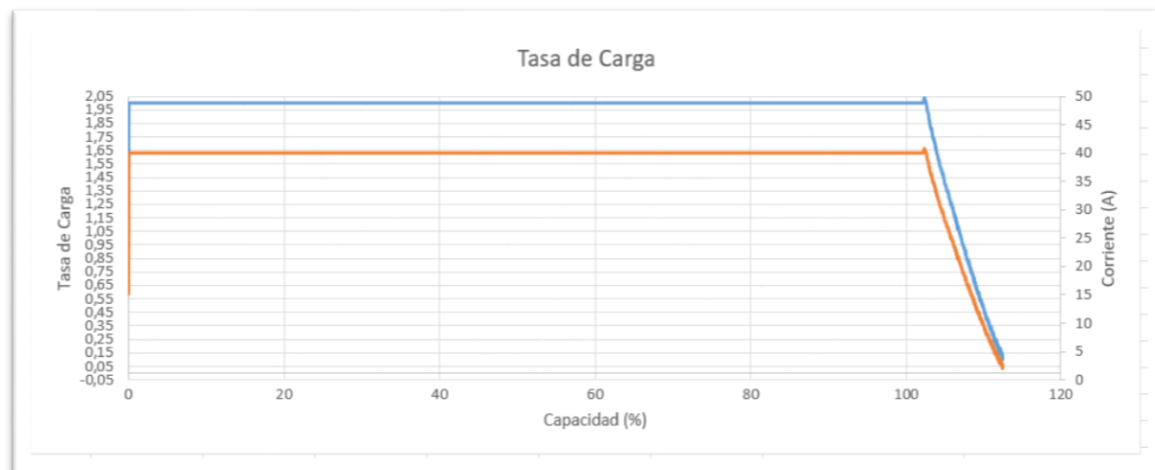


Ilustración 131 (Equipo profesional - Tasa de carga)

Resultados

6.2.4. Resumen de Resultados

A continuación, se muestra en la Tabla 2 el resumen que contiene los valores más destacables de los ensayos de descarga y en la Tabla 3 los resultados de los ensayos de la fase de carga.

Ensayo 1: Banco de pruebas desarrollado en el presente trabajo utilizando la carga resistiva

Ensayo 2: Banco de pruebas desarrollado en el presente trabajo utilizando la carga electrónica programable

Ensayo 3: Resultados obtenidos con equipos de precisión profesionales en el centro de investigación y de tecnología (Tecnalia)

Tabla 2 (Resumen de los ensayos de Descarga)

Tabla Resumen	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Magnitud	Descarga	Descarga	Descarga
I max	37,31 A	37,84 A	39,99 A
V inicial	4,217 V	4,22 V	4,217 V
V final	2,789 V	2,797 V	3,016 V
Tasa inicial	1,854 C	1,0035 C	1,99 C
Tasa final	1,292 C	1,004 C	1,998 C
Temp_Cuerpo	40,6°C	35,14°C	40,733 °C
Temp_Positivo	36,81°C	32,18°C	34,213 °C
Temp_Nevativo	39,54°C	33,72°C	32,522 °C
SOC inicial	100%	100%	112,34%
SOC final	-12,81%	-12,67%	-0,59%
SOC Total	112,81%	112,67%	112,93%

Tabla 3 (Resumen de los ensayos de Carga)

Tabla Resumen	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Magnitud	Carga	Carga	Carga
I max	73,47 A	72,46 A	40,848 A
V inicial	2,798 V	2,797	4,227 V
V final	4,217 V	4,23 V	3,174 V
Tasa inicial	3,152 C	3,677 C	2 C
Tasa final	0,4565 C	0,4445 C	0,1 C
Temp_Cuerpo	41,71°C	35,21	31,575 °C
Temp_Positivo	48°C	44,18	31,47 °C
Temp_Nevativo	63,81°C	58,24	30,126 °C
SOC inicial	0%	0%	0,01%
SOC final	112,32%	112,43%	112,34%
SOC Total	112,32%	112,43%	112,34%

Se puede observar que el estado de carga calculado en nuestro banco de pruebas es muy similar al que se calculan mediante los datos que se obtienen del fichero de Tecnalía. Por ello se procede a calcular el error absoluto tomando como datos fiables e ideales los resultados obtenidos mediante los instrumentos de precisión de Tecnalía.

Se procede a calcular los errores absolutos que se tienen en el sistema desarrollado en este trabajo. Para ello se comparan; el estado de carga obtenido a partir de los instrumentos de precisión profesionales en Tecnalía, con el estado de carga que se calcula en nuestro sistema. Se presenta a continuación una tabla con los errores absolutos.

Tabla 4 (Errores absolutos del sistema)

Errores absolutos	Tecnalía-Banco (Carga Resistiva)	
Fase	Descarga	Carga
Instrumentos de precisión	112,93%	112,34%
Banco de ensayos	112,81%	112,32%
Error	0,12%	0,02%
	Tecnalía-Banco (Carga Electrónica)	
Fase	Descarga	Carga
Instrumentos de precisión	112,93%	112,34%
Banco de ensayos	112,67%	112,43%
Error	0,26%	0,08%

Como se puede observar en la imagen anterior, el máximo error que tenemos es del 0.23% por lo que se puede considerar que es un banco de pruebas con una gran precisión. Además, la energía extraída y suministrada es simétrica, por lo que se puede deducir que el sensor de efecto hall está bien calibrado y la histéresis no está afectando en gran escala a los resultados.

7. CONCLUSIONES

En este apartado se exponen las conclusiones obtenidas en el presente trabajo.

En primer lugar, el banco de pruebas para caracterizar contactos permitirá a futuros equipos que participen en la competición de Motostudent, realizar ensayos y utilizar el sistema para diseñar de forma más eficiente. Además, el propio banco se puede utilizar para mejorar el sistema de sujeción que se usa en este trabajo.

En los resultados se observa que el calor en el contacto se distribuye de forma homogénea, esta característica se atribuye a que la superficie de contacto es mayor y la presión que se aplica sobre el mismo es uniforme.

Este banco de ensayos se puede utilizar también para analizar el comportamiento de diferentes materiales, interpretando el comportamiento que tiene cada uno de ellos. También se pueden ensayar cables, "busbar" y fusibles auto-rearmables para analizar el comportamiento que presentan a altas corrientes en régimen permanente.

En segundo lugar, mediante los resultados obtenidos en el banco de baterías, se concluye que el fabricante vende un acumulador con más capacidad de la que indica. De esta forma asegura su comportamiento, y que suministra la energía que se indica en la hoja de datos del acumulador.

Se trata de un banco de ensayos que cuenta con un error absoluto que no supera el 0.5% de error respecto a los resultados obtenidos en el centro tecnológico y de investigación de Tecnalia. Se dispone de sensores más económicos que los equipos de precisión utilizados en dicha empresa y se obtienen resultados eficientes y precisos. El cálculo del estado de carga en este banco de pruebas es preciso, y se puede utilizar dicho valor para analizar el comportamiento de la batería en diferentes perfiles.

El uso de LabView para desarrollar la interfaz de usuario utilizado en ambos bancos, ha demostrado ser una herramienta potente y gratuita para diseñar entornos gráficos de gran utilidad e intuitivos que ayudan al usuario a utilizar el sistema sin mayor problema.

En definitiva, se concluye que la creación de los bancos, es de vital importancia para diseñar y dimensionar de forma óptima y eficiente una batería para un vehículo eléctrico. Esto puede permitir a las empresas un ahorro económico, buscar la mejor relación peso/energía del acumulador, y asegurar el correcto funcionamiento y suministro de energía del mismo.

7.1. LÍNEAS FUTURAS

En primer lugar, para el banco de pruebas para validar contactos eléctricos y analizar el comportamiento de la unión, se plantea una mejora del sistema de sujeción del contacto en el banco de pruebas. Para llevar a cabo este estudio se podría utilizar el banco desarrollado en el presente trabajo y encontrar el mejor sistema de amarre para poder ensayar el contacto de la mejor manera posible.

En segundo lugar, se plantean posibles trabajos futuros para el banco de pruebas de baterías. Se propone adaptar el sistema diseñado y desarrollado para poder realizar ensayos a diferentes tasas de carga y descarga pudiendo analizar e interpretar el comportamiento del acumulador en diferentes perfiles de uso. Otro camino de investigación futura que se plantea consiste en adaptar el sistema para realizar ensayos de celdas conectadas en serie. De esta forma pudiendo interpretar el comportamiento de un módulo, y ver las corrientes internas que puedan ocasionar daños en el acumulador. Con estas mejoras se podría ampliar el conocimiento, análisis e interpretación del comportamiento de la batería.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «MS-2A - Circuit Breaker and Overcurrent Relay Test Set». [En línea]. Disponible en: <https://us.megger.com/circuit-breaker-and-overcurrent-relay-test-set-ms-2a#overview>. [Accedido: 17-dic-2018].
- [2] «MS2A.pdf». .
- [3] «MS-2A_UG.pdf». .
- [4] O. electronics GmbH, «CMC 356». [En línea]. Disponible en: <https://www.omcronenergy.com/es/productos/>. [Accedido: 18-ene-2019].
- [5] «Definición de DSP (Digital Signal Processor)», *Definición ABC*. [En línea]. Disponible en: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/dsp.php>. [Accedido: 20-ene-2019].
- [6] O. electronics GmbH, «CMC + Test Universe». [En línea]. Disponible en: <https://www.omcronenergy.com/es/soluciones/>. [Accedido: 20-ene-2019].
- [7] «CMC 356 Reference Manual», p. 142.
- [8] D. F. F. Coral, «PRUEBAS DE CAMPO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS FUNCIONES DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA EN RELÉS DE PROTECCIÓN NUMÉRICOS», p. 148, 2011.
- [9] «OMROM CMC356 Datasheet». .
- [10] «Fuentes CC alta potencia», *Instrumentos de Medida, S.L.* .
- [11] «SH15-Q2 | Fuente de alimentación de modo conmutado (SMPS) integrada, 1.5kW, 1 salida, Tensión 3.3V dc, Corriente 300A | RS Components». [En línea]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/p/fuentes-de-alimentacion-de-modo-conmutado-smps-integradas/8913327/>. [Accedido: 21-ene-2019].
- [12] «SHP-Heavy-Duty-Modular-Power-Supplies-8876.pdf». .
- [13] «PBA1500T-5 | Fuente de alimentación conmutada integrada (SMPS), 1.5kW, 1 salida, Tensión 5V dc, Corriente 300A | RS Components». [En línea]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/p/fuentes-de-alimentacion-de-modo-conmutado-smps-integradas/1327423/>. [Accedido: 21-ene-2019].
- [14] «SFE_PBA300-1500-335378.pdf». .
- [15] «Nuevo analizador de baterías BT521 de Fluke – TDP Dominicana». .
- [16] «Instrumentos de prueba y medida y software de Fluke». [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-es>. [Accedido: 23-ene-2019].
- [17] «Tekbox TBOH02 Self Powered Active Load», *Tekbox Digital Solutions*. .
- [18] «SBSBattery: Forklift Battery, Stationary, Chargers & Testing Equip». [En línea]. Disponible en: <https://www.sbsbattery.com/>. [Accedido: 24-ene-2019].
- [19] «Digital Battery Impedance and Voltage Tester | SBS-6500». [En línea]. Disponible en: <https://www.sbsbattery.com/products-services/by-product/battery-test-equipment-1/internal-resistance-testing-kits/internal-resistance-tester.html>. [Accedido: 24-ene-2019].
- [20] «SBS-6500-Datasheet». .
- [21] «SBS-6500-Battery-Analyzer-Manual.pdf». .

- [22] «DC Load Banks | Battery Capacity Testers | Battery Discharge Testers». [En línea]. Disponible en: <https://www.sbsbattery.com/products-services/by-product/battery-test-equipment-1/dc-load-banks-battery-capacity-testers.html>. [Accedido: 24-ene-2019].
- [23] «SBS-8400 Datasheet». .
- [24] «SBS-8400 Modulos inalambricos». .
- [25] «SBS-8400 Manual de usuario». .
- [26] «Battery Test Equipment», *Arbin Instruments*. .
- [27] «Battery Module Test Equipment», *Arbin Instruments*. .
- [28] «Regenerative Battery Pack Test Equipment», *Arbin Instruments*. .
- [29] «Software», *Arbin Instruments*. .
- [30] «Battery Cell Test Equipment», *Arbin Instruments*. .
- [31] «Industry standard battery technology validation tool, lab-grade battery test system, and load capture unit. | Cadex Electronics». [En línea]. Disponible en: <https://www.cadex.com/en/products/c8000-battery-testing-system>. [Accedido: 02-feb-2019].
- [32] «BU-302: Configuraciones de Baterías en Serie y Paralelo – Battery University». [En línea]. Disponible en: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_302_configuraciones_de_baterias_en_serie_y_paralelo. [Accedido: 22-sep-2019].
- [33] «AAF4000COL10.pdf». .
- [34] «Ultrasonic Metal Welding for Lithium-Ion Battery Cells», *EWI*, 15-sep-2014. .
- [35] R. G. Ledesma, «UNIONES ESTRUCTURALES MECÁNICAS Y ADHESIVAS. CONDICIONES SUPERFICIALES Y OPERACIONALES», p. 236.
- [36] «La soldadura». [En línea]. Disponible en: <http://electronica.ugr.es/~amroldan/asignaturas/curso03-04/cce/practicas/soldadura/soldadura.htm>. [Accedido: 22-sep-2019].
- [37] «Sistema de clinchado Rivclinch - Metalmecánica - Sistema de clinchado». [En línea]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Sistema-de-clinchado-Rivclinch-57086.html>. [Accedido: 22-sep-2019].
- [38] «Significado de Batería», *Significados*. [En línea]. Disponible en: <https://www.significados.com/bateria/>. [Accedido: 02-sep-2019].
- [39] G. Lara, «Cómo funciona una batería», *Motorpasión*, 05-feb-2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/como-funciona-una-bateria>. [Accedido: 02-sep-2019].
- [40] «Regenbat - Especialista en regeneración de baterías >> Baterías >> Definición y tipos de baterías .» [En línea]. Disponible en: <http://www.regenbat.com/tipos-regenbat-regeneracion-baterias.php>. [Accedido: 02-sep-2019].
- [41] «¿Cómo funcionan las baterías de plomo ácido?» [En línea]. Disponible en: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/como-funcionan-las-baterias-de-plomo-acido>. [Accedido: 17-nov-2019].
- [42] «Baterías de NiCd y NiMH». [En línea]. Disponible en: <https://www.icmm.csic.es/jaalonso/velec/baterias/bateria.htm>. [Accedido: 17-nov-2019].

Bibliografía

- [43] «Funcionamiento de una batería de ion-litio - El Blog de Ignacio Mártel». [En línea]. Disponible en: <https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2019/02/21/funcionamiento-de-bateria-de-ion-litio/>. [Accedido: 17-nov-2019].
- [44] «Tipos de Baterías Eléctricas y Acumuladores - Baterías de Grafeno», *Baterías de Grafeno: Precio y Características*, 27-ago-2016. .
- [45] «12 TIPOS DE BATERIAS | Nombres, comparación, características y usos», *247 Tecno*, 20-may-2018. .
- [46] «Súper baterías de grafeno: El descubrimiento español del siglo XXI | Blog buscador de talleres». [En línea]. Disponible en: <https://buscadordealleres.com/blog/super-baterias-de-grafeno-el-descubrimiento-espanol-del-siglo-xxi/>. [Accedido: 04-sep-2019].
- [47] «Tensión nominal». [En línea]. Disponible en: <https://solar-energia.net/definiciones/tension-nominal.html>. [Accedido: 17-nov-2019].
- [48] «Elevating Self-discharge - Battery University». [En línea]. Disponible en: https://batteryuniversity.com/learn/article/elevating_self_discharge. [Accedido: 17-nov-2019].
- [49] «Midiendo la resistencia interna de una batería - AEROMODELISMOFACIL». [En línea]. Disponible en: http://www.aeromodelismofacil.com/elec_resistenciainterna.htm. [Accedido: 17-nov-2019].
- [50] A. A. C. Sillero, N. V. Nava, C. V. H. Gutiérrez, J. V. Nava, y J. V. López, «REVISIÓN DE MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS ESTADOS DE CARGA Y SALUD DE UNA BATERÍA», vol. 39, n.º 128, p. 17, 2017.
- [51] C. Osorio, «Método de estimación de carga para baterías de Litio Polímero basado en Filtro Kalman Extendido Robusto», 2015.
- [52] I. Baccouche, S. Jemmali, A. Mlayah, B. Manai, y N. E. B. Amara, «Implementation of an Improved Coulomb-Counting Algorithm Based on a Piecewise SOC-OCV Relationship for SOC Estimation of Li-Ion Battery», p. 10.
- [53] «manual-55505ac7426b9_ingles.pdf». .
- [54] «MDD44-12N1B.pdf». .
- [55] «0900766b810eb302.pdf». .
- [56] «Sensor de temperatura MLX90614 - Naylamp Mechatronics - Perú». [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/330-sensor-de-temperatura-mlx90614.html>. [Accedido: 21-nov-2019].
- [57] «MLX90614_rev001.pdf». .
- [58] «Cámara termográfica testo 882 | Medición termográfica | Termografía | Industria | Target groups | Instrumentos Testo S.A.» [En línea]. Disponible en: https://www.testo.com/es-ES/camara-termografica-testo-882/p/0560-0882?gclid=Cj0KCCQiAiNnuBRD3ARIsAM8Kmlsv7gLrINIQmuzQYrNGsFsdaMIRz-9I_8LAVNljoOnof3SkFfMn-aIaAiSnEALw_wcB. [Accedido: 21-nov-2019].
- [59] «EPA096190SP 20Ah 3.7V 15C V.1.0 (2).pdf». .
- [60] «HS-Datasheet3-779273.pdf». .
- [61] «se-350-spec.pdf». .
- [62] «0900766b814ac38a.pdf». .

- [63] «IRFZ44N-Inchange-Semiconductor-datasheet-15981338.pdf» . .
- [64] «30908.pdf» . .
- [65] kang-kang, *kang-kang/MCP3421*. 2017.
- [66] «ads1114.pdf» . .
- [67] «ADS1115.pdf» . .
- [68] «ads1113.pdf» . .
- [69] P. Easton, *engineertype/MAX31856*. 2019.
- [70] «MAX31856.pdf» . .
- [71] «adafruit-max31856-thermocouple-amplifier.pdf» . .
- [72] «0900766b8157a829.pdf» . .
- [73] «062475NENN100_ES (6).pdf» . .

Relación de documentos

(X) Memoria	137	páginas
(_) Anexos	119	páginas

La Almunia, a 27 de noviembre de 2019

Firmado: Igor Martos Iza