



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Análisis de los gases generados durante el proceso de
fuga térmica en celdas de ion-litio en función del estado de
carga

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Esparza Herrero, Miguel

Tutor/a: Monsalve Serrano, Javier

Cotutor/a: García Martínez, Antonio

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Agradecimientos

En primer lugar, dar las gracias al departamento de Máquinas y Motores Térmicos-CMT de la Universitat Politècnica de València por permitirme realizar el proyecto en sus instalaciones, dándome todos los recursos y ayudas que me han permitido su realización.

En segundo lugar, darle las gracias tanto a mi tutor, Javier Monsalve-Serrano, como a mi cotutor, Antonio García, por las cosas que me han permitido aprender durante la realización del proyecto, tanto a nivel profesional como personal. Por otro lado, agradecer a los doctorandos, especialmente a Carlos Rafael Guaraco Figueira, que han estado trabajando junto a mi estos últimos meses y han sido clave para la realización del proyecto resolviendo dudas y aconsejándome.

Y finalmente agradecer a mi familia, tanto a mi madre, padre como hermanos por el apoyo incondicional, y la motivación que me han dado durante estos meses de realización del proyecto.

Gracias.

Resumen

El objeto de este Trabajo de Fin de Grado es el estudio de los gases emitidos por las celdas de litio cuando estas se someten a un proceso de fuga térmica, en función de su estado de carga. La fuga térmica es una reacción de sobrecalentamiento debido a una reacción química que provoca un proceso de liberación de energía generando diferentes consecuencias como liberación de calor, gases y partículas. Además, las baterías de litio cada vez van ganando importancia en más sectores, por lo que es tan necesario conocer estos peligros y lo que conllevan.

En este trabajo se evalúa uno de los riesgos generados por la fuga térmica, los gases producto de la reacción de combustión de diferentes celdas de ion-litio. Analizando los diferentes tipos de gases que se generan en función del estado de carga, determinando en que aspectos influye esta variante y sacar sus pertinentes conclusiones.

A lo largo del Trabajo de Fin de Grado, se muestran los pasos y metodologías que se han seguido para realizar este estudio de forma experimental y su posterior análisis de resultados. Para llevar a cabo este proyecto se han realizado ensayos experimentales en un canister preparado para provocar la combustión de las celdas de ion-litio con un estado de carga del 100%, 75% y 50%.

Como conclusión principal de este trabajo se ha determinado cuales han sido los gases emitidos por las baterías de litio, sacando como conclusión la clara influencia del estado de carga en los gases generados, haciendo que a menor porcentaje de estado de carga mayor cantidad de hidrocarburos emite la celda. Por otra parte, también se han sacado conclusiones respecto a la influencia del estado de carga en aspectos como temperaturas y presiones alcanzadas, así como cantidad de energía liberada por las celdas.

Palabras clave: Gases, Baterías, Litio, Estado de carga, Fuga térmica.

Índice general

DOCUMENTO 1: MEMORIA.....	11
Capítulo 1: Introducción.....	12
1.1 Objeto.....	13
1.2 Antecedentes	13
1.3 Motivación y justificación.....	14
1.4 Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030...	15
1.5 Viabilidad del proyecto	16
1.6 Estructura del proyecto.....	17
Capítulo 2: Conceptos previos.....	18
2.1 Introducción	19
2.2 Contexto de las baterías de ion-litio.	19
2.3 Funcionamiento de las baterías de ion-litio.....	20
2.4 Diferentes químicas principales de ánodo y cátodo de las baterías ion-litio.	21
2.5 Diferentes tipos principales de electrolitos.	23
2.6 Proceso de fuga térmica.....	24
2.7 Resumen y conclusiones.	24
Capítulo 3: Herramientas experimentales y teóricas.....	26
3.1 Introducción	27
3.2 Descripción de la sala de ensayos.	27
3.3 Conceptos teóricos.....	37
Capítulo 4: Metodología y resultados.....	42
4.1 Metodología.....	43
4.2 Resultados.....	47
Capítulo 5: Conclusiones.....	55
5.1 Introducción.....	56
5.2 Conclusiones.....	56
5.3 Trabajos futuros.....	57
Capítulo 6: Referencias bibliográficas	58
DOCUMENTO 2: PLIEGO DE CONDICIONES.....	61
1. Introducción	63
2. Condiciones generales.....	63
3. Condiciones particulares	68

DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO	72
1. Introducción	74
2. Descripción del método presupuestado	74
3. Justificación de los precios	76
4. Cuadro de precios descompuestos	77
5. Presupuesto total	81

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Predicción demanda baterías eléctricas. (7)	15
Ilustración 2. Estructura interna celda (8).....	20
Ilustración 3. Proceso de carga y descarga de una celda de litio (9).....	20
Ilustración 4. Esquema montaje experimental	27
Ilustración 5. LG INR18650-MH1.....	28
Ilustración 6. Calorímetro de tasa de aceleración EV+(11)	29
Ilustración 7. Interior calorímetro(11)	30
Ilustración 8. Fuente de alimentación LBT21084HC-5V-30a-8CH(12)	31
Ilustración 9. Holder.....	31
Ilustración 10. Canister.....	32
Ilustración 11. Soporte celda. Canister	33
Ilustración 12. Termopar	33
Ilustración 13. Cromatógrafo 990 Micro GC(14).....	34
Ilustración 14. Sensor de presión.....	35
Ilustración 15. Yokogawa dl850v(15)	36
Ilustración 16. Ciclo CC-CV (17).....	37
Ilustración 17. Montaje acondicionamiento celdas	43
Ilustración 18. Celda con cinta térmica.....	45
Ilustración 19. Esquema montaje final ensayo	46
Ilustración 20. LG 100%SOC Temperatura y Presión.	47
Ilustración 21. LG 75%SOC Temperatura y Presión.	48
Ilustración 22. LG 50%SOC Temperatura y Presión.	49
Ilustración 23.LG incremento Temperatura.....	50
Ilustración 24.LG Energía liberada por las celdas.....	51
Ilustración 25. LG Composición gases venteados	52
Ilustración 26. LG Composición gases venteados (Hidrocarburos).....	53

Índice de tablas

Tabla 1. Características LG INR18650-MH1.....	28
Tabla 2. Parámetros modelo teórico.....	41
Tabla 3. Características ordenador	63
Tabla 4. Características fuente alimentación	63
Tabla 5. Características cromatógrafo	64
Tabla 6. Cuadro de precios de amortización de equipos.	78
Tabla 7. Precios descompuestos. Partida de reuniones.....	78
Tabla 8. Precios descompuestos. Partida de realización de ensayos.	79
Tabla 9. Precios descompuestos. Partida de procesado de datos.	80
Tabla 10. Precios descompuestos. Partida de material fungible.	80
Tabla 11. Precios descompuestos. Partida de redacción del proyecto.....	80
Tabla 12. Presupuesto total.	81

Tabla de Símbolos

CO ₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
N ₂	Nitrógeno
O ₂	Oxígeno
H ₂	Hidrógeno
CH ₄	Metano
C ₂ H ₄	Etileno
C ₂ H ₅	Etilo
C ₃ H ₆	Propeno
C ₃ H ₈	Propano
SOC	Estado de carga (State of charge)
CMT	Centro de Motores Térmicos
LCO	Óxido de Cobalto-Litio
LNO	Óxido de Níquel-Litio
LMO	Óxido de Manganeso-Litio
LFP	Fosfato de Hierro-Litio
NMC	Óxido de Cobalto-Níquel-Manganeso-Litio
NCA	Óxido de Aluminio-Cobalto-Níquel-Litio
LTO	Óxido de Titanio-Litio
dQ	Derivada de la capacidad
dV	Derivada del voltaje
HPC	Eficiencia culómbica
CG	Cromatógrafo de Gases
CC-CV	Corriente constante-voltaje constante
<i>Tasa C</i>	Tasa de descarga
I_{Bat}	Capacidad nominal de la celda
C_{Bat}	Capacidad batería
C_{nom}	Capacidad nominal batería

I Corriente de descarga

E_{Total} Energía total liberada

E_{gas} Energía reacciones entre el aire y los gases

E_{celda} Energía reacciones dentro de la celda

h_{vent} Entalpía de los gases ventilados

ΣQ_s Suma de todos los términos de transferencia de calor entre los gases y el ambiente

dm_{gas} Variación de masa de los gases dentro del canister

$\frac{dU_{gas}}{dt}$ Variación de la energía interna de los gases en el canister

$h_{f,vent}^0$ Entalpía liberada por los gases venteados

$c_{p,vent}$ Capacidad calorífica de los gases venteados a presión constante

$u_{f,vent}^0$ Energía interna específica a de los gases venteados

$c_{,vent}$ Capacidad específica de los gases venteados a volumen constante

R_{gas} Constante específica de los gases

T_{celda} Temperatura de la celda

$u_{vent,Tgas}$ Energía interna específica de la masa de material venteado

$u_{vent,Tcelda}$ Energía interna específica de la masa del material venteado

T_{gas} Temperatura del gas

$C_{v,gas}$ Capacidad calorífica específica a volumen constante

P_{gas} Presión dentro del canister

$V_{canister}$ Volumen canister

R_u Constante de gases universales

M_i Masa molar de la especie de gas venteado

h_{celda} Coeficiente de transmisión de calor por convección

A_{celda} Área total de transferencia de calor de la celda

D Diámetro celda

K conductividad del gas

R_a Número de Rayleigh

P_r Número de Prandtl

m_{celda} Masa de la celda

$C_{p,celda}$ Capacidad calorífica de la celda

DOCUMENTO 1: MEMORIA

Capítulo 1: Introducción.

1.1 Objeto .....	.....
1.2 Antecedentes .....	.....
1.3 Motivación y justificación .....	.....
1.4 Relación del trabajo con los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 ....	.....
1.5 Viabilidad del proyecto .....	.....
1.6 Estructura del proyecto.....	.....

1.1 Objeto

El presente proyecto tiene como objeto llevar a cabo el estudio exhaustivo sobre uno de los principales peligros relacionados con las celdas de ion-litio, específicamente, los gases emitidos en función diferentes estados de carga cuando se produce lo que se conoce como fuga térmica, esta es una reacción de calentamiento de la celda en su uso, influenciada por la química utilizada en la celda.

Así pues, se ha realizado una investigación con el fin de determinar cuál es la influencia del estado de carga al producirse este fenómeno y poder analizar los gases emitidos y los riesgos asociados a ellos. Para llevar a cabo dicha investigación, se han realizado ensayos en los cuales se ha hecho uso de un canister en el que se ha provocado la combustión de la celda, así como un cromatógrafo para análisis de gases y softwares de análisis y procesado de datos.

Este estudio tiene un carácter técnico y científico, y se pretende que los resultados que han sido obtenidos sean precisos y concluyentes para que permitan mejorar la seguridad en el uso de celdas de ion-litio. Además, se espera que los hallazgos de este estudio puedan sentar las bases para investigaciones posteriores y futuros avances en este campo.

1.2 Antecedentes

Para el proyecto se ha realizado una investigación detallada de estudios anteriores, publicados como investigaciones científicas y sacada de las bases de datos ScienceDirect y Publishing

La mayoría de los estudios de producción de gas respecto a las baterías de litio se han focalizado en la producción de gases en situaciones de sobrecalentamiento, centrándose en la composición y cantidad de gases de diferentes químicas de baterías ion-litio y en diferentes estados de carga. Los estudios han descubierto que la mayor parte del gas producido está formado por CO₂, CO, H₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₅, C₃H₆ y C₃H₈. Sin embargo, debido a las limitaciones que presentan la mayoría de los métodos e instrumentos no se pueden medir vapores orgánicos de polímeros provenientes del electrolito, solo pueden cuantificar tipos de gases limitados y no se suele tener en cuenta el oxígeno y el hidrógeno.

El proyecto de investigación realizado por Kaiyu Zou, Kun He y Shouxiang Lu(1) se enfoca en el análisis de la ventilación de baterías de iones de litio durante el fenómeno de fuga térmica. Los resultados indicaron que la composición de los gases producidos por la batería durante este fenómeno se vuelve más complejos y su concentración aumenta con el aumento del SOC (state of charge).

En la investigación realizada por Michael Lammer (2), se encontró que la cantidad de calor liberado y gases emitidos varía según el tipo de celda y se observó una emisión de gases inflamables como H₂ y CO, lo que aumenta el riesgo de incendio en caso de fallo en la batería.

El proyecto de investigación publicado por Andrey W. Golubkov, Sebastian Scheikl, René Plateu, Gernot Voitic, Helmar Wiltsche, Christoph, Gisela Fauler, Alexander Thaler y Viktor Hacker (3), se hizo uso de diferentes tipos de baterías sacando como principales hallazgos la influencia del material de la célula y su diseño en la temperatura máxima y en los gases liberados en condiciones de sobrecalentamiento térmico. También se determinó la influencia del SOC.

En el proyecto de Liming Yuan, Tom Dubaniewicz, Isaac Zlochower, Rick Thomas y Naseem Rayyan (4), llevaron a cabo experimentos para monitorear el calentamiento de una célula ion-litio con diferentes químicas de batería utilizando un calorímetro de tasa de aumento acelerado. Se midieron los principales componentes de gas y se midieron sus concentraciones. Determinando la influencia de la química en base a los resultados obtenidos.

El realizado por Robert W. Kennedy, Kevin C. Marr, Ofodike A. Ezakoye (5), se hicieron experimentos en un recipiente a presión para caracterizar los gases liberados de las baterías de iones de litio de óxido de cobalto de litio, incluyendo la liberación de gas, el volumen de gas producido y la composición del mismo. Se tuvieron en cuenta como variables el estado de carga y se utilizaron tanto celdas individuales como matrices de cinco y diez celdas.

Y por último en el estudio realizado por Sascha Korch, Alexander Fill y Kai Peter Birke (6), en el cual se realizaron mediciones en 51 celdas de iones de litio sometidas al proceso de fuga térmica para examinar el volumen la composición y la pérdida de masa de las emisiones de gas, así como para identificar los factores que influyen en los parámetros relacionados.

Otro de los aspectos a tener en cuenta es que las condiciones de realización de las pruebas variaron mucho. Algunas se realizaron en cámaras cerradas o espacios abiertos, otras se llenaron con gases inertes. Esta variabilidad en las condiciones de prueba puede dificultar la comparación de los resultados entre los diferentes estudios.

1.3 Motivación y justificación

En estos últimos años el sector de la automoción ha sido un foco de un gran interés para la preservación del medio ambiente debido a las emisiones contaminantes que producen los motores de combustión interna. Que este sector sea uno de los principales en cuanto a emisiones contaminantes hace que sea necesario la búsqueda de otras alternativas, por ello, la investigación de estas alternativas es tan importante.

Este interés por la búsqueda de alternativas más sostenibles ha provocado que se creen normativas que restringen cada vez más el uso de los vehículos convencionales de combustión. De hecho, se prevé que para el año 2035, se consiga una cero emisión de CO₂ en el sector de la automoción a nivel europeo. Ante este panorama, los vehículos eléctricos han emergido como la alternativa más viable, dado que en su funcionamiento no emiten gases contaminantes ni CO₂ contribuyendo a la reducción efecto invernadero.

Según estudios (7), la demanda de baterías eléctricas va a aumentar notablemente en los próximos años como consecuencia de esta medida, sobre todo en el sector de la automoción, pero también en otros, como se puede observar en el siguiente gráfico.

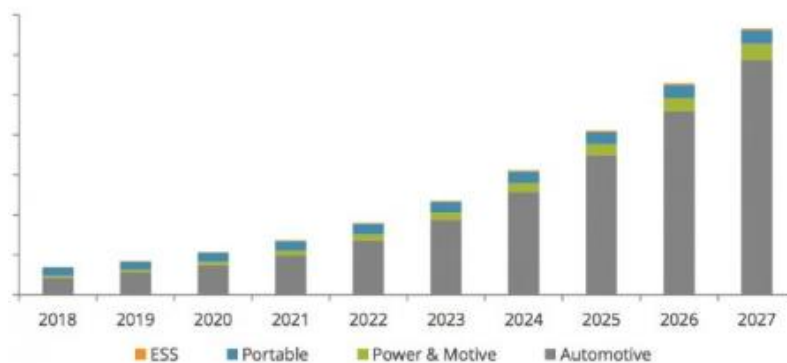


Ilustración 1. Predicción demanda baterías eléctricas. (7)

En este sentido, este tipo de tecnología ha evolucionado mucho durante los últimos años, y sobre todo se han desarrollado las baterías de ion-litio ya que estas presentan mayores ventajas frente a otros tipos, como la rapidez de su carga y durabilidad.

Si bien el uso de estas baterías puede ayudar a reducir las emisiones en el sector automotriz, es importante tener en cuenta que su uso conlleva ciertos riesgos y problemas que deben de ser evaluados. Por ello es necesario la realización de estudios e investigaciones de los riesgos asociados al uso de las baterías de ion-litio, dada su novedad y complejidad de esta tecnología.

1.4 Relación del trabajo con los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible es un marco estratégico global adoptado por 193 Estados miembros de las Naciones Unidas. Su objetivo principal es abordar los desafíos más urgentes que enfrenta nuestro mundo, centrándose en la erradicación de la pobreza y la promoción del desarrollo sostenible en todos los aspectos.

La Agenda consta de 17 objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que abarcan áreas clave como la educación, la salud, la igualdad de género, la energía limpia, la acción climática y la protección de los ecosistemas. Estos objetivos están interrelacionados y son indivisibles, lo que significa que el progreso en un área puede influir en otros.

La implementación de la Agenda 2030 requiere la colaboración de múltiples sectores, gobiernos, sector privado, sociedad civil y la comunidad internacional. Se hace hincapié en la movilidad de recursos financieros, tecnológicos y humanos, así como en la creación de alianzas solidarias para abordar las necesidades de las personas más vulnerables y marginadas.

Este proyecto contribuye a varios ODS relacionados con la protección del medio ambiente y la promoción de un desarrollo sostenible.

En primer lugar, se vincula con el ODS 7: Energía libre y no contaminante. Mediante el análisis de los gases emitidos durante el proceso de fuga térmica de las celdas, se busca comprender mejor el impacto ambiental de esta tecnología, y a su vez promover el desarrollo de soluciones más limpias y sostenibles en el sector energético.

En segundo lugar, este estudio está relacionado con el ODS 9: Industria, innovación e infraestructura. Al investigar los gases emitidos por las celdas de litio, se busca generar conocimiento y evidencia científica que pueda utilizarse para mejorar los procesos industriales y promover la innovación tecnológica en la fabricación de baterías más seguras y menos contaminantes.

En tercer lugar, lo podemos relacionar con el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles. A medida que las celdas de litio se utilizan cada vez más en vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía, es esencial comprender y controlar las emisiones de gases asociadas a su fuga térmica para garantizar la seguridad y la calidad del aire en las ciudades y comunidades.

Y en último lugar tenemos el ODS 12: Producción y consumo responsables. El análisis de los gases brinda información valiosa para promover prácticas más responsables en la fabricación y el uso de las celdas, fomentando la reducción de residuos y la gestión adecuada de los productos químicos involucrados.

Con todo esto podemos determinar que este proyecto busca contribuir al desarrollo de soluciones energéticas más limpias, promover la innovación industrial y garantizar ciudades sostenibles fomentando la producción y consumo más responsables.

1.5 Viabilidad del proyecto

Para llevar a cabo este proyecto es necesario realizar un análisis de viabilidad que contemple aspectos técnicos, económicos y humanos.

En cuanto a los aspectos humanos, este proyecto es viable ya que tenemos la colaboración del alumno, profesorado, doctorandos y trabajadores del Centro de Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia, lo que nos asegura la viabilidad desde este punto de vista.

En lo que respecta a los aspectos económicos, se requiere de muchos recursos ya que se tienen que realizar todos los ensayos necesarios para realizar el estudio. Ensayos los cuales demandan una gran cantidad de equipos y materiales, pero todos estos recursos ya están disponibles en el CMT, por lo tanto, están asegurados para llevar a cabo el estudio. Además, los softwares utilizados para el posterior análisis de datos también poseen sus licencias en el CMT, asegurando de esta forma todos los recursos económicos necesarios para la viabilidad del estudio.

En los aspectos técnicos, solo se tendrán en cuenta aquellos utilizados de forma directa en el proyecto, ente los cuales están las celdas, canister, fuente de alimentación, calorímetro, cromatógrafo y programas para análisis de datos. Todos ellos suministrados por el CMT, garantizando la viabilidad técnica del proyecto.

Para concluir podemos decir que este proyecto es viable ya que el CMT dispone de todos los recursos necesarios para llevar a cabo el estudio, tanto desde el punto de vista humano, técnico y económico.

1.6 Estructura del proyecto

A continuación, se va a desarrollar cual es la estructura que se lleva a cabo en el siguiente proyecto.

En primer lugar, se han desarrollado conceptos previos, centrándose en la situación actual de las celdas de litio, su funcionamiento, constitución, así como los diferentes tipos que existen.

Seguidamente se ha procedido exponer todas las herramientas que se han utilizado para llevar a cabo el proyecto y aspectos teóricos a tener en cuenta como el ciclo CC-CV, el concepto de SOC, así como el modelo teórico utilizado para el cálculo de la energía liberada por las celdas.

Finalmente se ha procedido a mostrar y a su vez analizar los resultados y sacar las pertinentes conclusiones.

Capítulo 2: Conceptos previos.

2.1	Introducción
2.2	Contexto de las baterías de ion-litio.
2.3	Funcionamiento de las baterías de ion-litio.
2.4	Diferentes químicas principales de ánodo y cátodo de las baterías ion-litio.
2.5	Diferentes tipos principales de electrolitos.
2.6	Proceso de fuga térmica.....
2.7	Resumen y conclusiones.

2.1 Introducción

A continuación, se han desarrollado una serie de puntos para tener una idea de cómo está el sector en la actualidad. En primer lugar, se ha descrito la situación en la que se encuentra actualmente las baterías de litio. En segundo lugar, se ha detallado de una forma más precisa como es el funcionamiento de las baterías de ion-litio y además se han descrito los tipos de baterías de ion-litio. Finalmente hace referencia a la fuga térmica y cuáles son las principales causas de esta.

2.2 Contexto de las baterías de ion-litio.

En la actualidad, la situación respecto a las baterías de litio está en constante movimiento y evolución. Las baterías de litio se utilizan en una amplia gama de dispositivos electrónicos, vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía renovable.

Este tipo de baterías cada vez son más asequibles y presentan mejores prestaciones. Además, su demanda está en constante aumento debido al creciente mercado de los vehículos eléctricos y dispositivos electrónicos portátiles.

Sin embargo, la producción y el reciclaje de baterías de litio todavía presentan desafíos importantes. La extracción de los materiales necesarios para su producción puede tener impactos ambientales significativos. Además, una vez acaba su vida útil es necesario tratarlas adecuadamente para evitar la contaminación que pueden llegar a generar. Por otro lado debido a que son tecnologías relativamente nuevas y que se están aplicando a sectores nuevos como es el de la automoción, es necesario conocer los riesgos que esta tecnología presenta en diferentes situaciones, por ello la investigación se ha centrado durante estos últimos años en los factores que pueden provocar riesgos y ver cómo actuar ante estos.

En resumen, las baterías de litio continúan siendo una tecnología en evolución y su impacto en la sociedad y en el medio ambiente sigue siendo un tema importante para considerar.

2.3 Funcionamiento de las baterías de ion-litio.

Una batería es un dispositivo electroquímico que funciona como un medio de almacenamiento de energía. La energía química almacenada en los materiales activos de los electrodos se convierte en energía eléctrica durante la reacción de oxidación-reducción que ocurre en la batería.

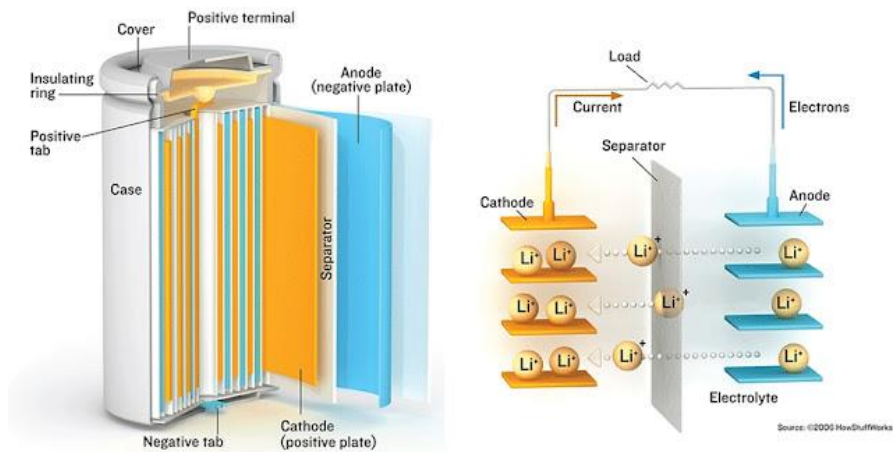


Ilustración 2. Estructura interna celda (8)

A nivel estructural, una batería está compuesta por una o más celdas electroquímicas. Cada celda consta de tres componentes principales componentes principales: un electrodo negativo (ánodo), un electrodo positivo (cátodo) y un electrolito que separa los dos electrodos. (8)

El ánodo y el cátodo están hechos de diferentes materiales, con diferentes propiedades electroquímicas. El electrolito es un material que permite la transferencia de iones entre los electrodos, mientras los mantiene físicamente separados. En algunas baterías, el electrolito es líquido, mientras que en otras es sólido o gelatinoso.

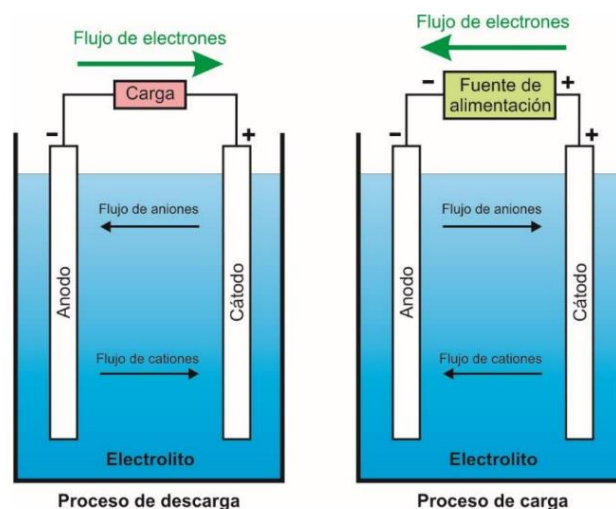


Ilustración 3. Proceso de carga y descarga de una celda de litio (9)

Cuando la batería se está cargando, los iones positivos se mueven desde el cátodo hacia el ánodo a través del electrolito, mientras que los electrones fluyen desde el ánodo hacia el circuito externo conectado a la batería. Cuando se descarga la batería, los iones positivos se mueven en dirección opuesta, del ánodo al cátodo, y los electrones fluyen hacia el cátodo a través del circuito externo.(9)

Además de los componentes básicos de una celda electroquímica, las baterías eléctricas también pueden tener otros componentes, como separadores que evitan el cortocircuito entre los electrodos y circuitos de protección que limitan la corriente y la temperatura de la batería para evitar daños y peligros.

2.4 Diferentes químicas principales de ánodo y cátodo de las baterías ion-litio.

Dentro del ámbito de las baterías de ion-litio, se puede identificar la existencia de diferentes composiciones químicas. Según la química del electrodo positivo se encuentran los siguientes tipos:

-Óxido de Cobalto-Litio (LCO) posee una alta energía específica, lo que significa que puede almacenar una alta cantidad de energía. Además, tiene un largo ciclo de vida, lo que implica que puede soportar múltiples ciclos de carga y descarga sin degradación significativa de su capacidad de almacenamiento de energía. En términos de fabricación, el LCO ofrece facilidad de manufacturación, lo que se traduce en un proceso relativamente sencillo y eficiente para su producción. Sin embargo, presenta poca estabilidad térmica, haciendo que pueda sufrir degradación a altas temperaturas y puede ser sensible a ciertos químicos o condiciones ambientales.

-Óxido de Níquel-Litio (LNO) posee la capacidad de proporcionar un alto voltaje de aproximadamente 4V, haciendo que tenga un buen potencial para generar una mayor energía eléctrica. Además, presenta una gran capacidad teórica de almacenamiento de hasta 250 Ah/kg. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la capacidad real puede ser menor debido a varios factores, como la eficiencia de la celda y las condiciones de funcionamiento. Presenta diferentes desventajas como son su manufacturación, ya que requiere un mayor grado de precisión y control. Además, se forman capas pasivadoras, películas delgadas que se forman en la superficie del electrodo y pueden limitar la eficiencia de carga y descarga de la batería.

-Óxido de Manganeso-Litio (LMO) presenta una resistencia interna muy pequeña, lo que implica que puede permitir el flujo de corriente de manera eficiente, resultando en una menor pérdida de energía durante la carga y descarga de la batería. Puede manejar grandes corrientes de carga y descarga, haciéndolas adecuadas para aplicaciones que requieren una alta demanda de energía en cortos periodos de tiempo. Sin embargo, presenta menor capacidad en comparación con otros materiales. Esta limitación en la capacidad influye en la duración y autonomía de los dispositivos o sistemas que utilizan baterías basadas en LMO. Su ciclo de vida es menor en comparación con otras químicas.

-Fosfato de Hierro-Litio (LFP) presenta una alta potencia específica, haciéndola ideal para aplicaciones donde se requiere una entrega y eficiente de energía. Su vida útil es larga haciéndola capaz de soportar numerosos ciclos de carga y descarga sin una degradación significativa de su capacidad de almacenamiento de energía. Pueden funcionar en un amplio rango de temperatura, haciéndola óptima para entornos variables. Sin embargo, presentan un ratio de autodescarga alto en comparación con otros tipos de baterías, implicando que la energía almacenada en las celdas se reduce gradualmente con el tiempo incluso cuando no se están utilizando. Presenta problemas de balanceo, haciendo que algunas celdas puedan cargarse o descargarse más rápido que otras en un mismo paquete de baterías, afectando a la vida útil y rendimiento del sistema.

-Óxido de Cobalto-Níquel-Manganeso-Litio (NMC), se considera una mejora de las LNO, ya que presentan mayor estabilidad en comparación. Soporta condiciones exigentes sin degradarse o sufrir daños significativos en su rendimiento. Exhibe tanto una alta energía específica como una alta potencia específica. Es ampliamente utilizado en vehículos eléctricos ya que combinan su alta capacidad, durabilidad y rendimiento. Es importante destacar que cada fabricante tiene su forma de composición específica de los materiales NMC utilizados en sus baterías.

-Óxido de Aluminio-Cobalto-Níquel-Litio (NCA) se destaca por ofrecer una alta energía y potencia específica, siendo una opción ideal para aplicaciones que demandan un rendimiento y eficiencia energética superiores. Presentan un largo ciclo de vida, pudiendo soportar numerosos ciclos de carga y descarga sin una degradación significativa. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el NCA requiere mayores requisitos de seguridad en comparación con otros materiales.

Según la química del electrodo negativo se encuentran los siguientes tipos:

-Carbono, se destaca por ser un material económico, lo que lo convierte en una opción atractiva desde el punto de vista de costos. En términos de rendimiento, el carbono presenta un buen desempeño en varias áreas. Proporciona una conducción eléctrica eficiente y tiene una alta conductividad térmica. Además, es resistente y duradero, lo que contribuye a su larga vida útil en diferentes aplicaciones. Su capacidad para almacenar y liberar energía es limitada en comparación con otros materiales utilizados en baterías. Una de sus limitaciones importantes a considerar es que el carbono reacciona con el oxígeno, lo que puede dar lugar a la formación de compuestos inflamables.

-Óxido de Titanio-Litio (LTO), destaca por su ciclo de vida extremadamente largo, lo que significa que puede soportar numerosos ciclos de carga y descarga sin una degradación significativa de su capacidad de almacenamiento de energía. Es considerado más seguro que el carbono. No reaccionan de forma desfavorable con el oxígeno ni presentan riesgos de incendio, lo que la convierte en la opción más segura para su uso en diversas aplicaciones. Pero presenta un bajo rendimiento a niveles altos de potencia, en situaciones de alta demanda de energía, su capacidad para entregar energía de manera

rápida y eficiente puede verse limitada. Además, tiene una capacidad limitada en comparación con otros materiales.

-Metal de Litio, es una gran mejora en términos de capacidad de almacenamiento de energía en comparación con el carbono. Puede ofrecer hasta diez veces más capacidad que el carbono. Sin embargo, hay que tener en cuenta que tiene un potencial, muy bajo, implicando que la capacidad para almacenar y liberar energía es limitada en comparación con otros materiales utilizados en baterías. Uno de los desafíos que presenta es el crecimiento de dendritas, que son estructuras ramificadas que pueden formarse durante el proceso de carga y descarga. Estas pueden provocar un cortocircuito en la batería, lo que representa un riesgo para su funcionamiento seguro y confiable. Además, conlleva riesgos de explosión si no se maneja correctamente debido a la reactividad química del litio con el aire o el agua, provocando reacciones violentas y liberación de gases inflamables.(9)

2.5 Diferentes tipos principales de electrolitos.

El electrolito es el medio que permite el movimiento de iones de litio de un electrodo a otro y evita el flujo de electrones a través de él. Se pueden encontrar dos tipos principales de electrolitos:

-Electrolitos en estado sólido. Este tipo de electrolito al ser el más nuevo se encuentra en proceso de desarrollo. El movimiento de los iones se produce en una estructura cristalina del material utilizado, en la cual deben haber vacantes que permitan el paso de los iones a través de ellos. Los electrolitos sólidos se dividen en tres familias, sulfuros, polímeros y óxidos. De todas ellas, los sulfuros presentan mejores cualidades en cuanto a conductividad y densidad haciendo que estos sean los más prometedores. Por otra parte, en cuanto a los polímeros presentan buena capacidad de contacto y seguridad, pero tienen como limitación la conductividad ya que depende de la temperatura ambiente. Y finalmente los óxidos se caracterizan por su complejo procesamiento y baja conductividad.

En la actualidad este tipo de electrolitos no están suficientemente desarrollados, ya que se enfrentan a problemas relacionados con el contacto entre electrodos y el electrolito provocando pérdidas. Además, se necesita más información del mecanismo del movimiento de los iones, así como cuestiones de seguridad.

-Electrolitos en estado líquido: Este tipo de electrolitos es el más utilizado, podemos encontrar dos tipos. El primero de ellos es el electrolito acuoso, siendo seguros y con un reducido impacto sobre el medio ambiente, pero limitados por su reducida ventana de potencial electroquímico. El segundo es el electrolito de líquido orgánico caracterizándose por su gran ventana de potencial electroquímico al utilizarse junto un solvente orgánico y sales de litio.(9)

2.6 Proceso de fuga térmica.

La fuga térmica en baterías es un fenómeno dinámico que se produce cuando estas liberan energía en forma de calor, producida por una reacción química exotérmica que se autorrefuerza. La fuga térmica en las baterías puede ser causada por una variedad de factores, como la resistencia interna, la carga y descarga excesiva, la sobrecarga, el sobrecalentamiento y cortocircuitos internos.

La resistencia interna es uno de los factores más importantes respecto a la fuga térmica. Cuando se está usando la batería, la resistencia interna genera calor que disipa parte de la energía generada por las reacciones químicas dentro de la batería. Si la resistencia es alta, el calor generado aumenta provocado que la fuga térmica aumente.

La sobrecarga y el sobrecalentamiento son otro de los factores que contribuyen a la fuga térmica en las baterías. Si una batería se carga o descarga en exceso, puede provocar un sobrecalentamiento haciendo que tal cantidad de calor no pueda disiparse adecuadamente. También, si se somete a temperaturas extremadamente altas, provoca que aparezca la fuga térmica.

Por último, lugar tenemos los cortocircuitos internos. Si dos partes de la batería con cargas opuestas se tocan accidentalmente, se produce un cortocircuito que puede generar calor y aumentar la fuga térmica.

Por lo cual, la fuga térmica en las baterías es un proceso complejo e influenciado por diferentes factores. Para evitarlo es necesario realizar investigaciones para determinar el comportamiento de este suceso y encontrar así la forma más segura de hacer uso de las baterías. En este estudio se va a determinar en que influye el estado de carga de la batería respecto a la fuga térmica.

2.7 Resumen y conclusiones.

En resumen, las baterías de litio están en constante evolución y se utilizan en diversos dispositivos y vehículos eléctricos. Aunque son cada vez más asequibles y eficientes, la producción y el reciclaje aún plantean desafíos. La extracción de materiales puede tener impactos ambientales y el manejo adecuado al final de su vida útil es crucial para prevenir la contaminación. Su funcionamiento se basa en el movimiento de iones entre los electrodos durante el proceso de carga y descarga.

Podemos encontrar diferentes composiciones químicas tanto de su electrodo positivo como del negativo. En el electrodo positivo tenemos LCO, LNO, LFP, NMC y NCA y en el electrodo negativo podemos encontrar carbono, LTO y metal de litio. Cada tipo de baterías tiene sus propias ventajas y desventajas y se utilizan para aplicaciones específicas.

La fuga térmica en las baterías es un fenómeno dinámico causado por la resistencia interna, carga y descarga excesiva, sobrecalentamiento y cortocircuitos internos. La resistencia es especialmente relevante, ya que genera calor durante el uso de la batería.

Además, para el estudio de la fuga térmica hay que tener en cuenta la influencia del estado de carga y química de la batería.

Capítulo 3: Herramientas experimentales y teóricas.

3.1	Introducción
3.2	Descripción de la sala de ensayos.....
3.3	Conceptos teóricos

3.1 Introducción

Se han detallado las herramientas utilizadas tanto en el ámbito experimental como teórico para obtener los datos necesarios para la realización del estudio. La sección experimental se divide en dos partes. La primera se presenta la sala de ensayos utilizada, así como las celdas y equipos que han sido empleados para la adquisición de datos. La segunda parte se enfoca en el procedimiento y análisis de los datos.

3.2 Descripción de la sala de ensayos.

La sala de ensayos es el sitio donde se han ejecutados los experimentos que han actuado como fuente de información para llevar a cabo el proyecto, en ella tenemos las celdas, y todos los dispositivos necesarios para la ejecución de los ensayos. En esta sección, ha presentado una visión general de la configuración experimental empleada durante los ensayos en los que se obtuvieron los datos utilizados en este proyecto.

3.2.1 Esquema de la sala de ensayos.

La siguiente figura muestra un esquema del montaje experimental utilizado para la realización de los ensayos.

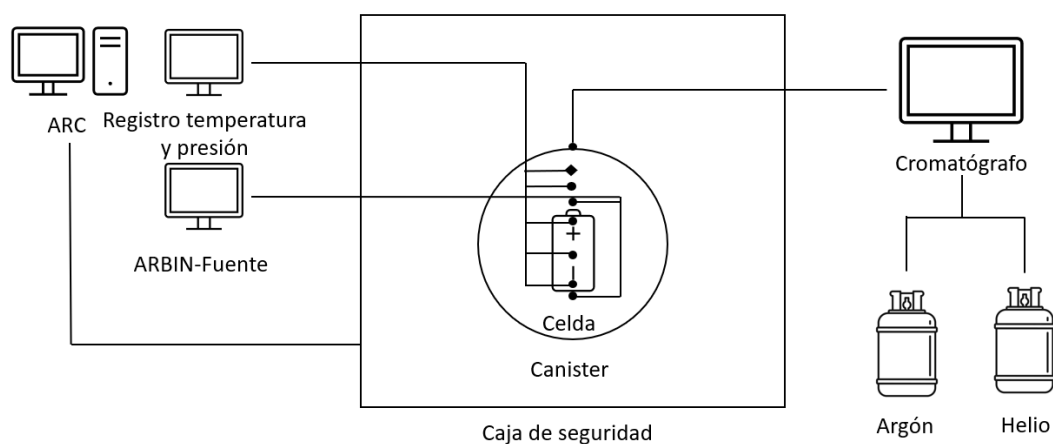


Ilustración 4. Esquema montaje experimental

Como se puede observar la celda junto a los termopares y el sensor de presión están colocados dentro del canister y este dentro de la caja de seguridad, el ARC va directamente conectado a la caja de seguridad y tanto la fuente como el medidor de temperatura van conectados directamente a la celda. Por otra parte, tenemos el cromatógrafo, conectado al canister por el orificio de salida de gases y finalmente tenemos los gases que utiliza el cromatógrafo como portadores.

3.2.2 Descripción de las celdas.

En el proceso de realizar el ensayo se han seleccionado un tipo de celda, con el objetivo de analizar y comparar su desempeño en la prueba a la que se han sometido. Para asegurar la validez de los resultados, se ha considerado esencial que las celdas seleccionadas tengan características geométricas similares, minimizando así las diferencias en las condiciones de la prueba y permitiendo hacer una comparación más precisa entre ellas, por esta razón se ha sometido un solo tipo de celda a tres estados de carga diferentes, haciendo uso de solo tres celdas. Por otro lado, cabe decir que, debido a limitaciones en cuanto a tiempo y disponibilidad de un mayor número de celdas, el tamaño de la muestra es extremadamente pequeño lo que aumenta el margen de error en las conclusiones, para reducir este error se debería hacer uso de un mayor tamaño de muestra.

Las celdas utilizadas en el ensayo son tres unidades del tipo LG INR18650-MH1.

A continuación, se detallarán las especificaciones técnicas de la celda que ha sido seleccionada. Es importante conocer estas especificaciones para poder comparar y evaluar su desempeño en base a criterios objetivos y estandarizados.

LG INR18650-MH1(10)

Parámetro	
Capacidad nominal	3,2 Ah
Voltaje nominal	3,6 V
Carga máxima	4,2 V
Voltaje mínimo	2,5 V
Masa	49 g
Dimensiones[mm]	18x65
Química del cátodo	LiNiMnCoO ₂
Química del ánodo	Grafito
Química del electrolito	Hexafluorofosfato de litio
Agujeros tapa venteo	3
Energía total	41,57 kJ

Tabla 1. Características LG INR18650-MH1



Ilustración 5. LG INR18650-MH1

La capacidad nominal de la celda es de 3,2 Ah, indicando la cantidad de carga eléctrica que puede almacenar. El voltaje nominal es de 3,6 V, al cual suele operar de manera normal. La carga máxima aplicable a la celda es de 4,2 V y el voltaje mínimo aceptable es de 2,5 V. La masa es de 49g y sus dimensiones son de 18x65mm.

Utiliza como química de cátodo LiNiMnCoO_2 (NMC), combinación de litio, níquel, manganeso y cobalto. El ánodo está compuesto por grafito y el electrolito es hexafluorofosfato de litio.

La celda cuenta con tres agujeros en la tapa para permitir el escape controlado de gases en caso de condiciones anormales. La energía total almacenada de la celda es de 41,57 kJ.

3.2.3 Sistemas auxiliares.

3.2.3.1 Calorímetro de tasa de aceleración EV+.

El EV+ es un calorímetro diseñado para celdas de vehículos eléctricos y módulos pequeños, que cumple con los requisitos de pruebas nacionales e internacionales.



Ilustración 6. Calorímetro de tasa de aceleración EV+(11)

Esta herramienta de prueba es capaz de realizar pruebas de calorimetría y pruebas de abuso, que incluyen monitoreo de video, análisis de gas, penetración de clavos y aplastamiento bajo condiciones controladas. Estructuralmente es un cilindro de 40 cm de diámetro y con 44 cm de profundidad que sella la tapa a la unidad base con electroimanes, lo que permite la recolección de productos de desintegración de la batería y la inercia del entorno controlada.

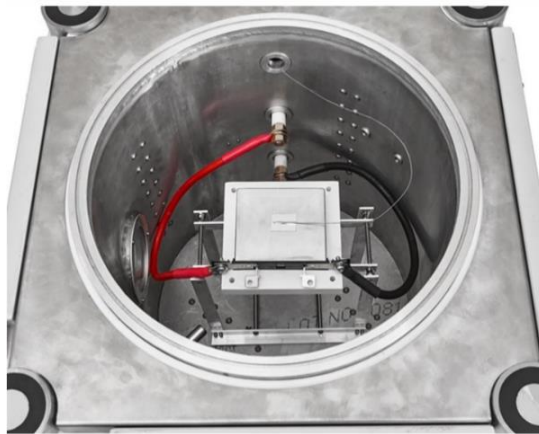


Ilustración 7. Interior calorímetro(11)

En general, el EV+ proporciona información de calidad sobre la liberación de calor en pruebas de baterías de vehículos eléctricos.

Cuenta con una serie de características estándar, entre las que se incluyen cables integrados para la medida de corriente y tensión, una cámara de video, una línea de recolección de gas y la capacidad de medir la presión y temperatura de la batería. Además, dispone de capacidades de purga, evaluación e inertización. Estas características permiten obtener mediciones precisas y fiables de la liberación de calor de las celdas y de módulos pequeños, así como realizar pruebas de abuso y calorimetría bajo condiciones controladas. Asimismo, el sistema de recolección de gas y la capacidad de purga e inertización aseguran un entorno de prueba seguro y controlado.(11)

3.2.3.2 Fuente de alimentación LBT21084HC-5V-30A-8CH

La fuente que se ha utilizado es la LBT21084HC-5V-30A-8CH empresa Abin Instruments, una empresa dedicada a la fabricación de equipos de prueba de carga/descarga para dispositivos de almacenamiento de energía.

Esta fuente permite realizar mediciones de dQ/dV y eficiencia culómbica (HPC), pruebas de ciclo de vida, pruebas de celdas simétricas, voltamperometría de barrido cíclico y lineal, cronoamperometría, cronoculometría, cronopotenciometría, pruebas de electrodos múltiples, espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) y pruebas de media celda e investigación de materiales.

Arbin ofrece diversas opciones y auxiliares para mejorar la funcionalidad de sus equipos de prueba de carga/descarga de baterías, como software de análisis de datos, voltaje y temperatura auxiliares, multicámara, interfaz de cámara, E/S analógica y digital, calibración automática, soportes y estantes para baterías. Estos permiten personalizar los equipos y adaptarlos a las necesidades de los usuarios.



Ilustración 8. Fuente de alimentación LBT21084HC-5V-30a-8CH(12)

El equipo permite realizar pruebas con un voltaje máximo de 5V y una corriente máxima de 30A. Incluye 8 números de canal, lo que le permite realizar múltiples pruebas en baterías de manera simultánea, permitiendo una mayor productividad en la investigación y desarrollo de baterías. (12)

3.2.3.3 Holder

El holder es un dispositivo que se utiliza en la investigación y prueba de baterías y otros dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica. Se utiliza para sujetar las celdas, que es la unidad básica que contiene los componentes de la batería o dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica que se están probando.

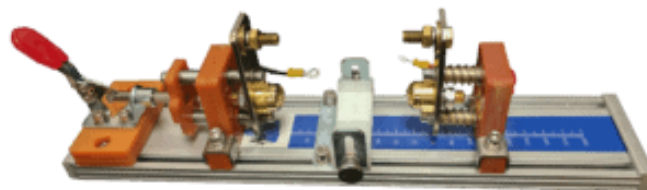


Ilustración 9. Holder

El holder es diseñado para mantener la celda eléctrica en su lugar de manera segura y estable, permitiendo que se realicen mediciones precisas y repetibles. A menudo el holder está diseñado para permitir el acceso a los terminales de la celda eléctrica para poder realizar conexiones eléctricas y medir la tensión y la corriente.

Existen diferentes tipos de holders, que varían en función del tamaño y forma de las celdas, algunos holder están diseñados para ser utilizados en pruebas de celdas individuales y otros para celdas en serie o paralelo. También existen holders diseñados para pruebas en celdas en condiciones extremas, como altas temperaturas o alta presión.

El holder utilizado está diseñado por la empresa Arbin para celdas cilíndricas con una corriente máxima de 200A. Este soporte es compatible con celdas que tengan un diámetro exterior de 10-35 mm y una longitud de 10-120mm.(13)

3.2.3.4 Canister

El canister es un dispositivo utilizado en la industria para realizar pruebas de fuga térmica en celdas. Está diseñado para contener una celda eléctrica mientras se somete a una carga térmica controlada, para medir la cantidad de gas liberado, temperatura que se alcanza y la presión que se produce durante la prueba. El canister consiste en una carcasa de acero inoxidable y un sistema de control de temperatura. El gas emitido por la celda durante la prueba es almacenado dentro de él para el posterior análisis a través de un sistema de muestreo de gas integrado.



Ilustración 10. Canister

Además, el canister trae con si un soporte en el cual colocar la celda con la que va a realizar el ensayo.



Ilustración 11. Soporte celda. Canister

3.2.4 Sistemas de medida.

3.2.4.1 Termopares

El termopar de tipo N es un dispositivo de medición de temperatura que se compone de dos conductores de metales diferentes unido en un extremo, llamado “punto de medición” o “unión caliente”. Cuando esta unión se expone a una temperatura diferente de la del otro extremo se produce una diferencia de voltaje en los conductores, conocida como fuerza electromotriz termoeléctrica. Esta fuerza electromotriz es proporcional a la diferencia de temperatura entre las dos uniones y se puede medir con un voltímetro para determinar la temperatura en el punto de medición. Los termopares se utilizan comúnmente en aplicaciones industriales, científicas y de control de procesos debido a su amplio rango de temperatura, rápida respuesta y relativa simplicidad.



Ilustración 12. Termopar

3.2.4.2 Cromatógrafo 990 Micro GC

Los sistemas Agilent 990 Micro GC proporcionan respuestas de manera compacta, en depósitos de gas, evaluación de biogás, monitoreado de la eficiencia de pozos o la medición de muestras de laboratorio. Presentan características líderes en la industria, ofrecen la calidad y velocidad necesaria para los análisis de gases.

Presenta componentes micromecanizados y funciones de procesamiento de datos integradas, que brindan la capacidad de poder operar de forma continua sin la necesidad de supervisión, además presenta fácil solución a problemas y una buena portabilidad. Presenta características que permiten el diagnóstico e identifican posibles errores antes de que afecten a los resultados.

Presenta hasta dos entradas de muestra, dos gases portadores y una interfaz de usuario/pantalla táctil. Su construcción modular permite configurar de manera rápida el sistema.

Esta tecnología permite tener los gases separados en cuestión de segundos, ocupando poco espacio y consumiendo menos energía y gas portador que los sistemas GC de mesa. El arranque rápido y fácil permite obtener resultados en cuestión de minutos.(14)



Ilustración 13. Cromatógrafo 990 Micro GC(14)

El funcionamiento del cromatógrafo para en análisis de gases funciona mediante la separación de los diferentes componentes presentes en una muestra gaseosa. El proceso se inicia con la introducción de la muestra en el sistema de entrada del cromatógrafo, donde se lleva a cabo la inyección de la muestra. Luego la muestra se

dirige hacia la columna cromatográfica, que es el componente principal del cromatógrafo.

La columna cromatográfica contiene un material de relleno que se utiliza para separar los componentes de la muestra en función de sus propiedades físicas y químicas. A medida que la muestra fluye a través de la columna los diferentes componentes se separan y se mueven a diferentes velocidades, lo que resulta en una separación física.

Después de la separación, los componentes individuales se dirigen hacia el detector, que es el componente que mide la concentración de cada componente. Los detectores comunes utilizados en la cromatografía de gases incluyen detectores de ionización de llama, detectores de conductividad térmica, detectores de espectrometría de masas, entre otros.

Una vez que se miden la concentración de cada componente, los datos se procesan y se presentan en forma de cromatograma, que es un gráfico que muestra los diferentes componentes separados en función de su tiempo de retención. Esto permite la identificación y cuantificación de los diferentes componentes presentes en la muestra gaseosa.

3.2.4.3 Sensor de presión.

Para la medida de la presión en el interior del canister, se hace uso de un sensor de presión piezoeléctrico. Este tipo de sensores está compuesto por múltiples secciones de un cristal monocristalino, las cuales generan una corriente eléctrica al ser sometidas a una fuerza de compresión. Por lo general, se emplean dos secciones de cristal con un electrodo intercalado entre ellas, y todo ese conjunto se encuentra alojado dentro de una carcasa. El electrodo y la carcasa se encargan de captar la corriente eléctrica y transmitirla a un amplificador de carga mediante un cable de carga coaxial.



Ilustración 14. Sensor de presión

Este tipo de sensores requiere un adecuado contacto entre el cristal y la carcasa, lo cual implica un procesamiento preciso tanto del cristal como de las superficies de los componentes en contacto con él.

3.2.4.4 Yokogawa dl850v.

Es un dispositivo modular de registro de formas de onda, versátil, que permite la medición simultánea de voltaje, corriente, tensión, aceleración y otros fenómenos. Con una velocidad de muestreo alta, una resistencia de aislamiento de alto voltaje y capacidad de medición multicanal, el DL850v brinda un sólido respaldo para evaluar formas de onda electromecánicas con gran potencia. Se utiliza junto al sensor de presión para la medida de esta en el interior del canister.(15)

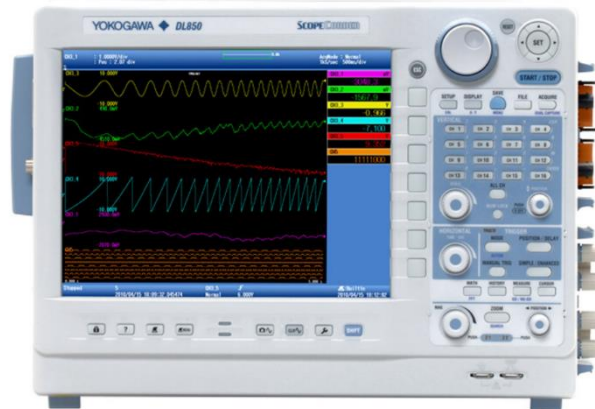


Ilustración 15. Yokogawa dl850v(15)

3.2.5 Software de análisis de datos.

Para el análisis y procesado de datos se hace uso de MATLAB R2022b, el cual es un software de computación numérica y técnica, que permite la manipulación de datos, análisis, la visualización y la simulación de sistemas y procesos. Se utiliza ampliamente en la investigación, la ingeniería, la ciencia y las aplicaciones industriales.

Además, ofrece una amplia gama de herramientas y librerías especializadas que cubren áreas como el procesamiento de señales, la optimización, el aprendizaje automático, la estadística y la computación paralela. También es posible integrar código de otros lenguajes de programación en MATLAB, lo que permite una mayor flexibilidad y funcionalidad.

3.3 Conceptos teóricos

3.3.1 Protocolo de carga de baterías.

La metodología empleada para la carga de baterías de iones de litio consta de dos fases principales. Inicialmente la batería se carga a una corriente constante hasta alcanzar un voltaje máximo preestablecido y posteriormente se somete a una carga a voltaje constante hasta que la corriente disminuya a un valor bajo preestablecido. Esta metodología se conoce como corriente constante-voltaje constante (CC-CV). Es necesario para evitar la sobre carga en las baterías de ion litio. La siguiente figura muestra las curvas típicas CC-CV.

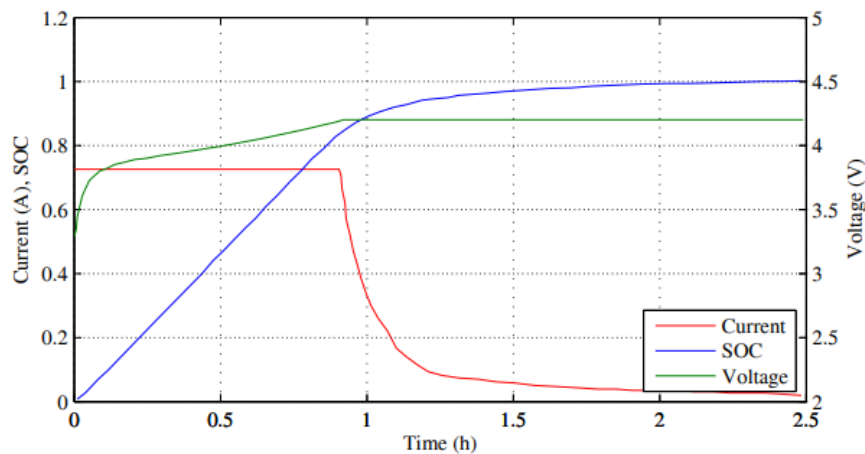


Ilustración 16. Ciclo CC-CV (17)

En la etapa de corriente constante, se suministra una corriente constante a la batería desde una fuente de alimentación externa. Durante esta etapa, el voltaje de la batería aumenta gradualmente a medida que se carga. A medida que la batería se acerca a su capacidad máxima, su resistencia interna aumenta y la corriente de carga disminuye automáticamente para mantener la corriente constante establecida.

Una vez la batería alcanza el voltaje determinado se pasa a la siguiente etapa, voltaje constante. Se mantiene el voltaje mientras la corriente disminuye gradualmente, haciendo que se evite sobrecargar la batería y permitiendo que la corriente se reduzca a medida que la batería se carga por completo.

Los parámetros límites de fin de carga dependen de la batería a la cual se esté aplicando el ciclo de carga, presentando una corriente mínima, máximo voltaje y tiempo total de carga.(16)

3.3.2 Concepto SOC.

El estado de carga (SOC) se calcula como la energía actual de la celda respecto de la energía después de ser cargada completamente. Su propósito es proporcionar información sobre la carga de las celdas. Hay que tener en cuenta que las celdas no están diseñadas para función en el rango del 100% al 0% de carga del SOC, estas no deben de descender por debajo del 20% o el 30%, ya que se consideraría una descarga profunda si descienden por debajo de estos límites. En cuanto al proceso de carga es importante evitar la sobrecarga, ya que si se exceden los límites superiores existe riesgo de explosión.

Para la estimación del nivel de carga se encuentran dos tipos: estimación directa y estimación indirecta. Los métodos directos requieren la determinación de las propiedades físicas de las celdas, lo cual implica el uso de instrumentos de medición altamente precisos. Sin embargo, en muchas ocasiones resulta imposible acceder al interior de las celdas para realizar dicha medición, lo que lleva al desarrollo de métodos indirectos. Estos métodos se basan en la medición de valores de tensión, corriente y temperatura de las celdas. Aunque estas variables son relativamente fáciles de obtener, la estimación de nivel de carga del SOC de esta manera resulta más compleja, ya que no existe una relación lineal directa entre dichos parámetros.(9)

3.3.3 Ecuaciones teóricas del modelo térmico.

A continuación, se va a desarrollar las ecuaciones teóricas que posibilitan la evaluación de los fenómenos de transferencia de masa y energía que ocurren entre la celda y su entorno cuando se produce la fuga térmica. En el modelo teórico se va a determinar cuál es la energía total liberada (E_{Total}) formada por la energía de las reacciones entre el aire y los gases (E_{gas}) y la energía de las reacciones que tienen lugar dentro de la celda (E_{celda}).

$$E_{Total} = \int \frac{dE_{gas}}{dt} + \int \frac{dE_{celda}}{dt} [1]$$

La formulación del balance energético para los gases puede llevarse a cabo mediante la aplicación del primer principio de la termodinámica.

$$\frac{dU_{gas}}{dt} = \sum \dot{Q}_s + h_{vent} \frac{dm_{gas}}{dt} [2]$$

Ecuación en la cual h_{vent} es la entalpía de los gases ventilados $\sum \dot{Q}_s$ la suma de todos los términos de transferencia de calor entre los gases y el ambiente dm_{gas} la variación de masa de los gases dentro del canister. Además $\frac{dU_{gases}}{dt}$ se define como la variación de la energía interna de los gases en el canister expresada como:

$$\frac{dU_{gas}}{dt} = m_{gas} \frac{du_{gas}}{dt} + u_{gas} \frac{dm_{gas}}{dt} [3]$$

Para este modelo se ha realizado una correlación entre el modelo realizado por Martin (17) respecto al balance de energía dentro de un cilindro de un motor. Se ha considerado que los gases liberados hacen referencia a la inyección del combustible en el cilindro y que todo el material liberado está en fase gaseosa, eliminando la evaporación. La variación interna de los gases en el canister está definida por la siguiente ecuación.

$$\frac{dU_{gas}}{dt} = m_{gas} C_v \frac{dT_{gas}}{dt} + \frac{dE_{gas}}{dt} + u_{vent,T_{gas}} \frac{dm_{gas}}{dt} \quad [4]$$

Donde el segundo término del lado derecho hace referencia a la energía liberada producto de las reacciones de oxidación entre el aire y los gases venteados.

Sustituyendo la ecuación [4] en la [2] obtenemos:

$$-\frac{dE_{gas}}{dt} = m_{gas} C_{v,gas} \frac{dT_{gas}}{dt} + \sum \dot{Q}_s + (h_{vent} - u_{vent,T_{gas}}) \frac{dm_{gas}}{dt} \quad [5]$$

Donde $(h_{vent} - u_{vent,T_{gas}})$ es:

$$(h_{vent} - u_{vent,T_{gas}}) = h_{f,vent}^0 + \int_{T_0}^{T_{celda}} c_{p,vent} dT - u_{f,vent}^0 - \int_{T_0}^{T_{gas}} c_{,vent} dT = R_{gas} T_{cell} - (u_{vent,T_{gas}} - u_{vent,T_{celda}}) \quad [6]$$

Ecuación en la cual $h_{f,vent}^0$ es la entalpía liberada por los gases venteados a temperatura de 273 Kelvin, $c_{p,vent}$ es la capacidad calorífica de los gases venteados a presión constante, $u_{f,vent}^0$ hace referencia a la energía interna específica de los gases venteados a 273 Kelvin, $c_{,vent}$ es la capacidad calorífica de los gases venteados a volumen constante, R_{gas} es la constante específica de los gases, T_{celda} es la temperatura de la celda, $u_{vent,T_{gas}}$ es la energía interna específica de la masa de material venteado por la celda y $u_{vent,T_{celda}}$ es la energía interna específica de la masa del material venteado por la celda a la temperatura del gas del recipiente.

Las dos suposiciones que se han realizado para calcular la energía interna son que los materiales venteados a temperatura de la celda son solo hidrocarburos y que los materiales venteados a la temperatura de los gases son los registrados por el cromatógrafo.

La ecuación de la energía liberada queda tal que:

$$-\frac{dE_{gas}}{dt} = m_{gas} C_{v,gas} \frac{dT_{gas}}{dt} + \sum \dot{Q}_s - (u_{vent,T_{celda}} - R_{gas} T_{cell} - u_{vent,T_{gas}}) \frac{dm_{gas}}{dt} \quad [7]$$

Donde T_{gas} es la temperatura del gas en el canister, $C_{v,gas}$ la capacidad calorífica específica a volumen constante calculada utilizando CoolProp(18).

Para el cálculo de la masa de gases en el canister se hace uso de la ecuación de los gases ideales.

$$m_{gas} = \frac{P_{gas}V_{canister}}{R_{gas}T_{gas}} [8]$$

Donde P_{gas} es la presión dentro del canister, $V_{canister}$ es el volumen del canister, R_{gas} es la constante específica de los gases y T_{gas} es la temperatura de los gases en el recipiente.

La ecuación de la constante específica de los gases viene determinada por la siguiente expresión:

$$R_{gas} = \frac{R_u}{\sum x_i M_i} [9]$$

En la cual R_u es la constante de gases universal, x_i es la fracción molar de cada especie de gas venteadado y M_i es la masa molar de la especie de gas venteadado.

Para el cálculo de la tasa de transferencia de calor entre el gas dentro del canister y la celda se hace uso de la ley de enfriamiento de Newton.

$$\dot{Q}_{conv,celda} = h_{celda} A_{celda} (T_{gas} - T_{celda}) [10]$$

Donde h_{celda} es el coeficiente de transmisión de calor por convección, A_{celda} es el área total de transferencia de calor.

Para el cálculo del coeficiente de transmisión de calor por convección se hace uso de la siguiente expresión, la cual ha sido obtenida de la correlación de Churchill y Chu. (19)

$$Nu_D = \frac{h_{celda} D}{k} = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{\frac{1}{4}}}{[1 + (\frac{0.559}{Pr})^{\frac{1}{4}}]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 [11]$$

Donde D es el diámetro de la celda, k es la conductividad del gas dentro del recipiente, Ra es el número de Rayleigh y Pr es el número de Prandtl.

La tasa de convección de calor entre los gases y el recipiente se puede calcular como:

$$\dot{Q}_{conv,canister} = m_{gas} c_{v,gas} \frac{dT_{gas}}{dt} - \dot{Q}_{conv,celda} [12]$$

De la misma forma en la que se ha realizado el de los gases el balance de energía en la celda se define con la siguiente ecuación.

$$-\frac{dE_{celda}}{dt} = m_{celda} C_{p,celda} \frac{dT_{celda}}{dt} + \sum \dot{Q}_s - h_{vent} \frac{dm_{gas}}{dt} [13]$$

Donde m_{celda} es la masa de la celda, $C_{p,celda}$ es la capacidad calorífica, $\sum \dot{Q}_s$ es la tasa de transferencia de calor. Cabe destacar que en este trabajo se ha despreciado la radiación debido a las similitudes entre la temperatura de la celda y la del recipiente durante la mayor parte de la prueba.

Por lo tanto, la expresión final del balance de energía [2] queda tal que:

$$-\frac{dE_{gas}}{dt} = m_{gas}C_{v,gas} \frac{dT_{gas}}{dt} + h_{celda}A_{celda}(T_{gas} - T_{celda}) + (m_{gas}C_{v,gas} \frac{dT_{gas}}{dt} - h_{celda}A_{celda}(T_{gas} - T_{celda})) - (u_{vent,T_{celda}} - R_{gas}T_{cell} - u_{vent,T_{gas}}) \frac{dm_{gas}}{dt} \quad [14]$$

Y el balance de energía para la celda [13] se puede expresar como:

$$\frac{dE_{celda}}{dt} = m_{celda}C_{p,celda} \frac{dT_{celda}}{dt} - (m_{gas}C_{v,gas} \frac{dT_{gas}}{dt} - h_{celda}A_{celda}(T_{gas} - T_{celda})) - h_{vent} \frac{dm_{gas}}{dt} \quad [15]$$

Los parámetros utilizados en el modelo térmico son:

Parámetro	Símbolo	LG INR18650 MH1
Masa de la celda	m_{celda}	49 g
Capacidad calorífica	$C_{p,celda}$	$950 J \cdot kg^{-1} K^{-1}$
Área transferencia calor celda	A_{celda}	$0,0042 m^2$
Área transferencia calor canister	$A_{canister}$	$0,33 m^2$
Volumen del canister	$V_{canister}$	$16,82 \times 10^{-3} m^3$

Tabla 2. Parámetros modelo teórico

Capítulo 4: Metodología y resultados.

4.1 Metodología.....	
4.2 Resultados.....	

4.1 Metodología.

A continuación, se va a describir la metodología utilizada para la realización de las pruebas con cada una de las celdas y los procedimientos que se han seguido para llevarlos a cabo.

4.1.1 Acondicionamiento de las celdas ion-litio.

En primer lugar, se realizó el acondicionamiento de cada una de las celdas utilizadas. Para ello se hizo uso de la fuente de alimentación LBT21084HC-5V-30A-8CH, de la cual se han detallado anteriormente las características y el holder, para la sujeción de las celdas.

La realización del acondicionamiento consta de dos partes.

En la primera parte del acondicionamiento se realizaron tres ciclos de carga con el protocolo CC-CV y descarga de las celdas. Este protocolo es necesario para evitar que se produzca una sobrecarga en la celda de litio. El objetivo de esta parte es asegurarse de que las celdas están cargadas al 100% de su estado de carga.



Ilustración 17. Montaje acondicionamiento celdas

En la segunda parte del acondicionamiento se realizó la descarga de las celdas que se utilizaron con un estado de carga diferente a 100%, poniéndolas al 75% y al 50%. Esto se llevó a cabo mediante una descarga de estas durante un periodo tiempo calculado y una intensidad de descarga según las características de cada una de las celdas y definido con las siguientes ecuaciones.

$$Tasa\ C = \frac{I_{celda}}{C_{nom}} ; SOC(\%) = \frac{C_{celda}}{C_{nom}} \times 100$$

$$C_{celda} = I_{celda} \times t ; SOC(\%) = \frac{I \times t \times Tasa\ C}{I_{celda}}$$

$$t = \frac{SOC(\%) \times I_{celda}}{I \times Tasa\ C}$$

Donde *Tasa C* hace referencia a la tasa de descarga, I_{celda} a la capacidad nominal de la celda, *SOC* al estado de carga de la celda, C_{celda} a la capacidad de la celda, C_{nom} a la capacidad nominal de la celda, *I* a la corriente de descarga y *t* a el tiempo de descarga.

El tiempo de descarga para la celda para el SOC 75% es de 15 minutos, mientras que para SOC 50% es de 30 minutos. La intensidad de descarga que se aplicó a cada una de las celdas durante su proceso de acondicionamiento ha sido de 1C, por lo que para descargar la celda se sometió a una intensidad de 3,2 A.

4.1.2 Proceso de combustión de las celdas.

Una vez se llevaron a cabo las labores de acondicionamiento de las celdas, se prepararon para el proceso de combustión. Para este proceso se realizaron una serie de pasos.

En primer lugar, se le retiró el envoltorio que contiene la celda, con el objetivo de que este no se quemé provocando que se derrita y cree una capa de protección haciendo que afecte a la transferencia de calor.

En segundo lugar, se tomó el peso inicial de las celdas, esto es necesario para poder conocer el comportamiento de la celda durante su combustión comparándolo con el peso que tiene la celda una vez se ha finalizado el ensayo. Seguidamente se envolvió la celda en cinta preparada para resistir altas temperaturas, su objetivo es evitar los cortos que se puedan provocar cuando se coloquen los termopares.



Ilustración 18. Celda con cinta térmica

Una vez realizado el proceso anteriormente descrito, se le colocaron tres termopares, uno en extremo positivo, otro en el extremo negativo y el último en el centro de la celda, su objetivo es medir la temperatura durante la combustión, detectar cuando se inicia y acaba esta, caracterizando la combustión de la celda.

Se procedió a colocar la celda en un soporte dentro del canister, colocando en el extremo positivo y negativo dos tornillos que hacen de sujeción de la celda y además estos van conectados a la fuente de Arbin con el objetivo de medir que el voltaje de la celda sea adecuado al inicio de la prueba. Además, se colocó un termopar más dentro del canister cerca del extremo positivo de la celda con el objetivo de medir la temperatura a la que salen los gases de la celda, ya que este extremo está diseñado para que se rompa cuando se produzca la fuga térmica con el objetivo de poder controlar mejor esta reacción.

Luego se cerró el canister haciendo uso de una llave dinamométrica aplicando 100N a cada uno de los once tornillos que forman parte de su sistema de cerrado, se coloca el sensor de presión y se procedió a realizar una comprobación de fugas. Para ello se inyectó aire a presión a través de la salida de la boca de salida de gases del canister y haciendo uso de un detector de fugas y el sensor de presión, se comprobó que estas no existieran, permitiendo realizar así el ensayo de forma segura y controlada. Cuando ya se realizó la pertinente comprobación se procedió a conectar los elementos auxiliares, conexión del ARC, los sensores de presión y temperatura a la Yokogawa dl850v, la salida de los gases del canister al cromatógrafo, se cerró el manómetro utilizado para que los gases no salgan al sistema que lleva estos al cromatógrafo y finalmente se procedió a cerrar la caja de seguridad del ARC.

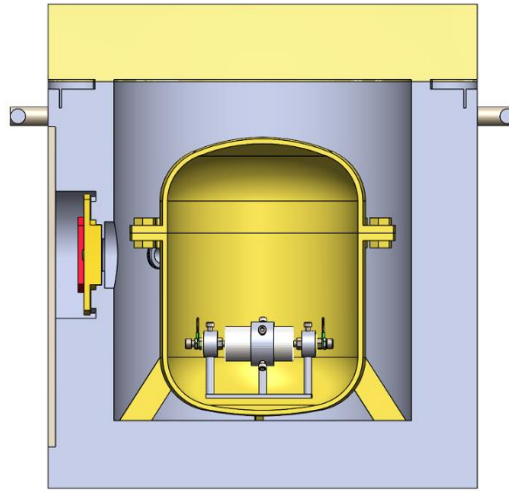


Ilustración 19. Esquema montaje final ensayo

Una vez fueron realizados todos los pasos anteriores se procedió a iniciar el proceso de combustión. El funcionamiento del ARC se basa en un programa para calentar la celda, el cual trata del calentamiento progresivo de este hasta alcanzar la temperatura a la cual se produce la combustión de la celda. En este caso se ha utilizado en calentamiento en rampa, el cual consiste en aumentar la temperatura desde la ambiente, hasta 300 °C con una velocidad constante de 2 °C/min.

Una vez se produjo la combustión de la celda, el proceso de calentamiento en rampa se detiene y se dejó reposar hasta una temperatura adecuada para poder medir los gases.

4.1.3 Medición de gases.

Para la medición de los gases se hizo uso del cromatógrafo descrito con anterioridad. El cual fue calibrado para O₂, N₂, H₂, CO, CO₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄ y C₂H₆ basándose en estudios anteriores. Para realizar la medición los gases producto de la combustión, los gases pasan a través de la salida de los gases del canister abriendo el manómetro y llegando hasta el cromatógrafo. Una vez los gases llegan a él, con la ayuda de los gases portadores necesarios para el cromatógrafo se procedió a realizar el análisis. Cuando el cromatógrafo dejó de medir se procedió a reacondicionar de nuevo el canister limpiándolo, recogiendo todas las partículas que han quedado dentro de él, resultado del proceso de fuga térmica y se realizó el pesaje de la celda y de las partículas que se han recogido. Para posteriormente empezar de nuevo el ensayo con cada una de las celdas restantes.

4.2 Resultados.

A continuación, se desarrollan los resultados obtenidos, resultado del ensayo de fuga térmica de las diferentes celdas de litio en función de su estado de carga. Todas las características de la celda se han descrito anteriormente. Se ha pretendido realizar el análisis de cada una de las celdas centrándose en la variante del estado de carga, evaluando cada uno de los factores en los que la fuga térmica se ve afectada por esta variante. Para ello se han recogido los resultados de cada uno de los ensayos y se han procesado los datos en Matlab.

Seguidamente se muestran los datos obtenidos durante el ensayo de las tres celdas LG INR18650-MH1 con diferentes estados de carga.

En primer lugar, se han analizado los datos de temperatura y presión obtenidos mediante el termopar conectado en el centro de la celda y el sensor de presión, para poder determinar la influencia del estado de carga.

A continuación, se muestra una gráfica con los datos de la celda a un estado de carga del 100%.

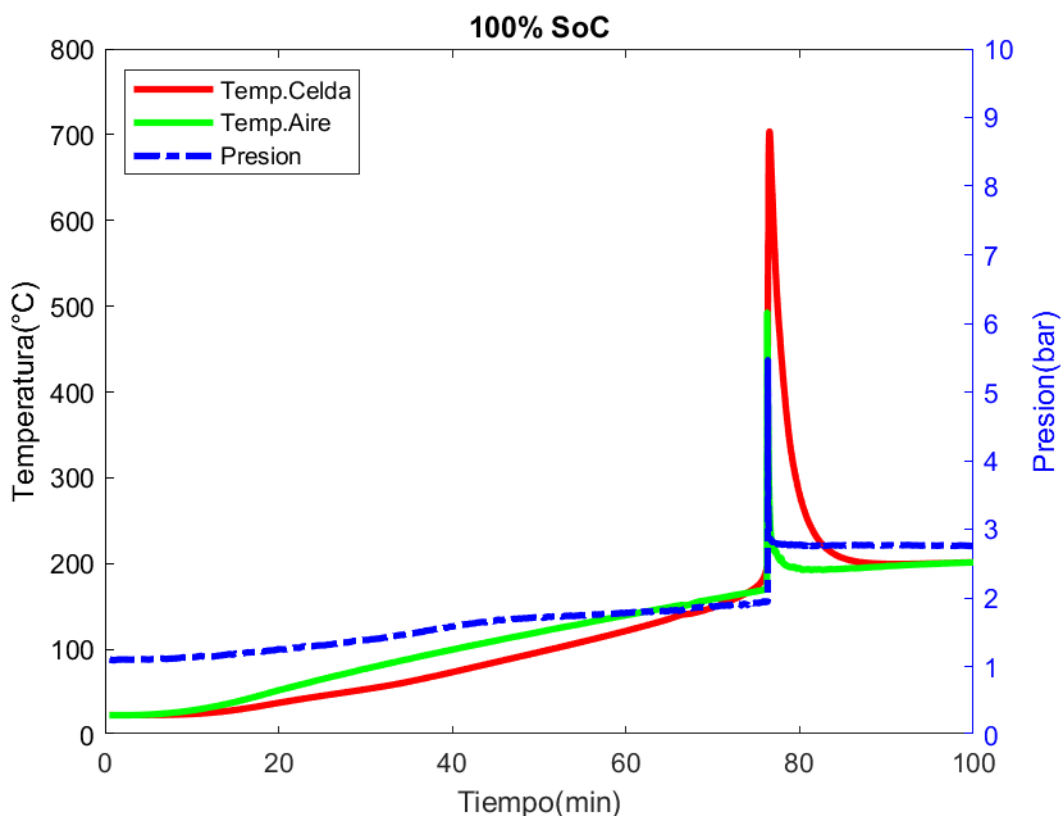


Ilustración 20. LG 100%SOC Temperatura y Presión.

En este gráfico se puede observar la temperatura tanto de la celda como del aire, así como la presión alcanzada durante la realización del ensayo. Se puede ver como al inicio la temperatura del aire aumenta más que la de la celda, esto es debido al sistema de calentamiento que utiliza el ARC, pero cuando la temperatura de la celda llega sobre los 180 °C se inicia el proceso de fuga térmica, provocando que la celda se caliente rápidamente hasta una temperatura de 703,81 °C. Y como consecuencia también se

produce un aumento de la temperatura del aire hasta 493,37 °C. Por otro lado, vemos la presión, en primer lugar, se encuentra a presión atmosférica, pero cuando el ARC empieza a calentarse va aumentando poco a poco la presión hasta llegar hasta 5,46 bar, pico provocado por el proceso de fuga térmica.

Los datos de la celda a un estado de carga del 75% son los siguientes.

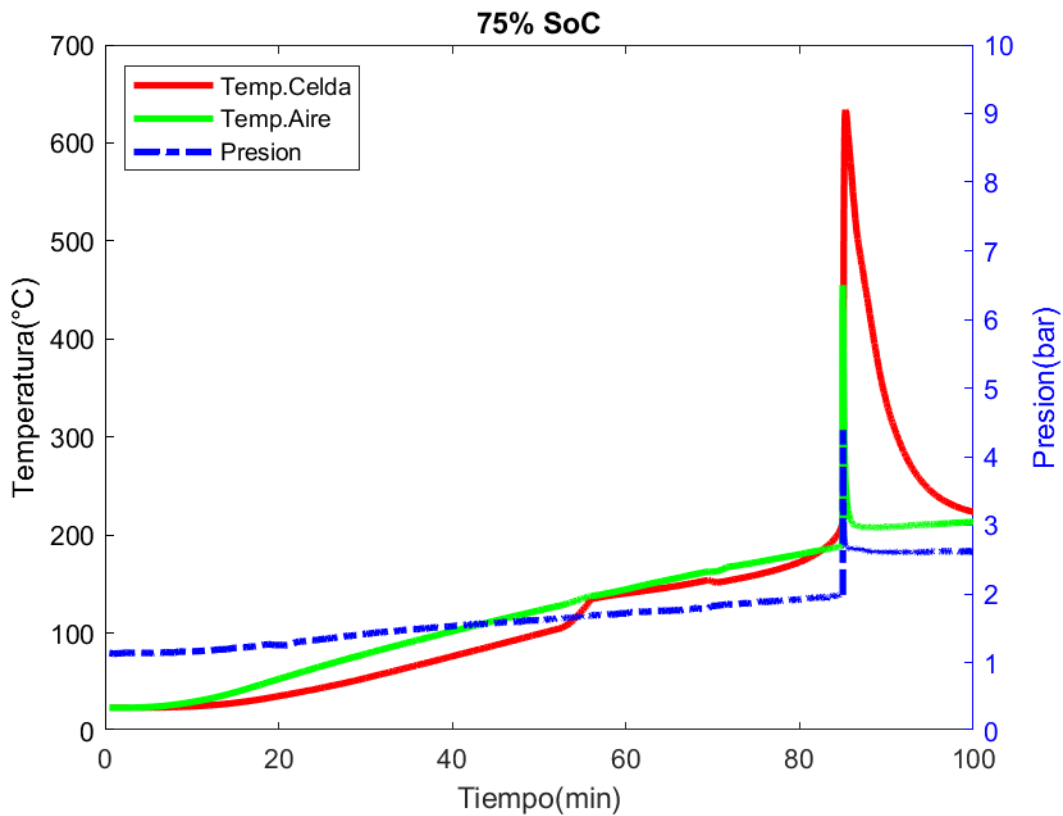


Ilustración 21. LG 75%SOC Temperatura y Presión.

Se puede observar la temperatura tanto de la celda como del aire, así como la presión alcanzada durante la realización del ensayo. Se puede ver como al inicio la temperatura del aire aumenta más que la de la celda, esto es debido al sistema de calentamiento en rampa que utiliza el ARC mencionado anteriormente, pero cuando la temperatura de la celda llega sobre los 150 °C se inicia el proceso de fuga térmica, provocando que la celda se caliente rápidamente hasta una temperatura de 633,83 °C, provocando que también se produzca un aumento de la temperatura del aire hasta 454,943 °C. Por otro lado, vemos la presión, alcanza 4,38 bar como máxima.

Los datos de la celda a un estado de carga del 50% son los siguientes.

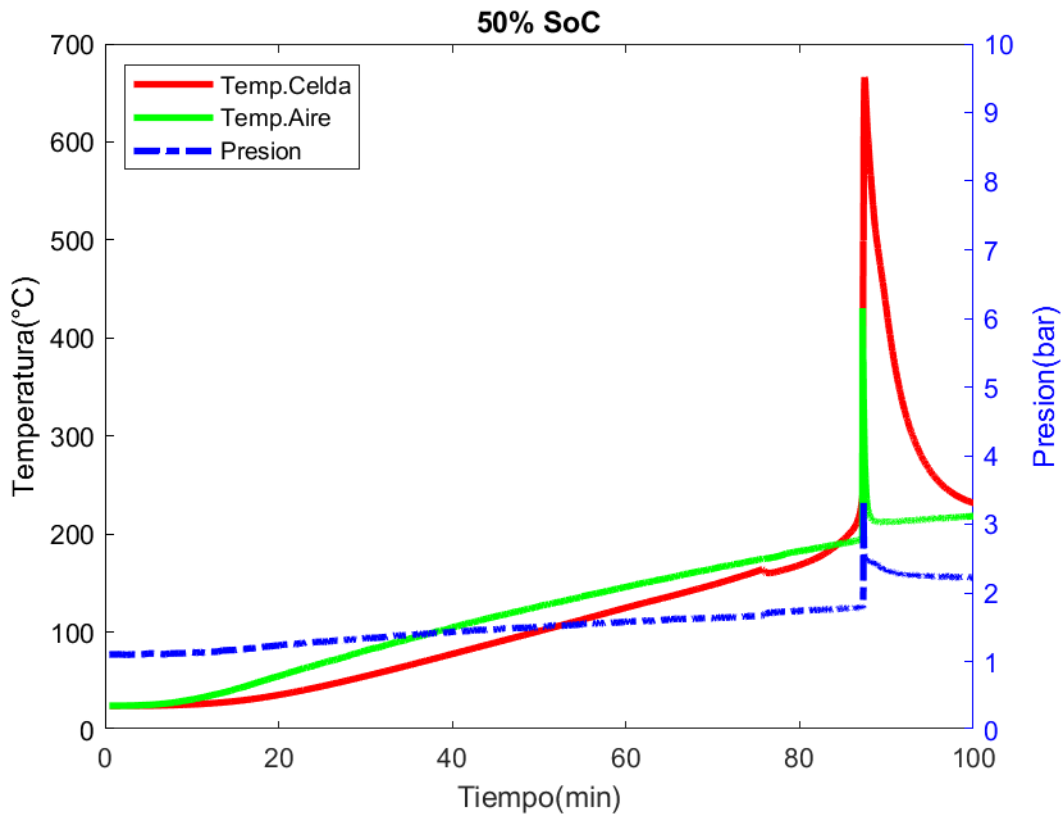


Ilustración 22. LG 50%SOC Temperatura y Presión.

De la misma forma que en el resto de los gráficos se observa el inicio de la fuga térmica sobre los 160 °C haciendo que aumente la temperatura de la celda hasta 666,14 °C y la del aire hasta los 430,43 °C. Respecto a la presión vemos que también aumenta debido al proceso de fuga térmica llegando hasta un máximo de 3,35 bar.

Mirando las tres diferentes gráficas de temperatura y presión en función del SOC (%) podemos observar cómo claramente la celda al 100% de SOC alcanzó la máxima temperatura tanto del aire como de la celda y presión, además se puede ver como claramente el venteo de gases y la fuga térmica empezó antes que en el resto de las celdas con menos SOC, en caso de la celda con un estado de carga del 100% entorno a los 78 minutos, para la del 75% entorno a los 85 minutos y para la del 50% alrededor de los 90 minutos. Esto claramente puede ser debido a el estado de carga, ya que al ser del 100% este debe de tener más energía acumulada que el resto, por lo tanto, más energía es capaz de liberar y antes se produce el fenómeno de fuga térmica.

Por otro lado, cabe destacar que los resultados obtenidos tanto a 75% SOC y a 50% SOC no coinciden con los resultados esperados ya que la temperatura máxima alcanzada en la celda de 75% de SOC debería de ser mayor que la de 50% de SOC como se han visto en otros estudios realizados (3). Esto ha debido de suceder como consecuencia anomalía durante los ensayos, ya sea a la hora de la descarga de las celdas al estado de carga

deseado o fallos debido a la hora de la toma de datos de los parámetros estudiados debido a alguna anomalía sucedida en los sensores de temperatura.

Analizando los resultados se puede decir que este fallo viene dado por los sensores de temperatura, ya que la presión alcanzada en la celda SOC 50% es menor que la alcanzada en la de 75% lo que coincide con otros estudios y además la temperatura del ambiente también es mayor en la de 75% que en la de 50%, siendo 727,94°C y 703,43°C respectivamente, lo que quiere decir que ha habido un fallo en el termopar que mide la temperatura de la celda o alguna anomalía durante el proceso.

A continuación, se mostrará cual ha sido el incremento de temperatura en cada una de las celdas, comparándolas en una misma gráfica.

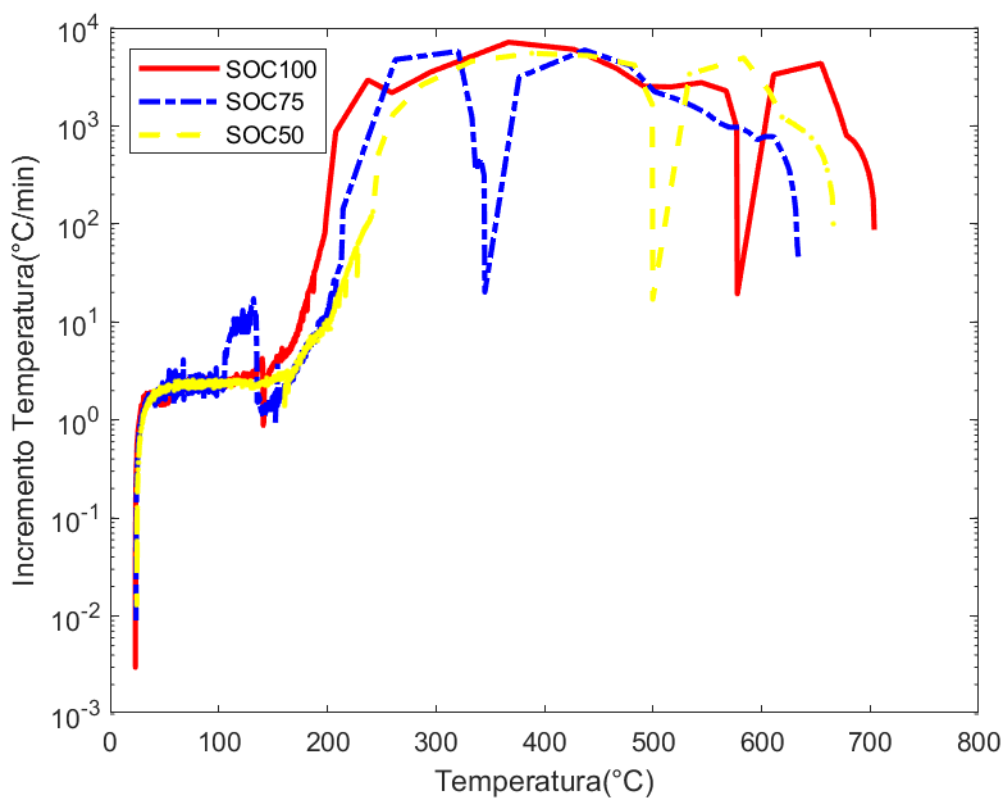


Ilustración 23.LG incremento Temperatura.

Como se puede observar claramente la celda con el mayor estado de carga es la que empezó a calentarse más rápidamente y la que mayor temperatura alcanzó, por otro lado, se puede ver como la celda con un estado de carga del 75% se empezó a calentar antes de la celda con un estado de carga del 50%. Esto está provocado por la energía almacenada en cada una de las celdas. Además, se puede observar también el error mencionado anteriormente.

En segundo lugar, se va a mostrar la cantidad de energía que se ha liberado durante el proceso de fuga térmica en cada una de las celdas, calculada mediante las ecuaciones teóricas del modelo térmico descritas anteriormente.

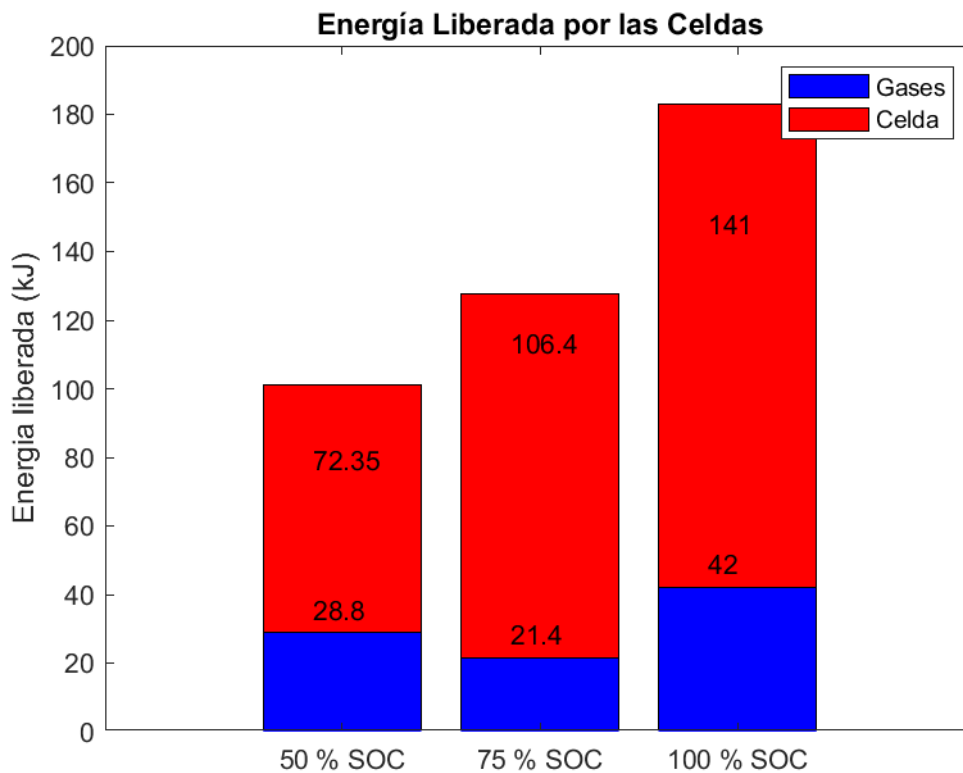


Ilustración 24.LG Energía liberada por las celdas

Los resultados obtenidos muestran una relación directa entre el estado de carga de las celdas de litio y la energía liberada durante la fuga térmica. Se observa que en la celda con un estado de carga del 100% liberó la mayor cantidad de energía, seguida por la celda con un estado de carga del 75%, y la celda con un estado de carga de 50% liberó la menor cantidad de energía. Estos resultados muestran que a medida que aumenta el estado de carga, se incrementa la cantidad de energía disponible para su liberación en caso de fuga térmica.

En cuanto al análisis de los gases emitidos por cada una de las celdas tenemos la siguiente gráfica en la que se puede observar el porcentaje de la fracción másica.

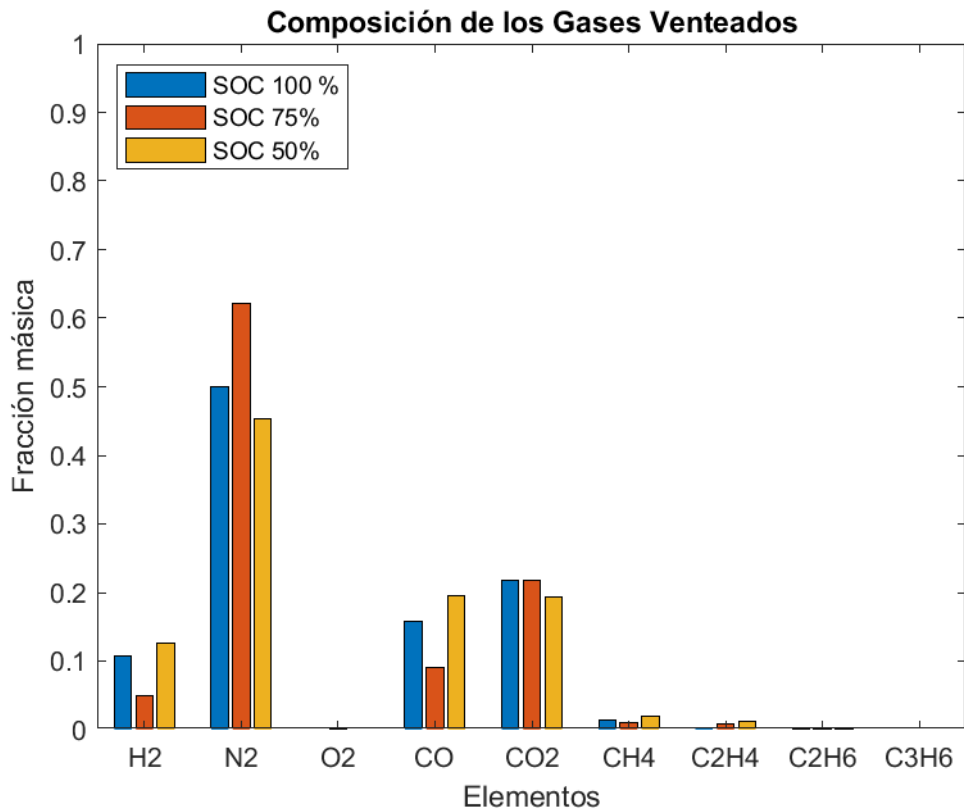


Ilustración 25. LG Composición gases venteados

Analizando los resultados obtenidos vemos que en el caso de la celda con un SOC del 100% la mayor parte de los gases emitidos fueron tanto monóxido de carbono como dióxido de carbono los cuales se encuentran más o menos en la misma proporción, el hidrógeno se encuentra en menor proporción que los anteriores y el resto de los gases se encuentran en una proporción mínima.

La celda con un 75% de SOC la mayor proporción fue el dióxido de carbono, en el caso del hidrógeno y el monóxido vemos como disminuyeron en comparación con la celda de SOC 100% mientras que el resto de los gases tuvieron un porcentaje mínimo del total.

Por último, vemos la celda con SOC 50% cabe destacar que tanto el hidrógeno como el monóxido de carbono aumentaron, siendo superior que en el resto de las celdas, el dióxido de carbono disminuyó ligeramente y, por último, decir que el metano y el etileno aumentaron respecto al resto de las celdas.

Respecto al proceso de combustión, podemos ver como esta ha sido incompleta, debido a la falta de O2 en los resultados. Cuando se produce una combustión incompleta, significa que no se ha alcanzado una reacción total entre el combustible y el oxígeno disponible en el ambiente. Debido a esto se producen una serie de productos como el

monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆), tal y como se puede observar en las graficas anterior.

El monóxido de carbono (CO) es un gas altamente peligroso, ya que es inodoro, incoloro y no irritante, lo que dificulta su detección. Su inhalación puede ser letal, ya que la inhalación de este reduce la capacidad del cuerpo para transportar el oxígeno en la sangre.(20)

Además, tenemos el dióxido de carbono (CO₂). Este fue generado por el proceso de combustión. Es un gas incoloro e inodoro, el cual es una de las principales causas del calentamiento global. La inhalación de elevadas concentraciones puede provocar hiperventilación, perdida de conocimiento, taquicardias y dolores de cabeza.(21)

Respecto a la presencia del H₂ en los gases venteados por la combustión de las celdas, podemos determinar que fue el resultado de la combustión del ánodo de la celda, ya que este es grafito, el cual contiene el elemento en su estructura.

Y por último cabe destacar que el N₂ proviene del aire del ambiente, ya que este elemento no es reactivo, por lo cual no está influenciado por el proceso de combustión.

Realizando una nueva gráfica, modificando el eje Y adecuándolo a los valores óptimos para poder determinar mejor la cantidad de hidrocarburos venteados obtenemos el siguiente gráfico.

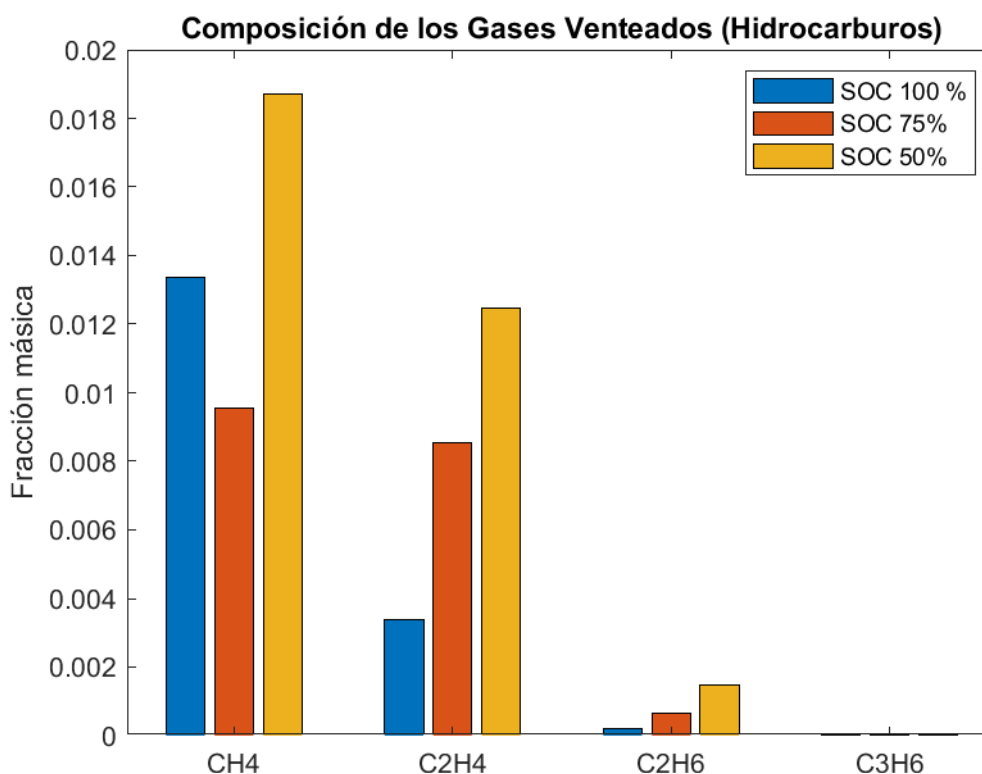


Ilustración 26. LG Composición gases venteados (Hidrocarburos)

En este gráfico podemos ver cuáles han sido los hidrocarburos venteados. Claramente vemos como el que en mayor proporción se encuentra es el CH₄ seguido del C₂H₄ y del C₂H₆, respecto al C₃H₆ se observa como la proporción es mínima.

En cuanto a la influencia del estado de carga en los hidrocarburos vemos como a menor porcentaje de carga mayor cantidad de hidrocarburos se encuentran, esto es debido a que contra menos energía tenga la celda para quemar los hidrocarburos, se obtendrán mayores cantidades de estos en los productos de la combustión.

Los hidrocarburos también presentan riesgos en caso de inhalación, causando la irritación de los pulmones, tos, asfixia, ahogos y problemas neurológicos. De todos los hidrocarburos productos de la fuga térmica el que se encontró en mayor proporción fue el metano (CH₄), este no es tóxico ni peligrosos en caso de inhalar pequeñas cantidades, pero en caso de inhalar una gran cantidad puede provocar el desplazamiento del oxígeno en el aire provocando asfixia, además es altamente inflamable.(22)

Con todo esto se puede decir que el estado de carga es una variable a tener en cuenta y además los gases producto de la fuga térmica en celdas de ion-litio presentan riesgos para los seres humanos y el medio ambiente, por lo que es necesario controlar este fenómeno evitando que se produzca, abordando métodos y realizando investigaciones respecto a las celdas de litio con el objetivo de realizar mejoras en ámbitos de seguridad y emisiones producidas por la combustión de los elementos que constituyen las celdas.

Capítulo 5: Conclusiones.

- 5.1 Introducción.
- 5.2 Conclusiones.
- 5.3 Trabajos futuros.

5.1 Introducción.

El propósito de este capítulo es presentar un resumen de las conclusiones clave derivadas de este estudio y establecer directrices para investigaciones futuras.

En él, se ha concretado cuales han sido las principales influencias del estado de carga en las celdas de ion litio respecto a los gases que emiten, así como las temperaturas y cantidades de energía liberada de cada una de las celdas durante el proceso de fuga térmica.

5.2 Conclusiones.

Para cumplir con los objetivos descritos en el primer capítulo, se ha estudiado el proceso de fuga térmica en celdas de ion-litio con diferentes estados de carga, provocando este fenómeno con un calorímetro y posteriormente analizando los gases producto de este fenómeno mediante un cromatógrafo. Para analizar los resultados de los ensayos se han analizado los valores de temperatura y presión durante el proceso de fuga térmica de cada una de las celdas y en cuanto al análisis de los gases se ha determinado la concentración en la que estos se encuentran y la peligrosidad asociada a cada uno de ellos.

A continuación, se exponen las conclusiones que se han extraído del estudio:

- Respecto a las temperaturas alcanzadas durante el proceso de fuga térmica se puede determinar que claramente las máximas temperaturas alcanzadas son mayores en las celdas con un estado de carga más alto, ya que la celda con un 100% de SOC alcanzó como máxima 703,81 °C mientras que la celda con un SOC del 50% alcanzó 666,14 °C.

-Mediante en análisis de las temperaturas a lo largo del ensayo se ha podido determinar que el estado de carga de las celdas es un factor que influye en el tiempo en el cual se inicia el proceso de fuga térmica.

-Por otro lado, la cantidad de energía liberada claramente depende del estado de carga en el cual se encuentre la celda, ya que, a mayor cantidad de energía almacenada en la celda, mayor cantidad de energía puede ser liberada.

-Respecto a el objeto principal del proyecto, se ha sacado como conclusión que el estado de carga de las celdas también influencia los gases producto de la reacción de combustión de las celdas. A menor porcentaje de estado de carga mayor es la cantidad de hidrocarburos que se generan. Los gases producto de la combustión incompleta de las celdas están formados por monóxido de carbono e hidrocarburos, además del hidrógeno producto proveniente de la combustión del ánodo de las celdas, los cuales pueden llegar a presentar un peligro si se inhalan en grandes concentraciones.

Analizando el proyecto con las conclusiones de los artículos que se han tenido como referencia en los antecedentes, se ha determinado que el estudio presenta concordancia con los resultados de estos.

5.3 Trabajos futuros.

Para concluir, se van a mostrar algunas tareas que se pueden llevar a cabo para continuar con esta línea de investigación. El objetivo de este trabajo era determinar la influencia del estado de carga de celdas de ion litio en los gases emitidos cuando se provoca el fenómeno de fuga térmica.

Uno de los trabajos futuros es determinar cuál es la influencia del estado de carga en celdas de ion-litio cuando se produce el fenómeno de fuga térmica, respecto a los residuos y partículas liberadas por la celda, analizando cuales son estas y determinando las consideraciones necesarias.

En segundo lugar, se propone realizar análisis de los gases generados durante el proceso de fuga térmica, pero esta vez centrándose en la influencia diferentes químicas de las celdas de litio, tanto del cátodo, del ánodo y del electrolito utilizado, de esta forma se puede determinar en que influye la química respecto a los gases producto de la reacción de combustión y a su vez determinar si existen químicas con aspectos más seguros.

Por otra parte, también se puede realizar el mismo estudio, pero variando el motivo por el cual se produce la fuga térmica, siendo este en lugar del aumento progresivo de la temperatura, la penetración de la celda por un clavo, ensayo conocido como "*Nail Penetration*". Con el objetivo de ver si existen cambios en la composición de los gases en función de la causa de la fuga térmica en la celda.

Capítulo 6: Referencias bibliográficas

1. Zou K, He K, Lu S. Venting composition and rate of large-format LiNi_{0.8}Co_{0.1}Mn_{0.1}O₂ pouch power battery during thermal runaway. *Int J Heat Mass Transf* [Internet]. octubre de 2022 [citado 5 de junio de 2023];195:123133. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0017931022006044>
2. Lammer M, Königseder A, Hacker V. Holistic methodology for characterisation of the thermally induced failure of commercially available 18650 lithium ion cells. *RSC Adv* [Internet]. 2017 [citado 5 de junio de 2023];7(39):24425-9. Disponible en: <http://xlink.rsc.org/?DOI=C7RA02635H>
3. Golubkov AW, Scheikl S, Planteu R, Voitic G, Wiltsche H, Stangl C, et al. Thermal runaway of commercial 18650 Li-ion batteries with LFP and NCA cathodes – impact of state of charge and overcharge. *RSC Adv* [Internet]. 2015 [citado 5 de junio de 2023];5(70):57171-86. Disponible en: <http://xlink.rsc.org/?DOI=C5RA05897J>
4. Yuan L, Dubaniewicz T, Zlochower I, Thomas R, Rayyan N. Experimental study on thermal runaway and vented gases of lithium-ion cells. *Process Saf Environ Prot* [Internet]. diciembre de 2020 [citado 5 de junio de 2023];144:186-92. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957582020316360>
5. Kennedy RW, Marr KC, Ezekoye OA. Gas release rates and properties from Lithium Cobalt Oxide lithium ion battery arrays. *J Power Sources* [Internet]. marzo de 2021 [citado 5 de junio de 2023];487:229388. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378775320316724>
6. Koch S, Fill A, Birke KP. Comprehensive gas analysis on large scale automotive lithium-ion cells in thermal runaway. *J Power Sources* [Internet]. septiembre de 2018 [citado 5 de junio de 2023];398:106-12. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378775318307687>
7. Campos AA. Uso de las baterías de litio [Internet]. *InElectronic*. 2020 [citado 6 de junio de 2023]. Disponible en: <https://inelectronic.com/en/uso-de-las-baterias-de-litio/>
8. Itux. Ciencia y tecnología.: Baterías de Ion-Litio: conceptos, funcionamiento, mantenimiento y trucos - PARTE I [Internet]. *Ciencia y tecnología*. 2014 [citado 6 de junio de 2023]. Disponible en: <http://arquitectura.blogspot.com/2014/04/baterias-de-ion-litio-conceptos.html>
9. Quintana Bea - Diseño de celdas y BMS para una batería de Ion-Litio integrada en un prototipo de moto de competición totalmente eléctrica.pdf [Internet]. [citado 6 de junio de 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/160051/Quintana%20Bea%20-%20Dise%c3%b1o%20de%20celdas%20y%20BMS%20para%20una%20bater%c3%ada%20de%20Ion-Litio%20integrada%20en%20un%20prototipo%20de%20moto%20de%20competici%c3%b3n%20totalmente%20el%c3%a9ctrica.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
10. LG Chem [Internet]. [citado 12 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.lgchem.com/main/index>

11. Calorímetro de tasa de aceleración EV+ | Tecnología de riesgo térmico [Internet]. [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.thermalhazardtechnology.com/battery-products/ev-plus-accelerating-rate-calorimeter>
12. <https://arbin.com/> [Internet]. [citado 8 de junio de 2023]. 165 - LBT21084HC | Arbin Instruments. Disponible en: https://arbin.com/iv_products/165/
13. <https://arbin.com/> [Internet]. [citado 8 de junio de 2023]. Battery Holders and Battery Racks | Arbin Instruments. Disponible en: <https://arbin.com/auxiliary-modules/battery-holders-and-battery-racks/>
14. Micro GC, fast chromatography | Agilent [Internet]. [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.agilent.com/en/product/gas-chromatography/gc-systems/990-micro-gc-system>
15. DL850/DL850V ScopeCorder | Yokogawa Test & Measurement Corporation [Internet]. [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: <https://tmi.yokogawa.com/solutions/discontinued/dl850dl850v-scopecorder/>
16. Sassone A, Shin D, Bocca A, Macii A, Macii E, Poncino M. Modeling of the charging behavior of li-ion batteries based on manufacturer's data. En: Proceedings of the 24th edition of the great lakes symposium on VLSI [Internet]. Houston Texas USA: ACM; 2014 [citado 8 de junio de 2023]. p. 39-44. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2591513.2591592>
17. casadellibro [Internet]. 2016 [citado 16 de junio de 2023]. DIAGNOSTICO DE LA COMBUSTION EN MOTORES DIESEL DE INYECCIN DIRECTA de JAIME MARTN | Casa del Libro. Disponible en: <https://www.casadellibro.com/libro-diagnostico-de-la-combustion-en-motores-diesel-de-inyeccin-directa/9788429147179/4604721>
18. Welcome to CoolProp — CoolProp 6.4.3 documentation [Internet]. [citado 26 de junio de 2023]. Disponible en: <http://www.coolprop.org/>
19. Çengel YA, Ghajar AJ. Heat and mass transfer: fundamentals & applications. Fifth edition. New York, NY: McGraw Hill Education; 2015. 968 p.
20. Directrices clínicas para la intoxicación por monóxido de carbono (CO) después de un desastre [Internet]. 2020 [citado 16 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.cdc.gov/es/disasters/co_guidance.html
21. CO2 (Dióxido de carbono) | PRTR España [Internet]. [citado 16 de junio de 2023]. Disponible en: <https://prtr-es.es/CO2-Dioxido-de-carbono,15590,11,2007.html>
22. El metano y la salud y seguridad | SoCalGas [Internet]. [citado 16 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.socalgas.com/es/stay-safe/methane-emissions/methane-and-health-and-safety>

DOCUMENTO 2: PLIEGO DE CONDICIONES

1. Introducción	
2. Condiciones legales	
3. Condiciones generales	
4. Condiciones particulares	

1. Introducción

Este documento establece las condiciones, requisitos técnicos y legales necesarios para la realización del trabajo. En él se incluyen las condiciones generales, técnicas, de seguridad e higiene y ejecución a cumplir. El objetivo principal de este documento es proporcionar toda la normativa necesaria para garantizar la seguridad de todo el personal involucrado en la realización del proyecto, así como el éxito de los resultados obtenido en los ensayos experimentales.

En este documento no se tendrán en cuenta los trabajos de obra civil, instalaciones de agua, electricidad, aire comprimido, sistemas de almacenamiento de gases u otros elementos constructivos de la sala donde se ubica la instalación experimental.

2. Condiciones generales

Se describen a continuación las condiciones necesarias para el desarrollo adecuado de las actividades descritas en la memoria.

2.1 Condiciones de los equipos de trabajo

El Pc portátil empleado para el procesamiento de datos y el resto de las tareas es un MSI G66 Stealth con las siguientes especificaciones.

Procesador
Intel® Core™ i7-10875H CPU @ 2.30GHz
Memoria RAM
32GB
Almacenamiento
1 TB
Tarjeta gráfica
NVIDIA GeForce RTX 2070 Super with Max-Q desing
Sistema operativo
Windows 10 Homme

Tabla 3. Características ordenador

Fuente de alimentación LBT21084HC-5V-30A-8CH, para el acondicionamiento de las celdas.

Serie del producto	LBT21 Series
Voltaje máximo	5V
Corriente máxima	30A
Número de canales	8
Tamaño del chasis	25W45D30H

Tabla 4. Características fuente alimentación

Cromatógrafo 990 Micro GC, para la medición de gases producto de la fuga térmica en las celdas.

Gas portador	Helio, Argón	Hidrógeno	Nitrógeno
Canales	Hasta cuatro canales controlados de forma independiente		
Detector	TCD micromaquinado, de doble canal		
Rango de inyección	1-10µL con tiempo de inyección seleccionable por software		
Temperatura de inyección	Hasta 110°C, incluida la línea de transferencia calentada		
Conexión de entrada	Accesorios de compresión de acero inoxidable de 3,2 mm		
Presión máxima de entrada	100kPa		
Temperatura del horno	Hasta 180°C, isotérmico		
Repetibilidad de área máxima	<0,5% RSD para propano a un nivel de 1% en moles para columnas WCOT a temperatura y presión constantes		
Entrada de muestra	Accesorios Valco de acero inoxidable de 1,6mm con filtro reemplazable de acero inoxidable de 5µm		
Rango de concentración de TCD	0,5 ppm al nivel del 100%		
Rango dinámico lineal TCD	10 ⁵ , propano en un canal CP-Sil 5 CB		
Límite de detección típico	0,5 ppm para columnas capilares WCOT 10 ppm para columnas microempaquetadas	2 ppm para columnas PLOT	10 ppm para columnas microempaquetadas

Tabla 5. Características cromatógrafo

2.2 Condiciones de los programas empleados

En esta sección se detallarán los softwares empleados tanto para el procesamiento de datos como para la redacción del proyecto.

- Microsoft Office 365: Se trata de un conjunto de aplicaciones desarrolladas por Microsoft utilizado para realizar diversas tareas, como redacción (Word y PowerPoint). El paquete de software pertenece a la licencia adquirida a través de la Universidad Politécnica de Valencia.
- MATLAB R2022b: Es una herramienta de software matemático que proporciona un entorno de Desarrollo integrado junto con un lenguaje de programación conocido como "lenguaje M". Se ha hecho uso de este para el procesamiento de datos. La licencia para utilizar MATLAB en este proyecto fue obtenida a través de la Universidad Politécnica de Valencia.

2.3 Condiciones del puesto de trabajo

Para la realización de este proyecto es necesario un espacio de trabajo adecuado para prevenir riesgos laborales y fatiga durante la actividad. Por lo que las condiciones de entorno desempeñarán un papel crucial en el bienestar y seguridad del trabajador.

La normativa aplicable a las tareas que se llevarán a cabo se encuentra establecidas en el Real Decreto 488/1997, emitido el 14 de abril. Dicha normativa establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud relacionadas con el trabajo en equipos que incluyen pantallas de visualización. Según esta normativa el puesto se define como “el constituido por un equipo con pantalla de visualización provisto, en su caso, de un teclado o dispositivo de adquisición de datos, de un programa para la interconexión persona-máquina, de accesorios ofimáticos y de un asiento y mesa o superficie de trabajo, así como el entorno laboral inmediato”.

Se considerarán como riesgos con especial atención los siguientes:

- Tiempo promedio de uso diario del equipo.
- Tiempo máximo continuo de uso de la pantalla requerido por la tarea.
- Grado de atención de la tarea.

Se deberá de realizar una vigilancia de la salud. Se tendrá en cuenta los riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, con el posible efecto de combinación de estos.

2.3.1 Equipo

La utilización del equipo no debe de ser una fuente de riesgo para el trabajador.

- Pantalla: Los caracteres en la pantalla deben estar claramente definidos y configurados, con una dimensión adecuada y un espacio adecuado entre ellos y las líneas. La imagen en la pantalla debe de ser estable, sin parpadeos, destellos u otras formas de inestabilidad. El usuario debe de poder ajustar fácilmente el brillo y el contraste entre los caracteres y el fondo de la pantalla, adaptándolos a las condiciones del entorno. La pantalla debe de ser orientable e inclinable según las necesidades del usuario, con la capacidad de ajustarse mediante un pedestal independiente o una mesa regulable. No debe de molestar reflejos no reverberaciones que puedan causar molestias al usuario.
- Teclado: El teclado debe de contar con la capacidad de ser inclinable de forma independiente a la pantalla, con el fin de permitir al trabajador adoptar una postura cómoda que evite la fatiga en los brazos y manos. Debe de existir un espacio adecuado frente al teclado para que el usuario pueda apoyar los brazos y las manos de manera confortable. La superficie del teclado debe de ser mate para evitar reflejos indeseables. La disposición del teclado y las características de las teclas deben diseñarse de manera que facilite su uso, siendo legible desde la posición normal de trabajo.

- Mesa de trabajo: La mesa de trabajo debe de tener un bajo nivel de reflectividad, dimensiones adecuadas y permitir una disposición flexible de la pantalla, el teclado, los documentos y otros elementos auxiliares. Debe de ser estable, ajustable y ubicado de manera de que se minimicen los movimientos incómodos de la cabeza y los ojos.
- Asiento de trabajo: Deberá de ser estable, proporcionando la libertad de movimiento y procurándole una postura cómoda. Su altura y respaldo deberán de ser ajustables. En caso de que el trabajador lo requiera se le deberá de otorgar un reposapiés.

2.3.2 Espacio

El entorno de trabajo debe de ser adecuado para la comodidad del trabajador.

- Espacio: El puesto de trabajo debe tener dimensiones adecuadas y estar acondicionado de manera que permita suficiente espacio para realizar cambios de postura y movimientos laborales.
- Iluminación: La iluminación general y la específica, cuando sea necesario, deben de asegurar niveles adecuado de iluminación y relaciones de luminancia apropiadas entre la pantalla y su entorno. Esto debe tener en cuenta la naturaleza del trabajo, las necesidades visuales del usuario y el tipo de pantalla utilizado. El diseño del lugar de trabajo y del puesto de trabajo, así como la ubicación y características técnicas de las fuentes de luz artificial, deben de coordinarse para evitar deslumbramientos y reflejos molestos en la pantalla u otras partes del equipo.
- Reflejos y deslumbramientos: Los puestos de trabajo deben instalarse de manera que las fuentes de luz, como ventanas y otras aberturas, paneles transparentes o translúcidos y equipos o paneles de color claro, no causen deslumbramiento directo un generen reflejos molestos en la pantalla. Las ventanas deben contar con dispositivos de cobertura adecuados y regulables para atenuar la luz natural que ilumina el puesto de trabajo.
- Emisiones: Toda la radiación, excepto por la parte visible del espectro electromagnético, debe reducirse a niveles insignificantes en términos de protección de la seguridad y la salud de los trabajadores.
- Humedad: Se debe mantener un nivel de humedad aceptable en el entorno de trabajo. Estando entre los valores del 45 y 65 % de humedad relativa en el aire, para cualquier temperatura.

- Temperatura: la temperatura operativa de confort debe mantenerse en época de verano de 23 a 26°C, en época de invierno de 20 a 24°C y en todo el tiempo no exceder de 26°C.

2.3.3 Interconexión ordenador/persona

Para la elaboración, selección, adquisición y modificación de programas, así como para la definición de tareas que involucren pantallas de visualización el empleador debe tener en cuenta los siguientes factores.

- El programa debe de estar adecuado a la tarea que se va a realizar.
- El programa debe de ser de fácil uso y, en caso necesario, adaptable al nivel de conocimientos y experiencias del usuario. No se deben utilizar dispositivos de control cuantitativos o cualitativos sin haber informado previamente a los trabajadores y haber consultado a sus representantes.
- Los sistemas deben proporcionar a los trabajadores indicaciones claras sobre su funcionamiento.
- Los sistemas deben mostrar la información en un formato y ritmo que se adapten a los operadores.
- Se debe aplicar los principios de ergonomía, especialmente en lo que respecta al manejo de la información por parte del individuo.

2.3.4 Medidas de emergencia. Vías y salidas de evacuación

La empresa debe implementar medidas de emergencia que contemplen las rutas y salidas de evacuación en caso de una situación de emergencia. Estas medidas deben de ser comunicadas a los trabajadores. Existen diversas normativas que abordan este aspecto, principalmente centradas en la fase de construcción de la instalación. En este documento, se asume que estas medidas han sido adecuadamente validadas durante la construcción de la instalación, tomando en cuenta su enfoque experimental y las particularidades que esto implica.

2.3.5 Instalación eléctrica

La instalación eléctrica debe de ser diseñada, puesta en funcionamiento y mantenida por una empresa autorizada por el Ministerio de Industria y Energía o la Consejería de Industria, o una entidad similar de la Comunidad Autónoma donde se encuentre ubicado el lugar de trabajo. Esta instalación debe garantizar que, dado el uso de energía eléctrica, no se produzcan riesgos de contacto para las personas, incendios o explosiones. Para lograrlo, se deben seguir las normas establecidas en los Reglamentos de Baja y Alta Tensión vigentes con relación a tensiones seguras en los conductores, sistemas de protección, entre otros. En cuanto a la seguridad eléctrica en los puestos de trabajos equipados con pantallas de visualización de datos, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Cumplir los requisitos de la directiva sobre emisiones electromagnéticas, que exige que cualquier radiación electromagnética se reduzca a niveles insignificantes para la protección, seguridad y salud de los trabajadores.
- Garantizar el mantenimiento adecuado de los cables y las conexiones eléctricas.
- Mantener una separación entre los cables eléctricos y los cables telefónicos.
- Utilizar longitudes de cable suficientes para permitir futuros cambios y asegurarse de que estén colocados de manera que su mantenimiento sea adecuado, evitando que sean pisados o expuestos a condiciones adversas.
- Facilitar el acceso y mantenimiento de los cables sin interrumpir las actividades laborales.

2.3.6 Ruido

Según lo establecido en el Real Decreto 1316/1989 del 27 de octubre, el empleador tiene la responsabilidad de evaluar la exposición de los trabajadores al ruido, con el objetivo de determinar si se superan los límites establecidos por la normativa. En caso de superarse dichos límites, deben aplicarse las medidas correspondientes en el origen, en el medio y en el receptor, así como llevar a cabo reconocimientos médicos específicos con la periodicidad y características indicadas en el Real Decreto.

Normalmente, en los entornos de trabajo con PVD no suele haber niveles sonoros elevados. Sin embargo, es importante tener en cuenta que existen niveles medio de ruido que pueden resultar molestos y afectar la atención de los operarios de equipos informáticos, e incluso pueden resultar insoportables para actividades que requieran una concentración elevada. Para los puestos de trabajo con PVD, se debe procurar mantener el nivel de ruido lo más bajo posible. Para lograrlo se deben utilizar equipos con una emisión sonora mínima y optimizar las condiciones acústicas del lugar de trabajo. El nivel sonoro continuo equivalente no debe exceder los 55 dB(A).

3. Condiciones particulares

Los ensayos experimentales constituyen la base fundamental para el desarrollo y análisis del objeto del presente proyecto. Sin embargo, su realización conlleva riesgos tanto para los técnicos como para las personas presentes. Por tanto, es necesario que la estructura de la sala de ensayos, las instalaciones contenidas en ella y los operarios encargados de su control cumplan con una serie de normas detalladas a continuación.

Además, se deben cumplir una serie de requisitos técnicos y procedimientos para garantizar el correcto desarrollo de los ensayos y obtener los resultados fiables.

- Condiciones particulares de la sala de ensayos: Se establecerán las condiciones necesarias para garantizar la correcta ejecución de los ensayos sin poner en peligro las personas que se encuentren cerca del ensayo durante su desarrollo.
- Tratamiento de los instrumentos de medida: se describirán brevemente los métodos que deben aplicarse al manipular los diferentes instrumentos de medida, con el fin de asegurar la validez de los resultados obtenidos.

Es importante seguir estas directrices para asegurar la seguridad de los participantes y la fiabilidad de los datos obtenidos durante los ensayos experimentales.

3.1 Condiciones de realización de los ensayos

Dado que las baterías de litio son una tecnología relativamente nueva, existen pocas regulaciones específicas para seguirlas. Por lo tanto, se han hecho uso de las normativas existentes de transporte de baterías de litio UNE-EN 62281 y acumuladores de litio para elementos portátiles UNE-EN IEC 61960. Además de estas dos normativas se encuentra un Real Decreto (27/2021 del 19 de enero) dentro del Boletín Oficial del Estado, redactado por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.

3.2 Condiciones de la sala de ensayos

La sala de ensayos es el lugar en el cual se han realizado los ensayos, conteniendo así todos los elementos necesarios para su realización.

3.2.1 Almacenamiento de celdas

Para realizar un correcto almacenamiento de las celdas necesarias para la realización de los ensayos es necesario actuar como indica la normativa UNE-EN 62281 sobre el transporte de baterías de litio.

- Almacenar las baterías en condiciones bien ventiladas, en un ambiente no húmedo y seco.
- No colocar cajas de baterías una encima de la otra superando la altura especificada por el fabricante.
- Evitar la exposición de las baterías a la luz directa o sol, así como también a la lluvia.
- Almacenarlas en su embalaje original.

3.2.2 Iluminación

Para la iluminación de la sala de ensayos se deberán cumplir los requisitos impuestos por la norma DIN 5035, haciendo necesaria un nivel de iluminancia 7(750 lux), entre “Tareas visuales normales y detalles de tamaño medio con contrastes reducidos” y “Tareas visuales muy difíciles, pequeños detalles con contrastes reducidos”.

Deberá de tener una correcta iluminación, realizada mediante tubos fluorescentes dispuestos en varias luminarias.

3.2.3 Protección eléctrica

Para evitar posibles accidentes, debe situarse un interruptor de energía en el exterior de la sala, así como un punto de corte de suministro de tensión eléctrica en los equipos que formen el banco de ensayos.

3.2.4 Aislamiento térmico, acústico y vibraciones

Todas las superficies susceptibles a exceder una temperatura de 80 °C y exista un riesgo de contacto con otros elementos los cuales dicha temperatura puede provocar peligros, deben de estar aisladas.

Debido a los niveles de ruido pueden superar los 120dB, las paredes, suelo y techos de la sala de ensayo han de estar aisladas adecuadamente.

3.2.5 Ventilación y sistemas de extracción de gases

Debido a los ensayos realizados con las celdas la ventilación y el sistema de extracción de gases de la sala de ensayos es primordial.

Los conductos de extracción de gases deben de ser completamente estancos, y colocarse en lugares donde no sean un inconveniente a la hora de moverse en la sala, además las partes donde los conductos donde se transporten gases a altas temperaturas deberán de tener un aislamiento térmico.

3.2.6 Dimensiones y accesibilidad

Las dimensiones de la sala de ensayo deben de ser suficientes para la realización de los ensayos, de forma que se puedan desarrollar todas las operaciones necesarias de montaje, mantenimiento y supervisión de todos los elementos.

Las zonas de acceso para el mantenimiento deberán de tener una altura libre desde el suelo no inferior a 2 metros y un paso mínimo de 50 centímetros.

Toda la sala debe de estar normalizada según el plan contraincendios.

El acceso a la sala de ensayos debe de estar restringido al personal autorizado.

3.3 Tarado de instrumental

Dentro del tarado instrumental solo cabe centrarse en los termopares, ya que son el único elemento que se ha utilizado el cual necesita de calibración.

3.3.1 Termopares

Para la medida de las temperaturas se ha hecho uso de termopares tipo N. Estos precisan de una calibración previa a su uso junto a la unidad de medición a la que se van a conectar. En este caso será necesario calibrarlos junto a uno de los módulos que forma parte del calorímetro. Tal y como indica el fabricante será necesario conectarlo y realizar una serie de pruebas especificadas por el mismo dentro del manual.

3.3.2 Cromatógrafo

Para la medición de los gases generados se ha hecho uso del cromatógrafo. Este precisa de calibración para la medición de los gases en los cuales se está interesado. Para ello será necesarios calibrarlos dentro de un espectro conocido y llevar a cabo los pasos indicados por el fabricante para la calibración.

3.4 Normas para los operadores

A continuación, se muestran las normas específicas del trabajo de los operadores:

- Conectar la extracción de la sala siempre antes de empezar los ensayos.
- Evitar el contacto físico con las celdas quemadas.
- Ensayar siempre con la puerta cerrada.
- Queda prohibido el acceso a la sala durante el desarrollo del ensayo.
- Las operaciones que puedan llevar algún tipo de peligro, deberán de ser ejecutadas por personal especializado y con los medios de protección necesarios.
- El laboratorio está equipado con medios en caso de pequeñas lesiones. Si estas fueran mayores se deberá acudir a los servicios sanitarios de la Universidad.

DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO

1. Introducción.....	.....
2. Descripción del método presupuestado .....	.....
3. Justificación de los precios .....	.....
4. Cuadro de precios descompuestos .....	.....
5. Presupuesto total .....	.....

1.Introducción

En el presente capítulo se detallan los gastos asociados a la ejecución de este proyecto. El estudio se divide en el presupuesto correspondiente a la mano de obra, los gastos derivados de los ensayos, los equipos de medición y los materiales consumibles utilizados durante la realización del proyecto.

En los siguientes apartados, se presentarán los precios aplicados a los costos, los cuales se basan en las tarifas legales vigentes.

El trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del CMT-Motores Térmicos y se destina a investigaciones internas del departamento. Por lo tanto, el presupuesto no incluirá el costo asociado al IVA ni el beneficio industrial. Sin embargo, si el trabajo fuera encargado por una empresa externa al departamento, estos costos se agregarían al presupuesto total.

2. Descripción del método presupuestado

En esta sección se detallarán las categorías presupuestarias que desglosan el presupuesto global y se proporciona información sobre el método utilizado para estimar las amortizaciones de los activos fijos.

2.1 Mano de obra

El costo de mano de obra comprende los gastos relacionados con el personal involucrado en la ejecución de este Proyecto. Se valora en función del rendimiento de los recursos humanos, medido en horas y su precio unitario se expresa en euros por hora. En el caso específico de este proyecto, el equipo incluye a un ingeniero industrial en proceso de doctorado y a un becario de ingeniería mecánica.

2.2 Utilización de bienes de equipo

Todos los equipos utilizados para los ensayos forman parte del inventario de activos fijos del CMT-Motores Térmicos. Por lo tanto, en lugar de considerar el costo de adquisición de estos equipos, se han tenido en cuenta los costos de amortización. A continuación, se enumeran los equipos utilizados:

Equipos experimentales:

- Sensores de presión y temperatura.
- Calorímetro.
- Fuente alimentación.
- Cromatógrafo.
- Holder
- Dispositivo de registro de onda.

- Canister.
- Bombona Argón.
- Bombona Helio.

La amortización de los siguientes equipos se calcula con la siguiente formula:

$$a = \frac{VC - VR}{n}$$
$$t_n = \frac{a}{n}$$

Donde:

a: Amortización (euros/año).

VC: Valor de compra(euros).

VR: valor residual al cabo del periodo de amortización(euros).

n: Periodo de amortización(años).

t_n: Tasa horaria(euros/hora).

h: Horas trabajadas al año.

Equipos personales:

Dentro de este conjunto se encuentran los equipos informáticos y licencias de software utilizados para la ejecución de este Proyecto.

La amortización de estos equipos se ha incluido directamente en los presupuestos parciales mediante la estimación de un precio unitario. Dicha estimación ha considerado tanto el costo de adquisición de los equipos como su vida útil.

2.3 Materiales

En este conjunto de costos se engloba el material no sujeto a amortización que ha sido adquirido específicamente para llevar a cabo el proyecto. En este caso, se considera únicamente el precio de compra y la cantidad utilizada. Esta categoría incluye los gastos de material de sala de ensayos y la energía eléctrica necesaria para llevar a cabo los ensayos y alimentar los sistemas informáticos.

3. Justificación de los precios

Se muestran a continuación los precios de mano de obra.

Coste relacionado con un Ingeniero Mecánico que está en proceso de doctorando.

Para su cálculo se han utilizado las siguientes expresiones

$$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}} = \left[\frac{\text{sem}}{\text{año}} - \frac{\text{sem}_{\text{vacaciones, festivos}}}{\text{año}} \right] \times \frac{\text{horas trabajadas}}{\text{sem}}$$

$$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}} = 52 - 6 \times 40 = 1840 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$\text{Coste horario} = \frac{\text{Salario bruto anual}}{\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}}}$$

$$\text{Coste horario} = \frac{14076.00}{1840} = 7.65 \frac{\text{euros}}{\text{hora}}$$

Coste relacionado con un Doctor Contratado, Profesor del Departamento.

Se ha calculado con las expresiones descritas anteriormente.

$$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}} = 52 - 6 \times 40 = 1840 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$\text{Coste horario} = \frac{32318,8}{1840} = 17,56 \frac{\text{euros}}{\text{hora}}$$

Coste relacionado con un practicante de ingeniería mecánica.

La investigación ha sido realizada por un practicante de ingeniería mecánica llevando a cabo su trabajo de final de grado, por lo tanto, el salario bruto mensual pertenece a una beca de colaboración con un salario bruto mensual de 400 euros/mes. La beca dura 5 meses, y se exigen 450 horas trabajadas en total.

La investigación ha sido llevada a cabo por un estudiante de ingeniería mecánica como parte de su trabajo de fin de grado. Para esta colaboración, se ha establecido una beca con un salario bruto mensual 400 euros/mes. La duración de la beca es de 5 meses, y se requieren un total de 450 horas de trabajo.

Se calcula haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{mes}} = \frac{\text{Horas totales}}{\text{meses}} = \frac{450}{5} = 90 \text{ horas/mes}$$
$$\text{Coste horario} = \frac{400}{90} = 4.44 \text{ euros/hora}$$

4. Cuadro de precios descompuestos

Para desglosar los precios, se tienen en cuenta los siguientes bloques:

- Gastos de equipos y materiales: Comprende los equipos y los materiales específicamente necesarios para este proyecto.
- Recursos humanos: Incluye los costos de mano de obra del proyecto.
- Amortización de equipos de la instalación: Se refiere a los equipos cuyo costo debe ser amortizado. Estos equipos son utilizados por diversos proyectos del departamento y para calcular su presupuesto se consideran como alquilados.

El periodo total establecido para la amortización de estos equipos es de 5 años.

La amortización se calcula teniendo en cuenta el periodo de tiempo trabajado y el periodo total establecido para la amortización.

$$C_{amort} = \frac{5}{60} = 0.0833 = 8.33\%$$

En los presupuestos parciales, cuando se requiere considerar la amortización de un equipo, se multiplicará el costo del equipo a amortizar por 0.0833. Este cálculo proporcionará la parte del costo total del equipo que corresponde a este proyecto.

A continuación, se muestra los precios que se aplican a los cuadros de precios descompuestos según el valor de la amortización del periodo de realización del ensayo.

Cuadro de precios de amortización del equipo.

Unidad	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Amort. (%)	Importe (€)
ud	Sala de ensayos	1	240.500,00 €	8,33%	20.041,67 €
ud	Sistema de control sala	1	5.000,00 €	8,33%	416,67 €
ud	Licencias programas informáticos	1	869,00 €	8,33%	72,42 €
ud	Termopares	5	15,00 €	8,33%	1,25 €
ud	Calorímetro de tasa de aceleración	1	150.000,00 €	8,33%	12.500,00 €
ud	Sensor presión	1	164,00 €	8,33%	13,67 €
ud	Fuente	1	12.500,00 €	8,33%	1.041,67 €
ud	Holder	3	2.500,00 €	8,33%	208,33 €
ud	Dispositivo de registro de formas de onda	1	15.000,00 €	8,33%	1.250,00 €
ud	Canister	1	2.300,00 €	8,33%	191,67 €
ud	Cromatógrafo	1	50.000,00 €	8,33%	4.166,67 €
ud	Bombona b50 Argón	1	200,00 €	8,33%	16,67 €
ud	Bombona b50 Helio	1	800,00 €	8,33%	66,67 €
ud	Equipo informático	1	3.000,00 €	8,33%	250,00 €
Total					40.237,33 €

Tabla 6. Cuadro de precios de amortización de equipos.

A continuación, se muestran las tablas con los precios descompuestos.

Concepto: Reuniones entre los miembros que componen el proyecto.

Unidad	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
h	Doctor Profesor del Departamento: tutor	6	17,56 €	105,36 €
h	Doctor Profesor del Departamento: cotutor	6	17,56 €	105,36 €
h	Ingeniero mecánico doctorando	6	7,65 €	45,90 €
h	Ingeniero mecánico practicando	6	4,44 €	26,64 €
Total				283,26 €

Tabla 7. Precios descompuestos. Partida de reuniones.

Concepto: Realización de ensayos y obtención de datos.

Unidad	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
ud	Sala de ensayos	1	20.041,67 €	20.041,67 €
ud	Sistema de control sala	1	416,67 €	416,67 €
ud	Licencias programas informáticos	1	72,42 €	72,42 €
ud	Termopares	5	1,25 €	6,25 €
ud	Calorímetro de tasa de aceleración	1	12.500,00 €	12.500,00 €
ud	Sensor presión	1	13,67 €	13,67 €
ud	Fuente	1	1.041,67 €	1.041,67 €
ud	Holder	3	208,33 €	625,00 €
ud	Dispositivo de registro de formas de onda	1	1.250,00 €	1.250,00 €
ud	Canister	1	191,67 €	191,67 €
ud	Cromatógrafo	1	4.166,67 €	4.166,67 €
ud	Bombona b50 Argón	1	16,67 €	16,67 €
ud	Bombona b50 Helio	1	66,67 €	66,67 €
ud	Equipo informático	1	250,00 €	250,00 €
h	Ingeniero mecánico doctorando	100	7,65 €	765,00 €
h	Ingeniero mecánico practicando	80	4,44 €	355,20 €
			Total	41.779,20 €

Tabla 8. Precios descompuestos. Partida de realización de ensayos.

Concepto: Procesado de datos.

Unidad	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
h	Ingeniero mecánico doctorando	100	7,65 €	765,00 €
h	Ingeniero mecánico practicando	150	4,44 €	666,00 €
ud	Equipo informático	1	250,00 €	250,00 €
			Total	1.681,00 €

Tabla 9. Precios descompuestos. Partida de procesado de datos.

Concepto: Material fungible.

Unidad	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
ud	Celda LG INR18650	3	3,99 €	11,97 €
kW	Energía eléctrica	700	0,17 €	119,00 €
Ud	Material sala ensayos	1	70,00 €	70,00 €
			Total	200,97 €

Tabla 10. Precios descompuestos. Partida de material fungible.

Concepto: Redacción del proyecto.

Unidad	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
h	Doctor Profesor del Departamento: tutor	2	17,56 €	35,12 €
h	Doctor Profesor del Departamento: cotutor	2	17,56 €	35,12 €
h	Ingeniero mecánico doctorando	6	7,65 €	45,90 €
h	Ingeniero mecánico practicando	150	4,44 €	666,00 €
			Total	711,90 €

Tabla 11. Precios descompuestos. Partida de redacción del proyecto.

5. Presupuesto total

Concepto	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
Reuniones	1	283,26 €	283,26 €
Realización ensayos y adquisición de datos	1	41.779,20 €	41.779,20 €
Procesado de datos y simulación	1	1.681,00 €	1.681,00 €
Material fungible	1	200,97	200,97 €
Redacción del proyecto	1	711,90 €	711,90 €
		Total	44.656,33 €

Tabla 12. Presupuesto total.

El presupuesto total del proyecto presente asciende a un total de CUARENTA Y CUATRO MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y SEIS EUROS CON TREINTA Y TRES CENTIMOS.