



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**TEMA:**

**Análisis térmico de los procesos de carga y descarga controlado en baterías de alta tensión de vehículos híbridos mediante técnica infrarroja predictiva**

**Asimbaya Morales, Bryan Ricardo**

**Director:**

**Ing. Erazo Laverde, Washington  
Germán**

**Latacunga  
2020**





# Introducción

La investigación tiene como finalidad buscar alternativas termográficas mediante la aplicación de la técnica infrarroja predictiva, normativas internacionales, que permitirán establecer un mantenimiento preventivo al momento de realizar una restauración de baterías de alta tensión variando la intensidad de carga y descarga siempre tomando en cuenta los parámetros necesarios como son la capacidad, resistencia interna, intensidad, temperatura de funcionamiento, SOC Y DSOC y aplicación de un método matemático que permita calcular la capacidad instantánea de la misma con la finalidad de prolongar la vida útil.



# Justificación

La investigación busca generar un aumento en la durabilidad y vida útil de las baterías, mediante procesos de carga y descarga, valorando estados iniciales, y la intervención de la temperatura al momento de administrar diferentes valores de corriente cuando se realice el proceso de carga y descarga.

Por esa razón los mantenimientos utilizados para evaluar el correcto funcionamiento de las baterías de alta tensión y los diferentes procesos que se utilizan para su reutilización son de suma importancia es así que un sistema de mantenimiento controlado nos ayudará a verificar el desempeño de las mismas para posteriormente brindar un diagnóstico eficiente de cada batería con el fin de evitar su desecho innecesario.



# Objetivo General

Desarrollar mediciones termográficas en los procesos de carga y descarga en baterías de alta tensión de vehículos híbridos a través de técnica infrarroja predictiva.



# Objetivo Especifico

- Compilar información sobre los materiales para la fabricación de baterías HV determinando el comportamiento de sus componentes en diferentes etapas de funcionamiento.
- Establecer térmicamente parámetros característicos de las baterías tales como sistemas de carga/ descarga, estado de salud.
- Obtener datos de temperatura de las celdas y los packs de las baterías HV.
- Aplicar de manera correcta la normativa ASTM 1933-999 en las superficies de las baterías a ser analizadas.



# Objetivo Especifico

- Realizar pruebas de control mediante la normativa ASTM E1934 - 99a (2018) para determinar conexiones sueltas o deterioradas, componentes defectuosos y desequilibrios en los procesos de carga/descarga controlados
- Garantizar la fiabilidad de las imágenes térmicas y el correcto funcionamiento de la cámara termográfica con la aplicación de la normativa ASTM E1213 - 14 (2018) misma que relaciona la calibración y los valores MRTD (diferencia de temperatura mínima perceptible)
- Aplicar el modelo matemático de Copetti y Chenlo en procesos de carga para posteriormente correlacionarse con los valores obtenidos con la cámara termográfica en dichos procesos, monitoreando sus parámetros de funcionamiento y posteriormente verificar su estado de salud.



# Hipótesis

Al aplicar metodología infrarroja predictiva se podrá establecer un análisis térmico en los procesos de carga y descarga controlada en baterías HV que permitirán aumentar la vida útil y mejorar sus parámetros de funcionamiento.

**Acumuladores de Energía** → **son**

**Materiales**



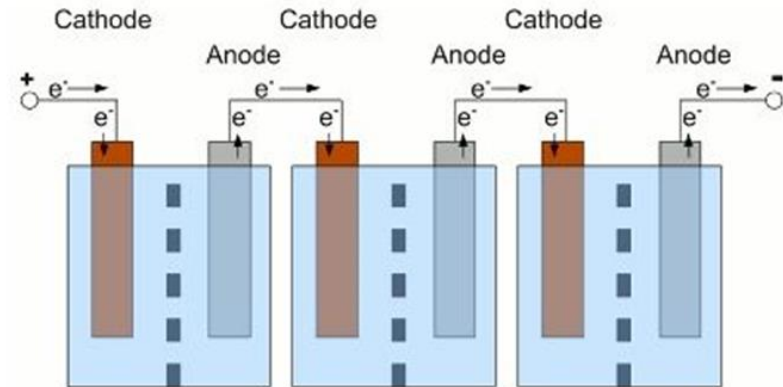
**Níquel Cadmio**  
**Níquel Metal**  
**Iones de Litio**  
**Polímero de Litio**



**Celdas electroquímicas que convierten la energía química en eléctrica**



**Partes**







## Fabricantes y tipos de baterías .

Marca	Modelo	Voltaje nominal	Número de celdas	Voltaje por celda	Composición	Capacidad
<b>BMW</b>	i3	360 V	96	3.75 V		22 kW/h
<b>Toyota</b>	Prius C	144V	20	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
<b>Honda</b>	Accord	144 V	20	7.2 V	NiMH	5,5 A/h
<b>Honda</b>	Civic	158.4 V	22	7.2V	NiMH	5.5 A/h
<b>Hyundai</b>	Ioniq	360 V	94	3.8 V	LiNiMnCo2	28 kW/h
<b>Kía</b>	Optima	360 V	96	3,75 V	Lithium Ion	9.8 kW/h



# Baterías de níquel-hidruro metálico

- Cuando una batería de níquel-hidruro metálico se encuentra cargada, el material activo del electrodo positivo es el oxihidróxido de níquel al igual que en una batería de níquel-cadmio y el material activo del electrodo negativo es el hidrógeno en forma de hidruro metálico, una aleación metálica que permite almacenar el hidrógeno que se genera durante la carga y liberarlo durante la descarga

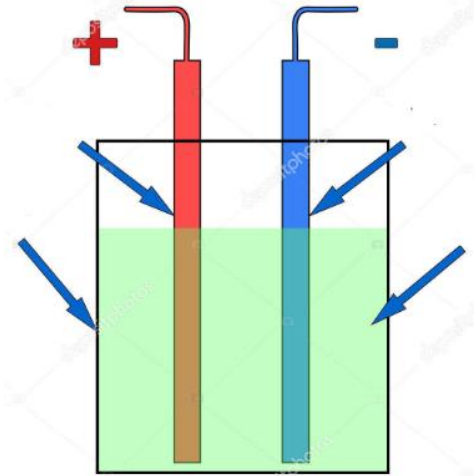
## Ánodo

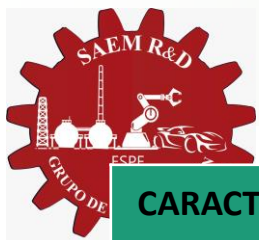
### Oxihidróxido de níquel

- Aleación de tipo AB5 que consiste en una mezcla de níquel (B) y tierras raras (A).
- Aleación de tipo AB2 que consiste en una mezcla de hidruro de circonio o de titanio (A) y otro metal como níquel, cobalto, aluminio, etc. (B).

## Cátodo

### Hidrógeno en forma de hidruro metálico





## CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y FÍSICAS

## DE LA BATERÍA

### DE ALTA TENSIÓN

Parámetro	Valor
Tensión del conjunto de la batería	144 voltios
Número de celdas de baterías Ni MH que forma el paquete	20
Peso de la batería	45 kg (86 Libras)
Dimensiones del módulo de la batería de Ni MH	276 x 20 x 106 mm 11 x 1 x 4 in
Capacidad	6.5 Ah

## CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y FÍSICAS

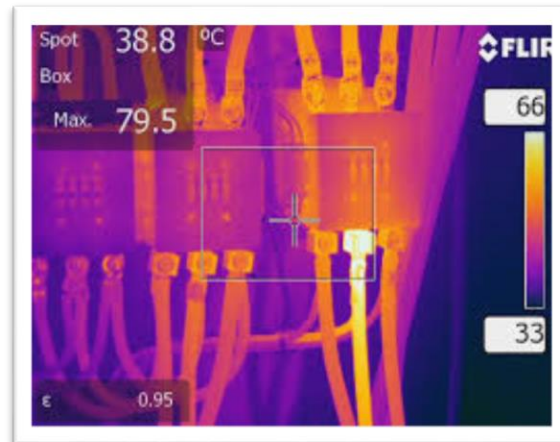
## DE LA CELDA

### DE BATERÍA

Parámetro	Valor
Tensión de Celda	7,2 voltios
Tensión de carga (+ 20%)	8,64 voltios
Número de micro celdas de baterías Ni MH que forma el paquete	6
Peso del conjunto de la batería	1.040 kg (2.82 Libras)
Dimensiones del módulo de la batería de Ni MH	265 x 20 x 105 mm 10 x 1 x 4 in

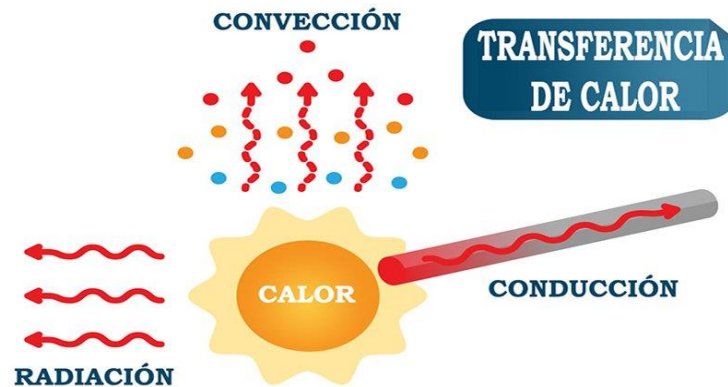
# Termografía infrarroja

La termografía infrarroja es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar, mediante la captación de la intensidad de radiación infrarroja que emiten los cuerpos. Utilizando cámaras termográficas se puede convertir la energía radiada (W), invisible al ojo humano, en una imagen visible formada a partir de la temperatura superficial de los objetos captados por la cámara.



# Transferencia de calor

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja





# Emisividad

Es la propiedad de un material de emitir radiación infrarroja, cuyo valor está en el intervalo de  $0 \leq \epsilon \leq 1$  donde la emisividad máxima  $\epsilon=1$  es la del cuerpo negro. El valor de la emisividad varía según las propiedades de la superficie, del material y para algunos materiales según la temperatura del objeto medido



# Emisividad Típica de Superficies

Superficie	Valor	Superficie	Valor
Aluminio pulido	0,05	Grava	0,95
Cobre Pulido	0,02	Tejido	0,95
Acero Inoxidable	0,1	Cemento	0,95
Cobre (oxidado)	0,68	Barro	0,95
Madera	0,95	Cerámica	0,95
Goma	0,95	Amianto	0,98
Plástico	0,95	Agua	0,98
Papel	0,95	Piel Humana	1





# Enfoque

- En cuanto a cámaras infrarrojas se refiere el disponer de un enfoque preciso, representa mucho más que obtener imágenes nítidas o de alta calidad, determinando la diferencia entre detectar o pasar por alto un problema.
- La cámara termográfica TIS60 dentro de sus características técnicas nos proporciona un enfoque fijo (apuntar/disparar) la distancia recomendada por el fabricante para la toma de imágenes infrarrojas respecto a un objeto es de aproximadamente 45 cm en adelante.



# Resolución del detector (píxeles)

- La calidad de resolución que nos brinda la cámara TIS60 es de 260 x 195 generando un total de (50.700 píxeles) permitiéndonos ver detalles cruciales cuando se visualizan objetivos pequeños o cuando es aplicada para inspecciones de larga distancia.
- Cada pixel detecta la medición de temperatura aparente de un área en el objetivo, a mayor píxeles mayor resolución y eficiencia.



# Modelo de Copetti y Chenlo

- El modelo de Copetti y Chenlo tiene como finalidad corregir los problemas en las zonas de carga y sobrecarga, además de incluir los efectos de la temperatura.
- La capacidad instantánea se calcula de la siguiente manera



$$C(t) = \frac{\text{Capacidad Nominal} * C_c}{1 + A_c \left[ \frac{I(t)}{I_{nominal}} \right]^{B_{cap}}} (1 + \alpha_c * \Delta T + \beta_c * \Delta T^2)$$

$C(t)$ : Capacidad instantánea

**Capacidad Nominal**: Corresponde a la capacidad nominal de batería (en [AH])

$C_c - A_c - B_{cap}$ : Son parámetros del modelo.

$\alpha - \beta$ : Coeficientes dependientes de la temperatura.

$I(t)$ : La corriente que circula a través de ella en amperios.

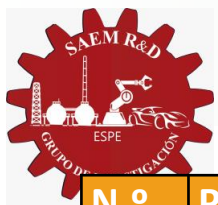
**$I_{nominal}$** : la corriente de descarga correspondiente a la capacidad nominal.

$\Delta T$ : Es la variación de temperatura respecto a la de referencia 25°C.

$n$ : es el número de horas



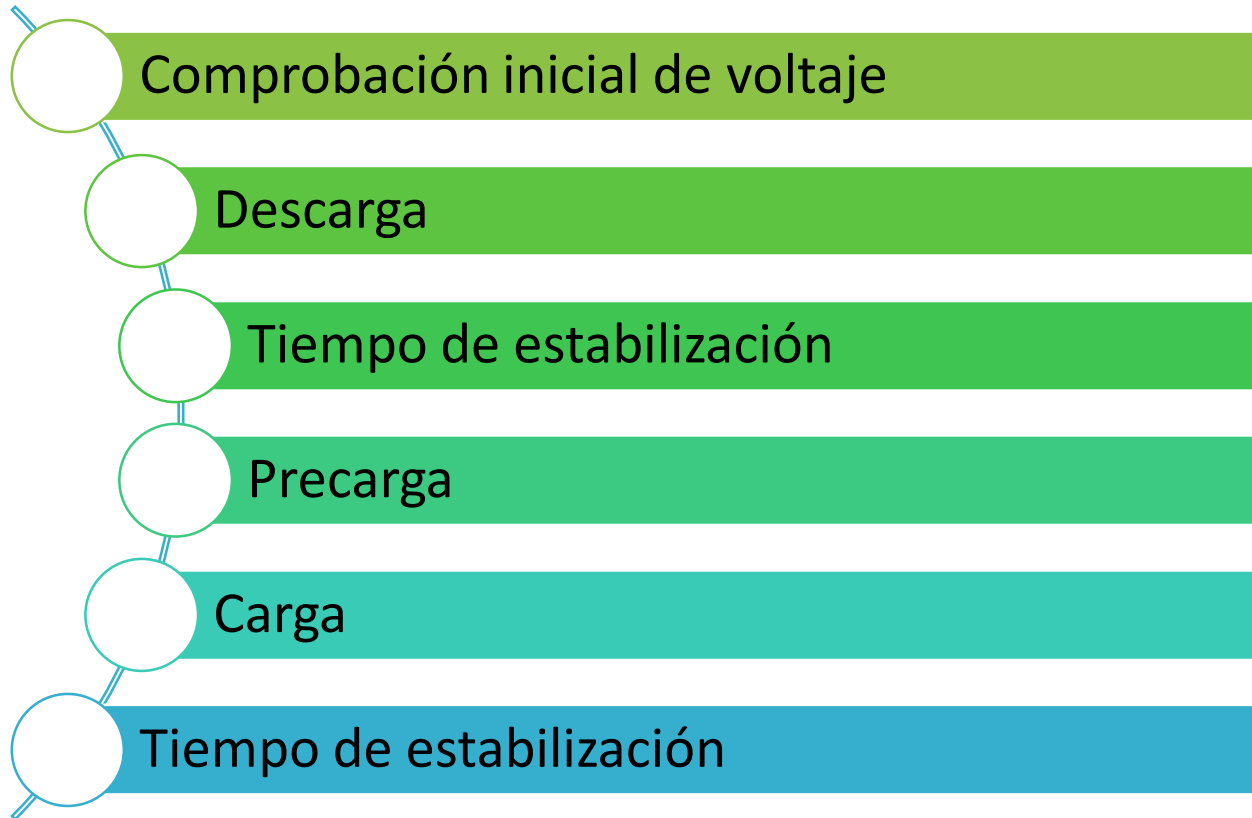
# Protocolo de pruebas



N.º	Proceso	Observación	Consideración
1	Medición inicial de las celdas	Identificar voltaje de cada celda	Monitoreo de temperatura
2	Descarga en paralelo	Descarga hasta el 30% de su tensión nominal (1,60 A)	Monitoreo de temperatura
3	Estabilización	10 minutos	Monitoreo de temperatura
4		Proceso de carga	
	Precarga	0,50 A / 100% De su tensión nominal	Monitoreo de temperatura
	Estabilización	Tiempo de reposo 10 minutos	Monitoreo de temperatura
	Carga	Carga controlada a 1,60 -120% de su capacidad	Monitoreo de temperatura
5	Descarga en serie	Descarga 2,50 A - 30% de su tensión nominal	Monitoreo de temperatura
6	Proceso de carga	Carga controlada a 1,70A -120% de su tensión nominal	Monitoreo de temperatura
8	Tiempo de estabilización	Tiempo de reposo	Monitoreo de temperatura



# PRIMER PROCESO



### Valores iniciales de intensidad en las celdas.

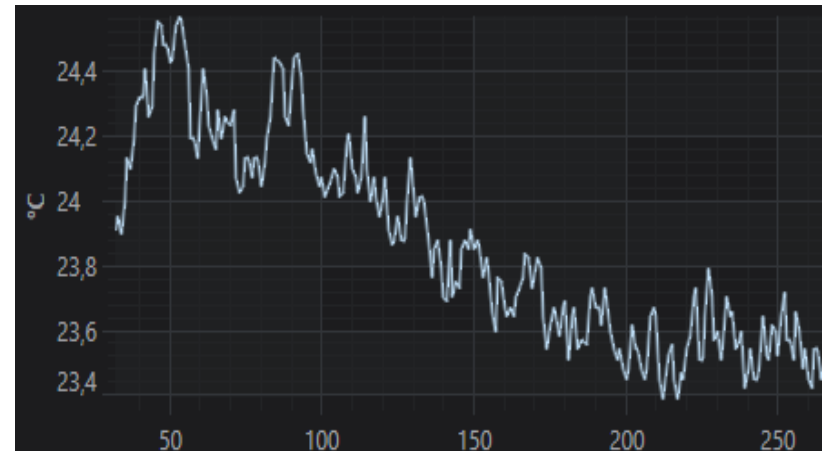
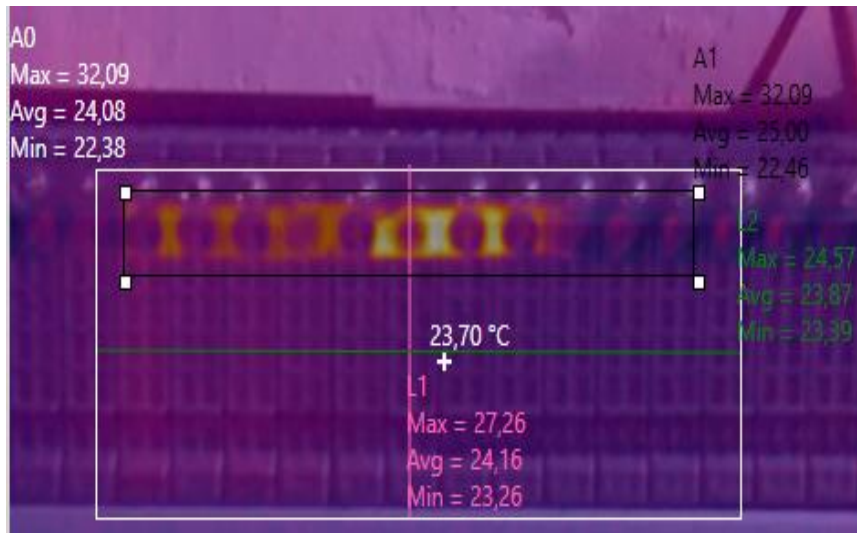
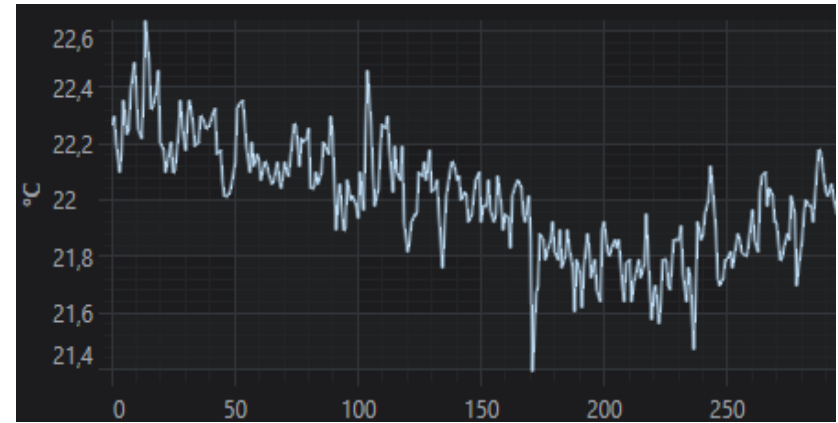
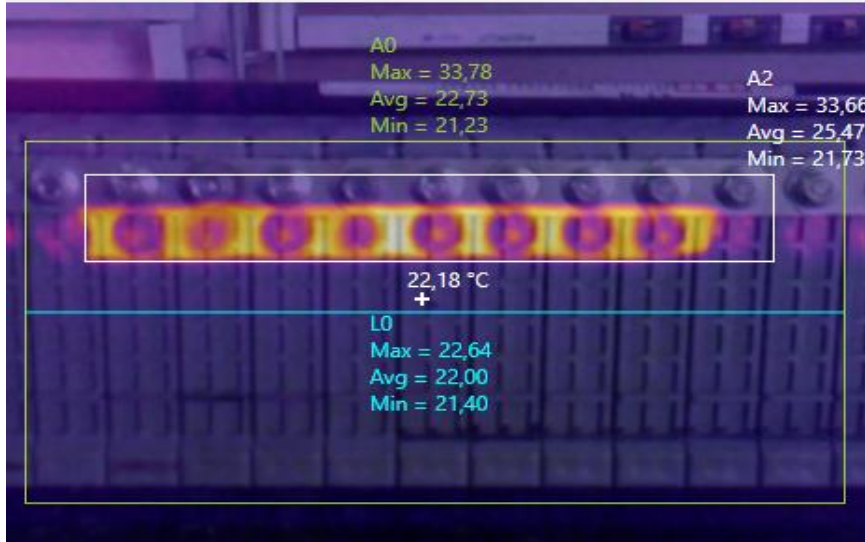
CELDA	V	CELDA	V
1	7,2	11	7,2
2	7,0	12	6,65
3	7,1	13	7,65
4	7,02	14	6,7
5	6,81	15	7,15
6	7,2	16	6,24
7	7,07	17	7,14
8	7,1	18	7,1
9	7,04	19	7,1
10	6,94	20	6,62





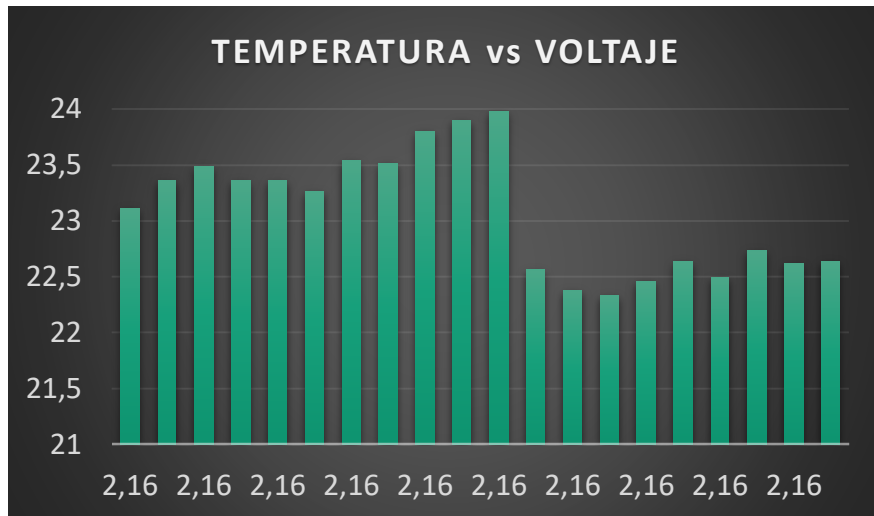


# Proceso de descarga



CELDA	VOLTAJE V	TEMPERATURA °C	CELDA	VOLTAJE V	TEMPERATURA °C
1	2,16	23,11	11	2,16	23,98
2	2,16	23,36	12	2,16	22,56
3	2,16	23,48	13	2,16	22,38
4	2,16	23,36	14	2,16	22,33
5	2,16	23,36	15	2,16	22,46
6	2,16	23,26	16	2,16	22,64
7	2,16	23,54	17	2,16	22,49
8	2,16	23,51	18	2,16	22,73
9	2,16	23,8	19	2,16	22,62
10	2,16	23,9	20	2,16	22,64

Al ser una descarga en paralelo las celdas tienen el mismo voltaje razón por la cual es mucho más efectivo tomar los datos de las celdas y analizarlos, en cuanto a la temperatura se puede observar que las celdas que irradian mayor calor son 9-10-11, mientras las celdas 12 a la 20 su temperatura es casi constante.



### Descarga en paralelo (1,6 A)

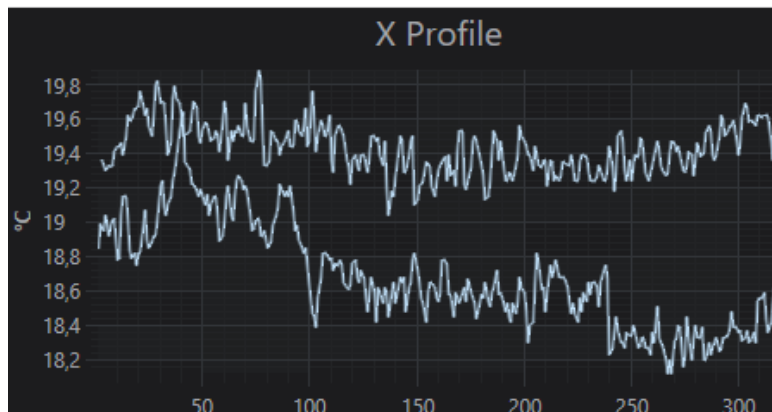
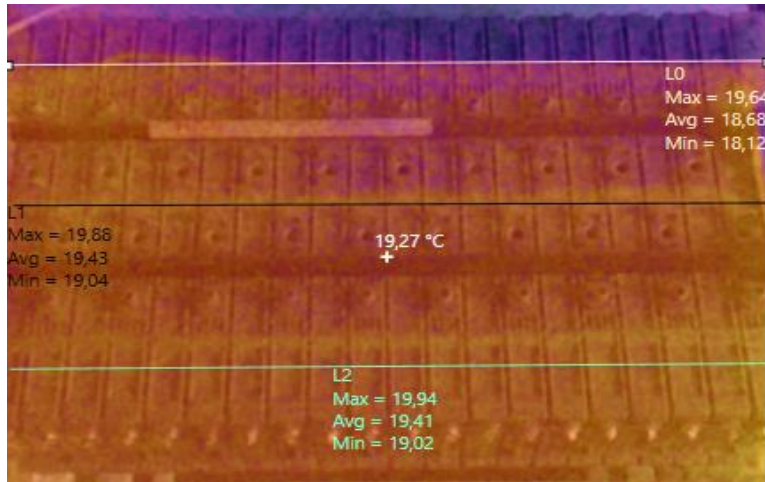
%	Voltaje (V)	Temperatura A °C	Temperatura B °C	Temperatura C °C	Parte Superior °C	Parte Lateral °C
100	7,2	19,8	19,6	19,5	19,3	19,1
90	6,48	22,3	21,8	22,18	20,56	20,15
80	5,76	24,6	24,6	24,5	22,83	21,8
<b>Tiempo de Reposo 14h</b>						
70	5,04	17,5	18	18,1	18,3	20,5
60	4,32	20,8	19,4	21,2	18,8	21,6
50	3,6	21,7	21,7	21,6	21,5	22,2
40	2,88	22,7	22,1	23,6	22,2	22,3
30	2,16	23,1	23,2	23,7	23,48	22,70

Para el mencionado proceso se utiliza una corriente correspondiente a (1,6 A), cuando las celdas se encontraron al 80% de su capacidad, se realizó una para de 14 horas, seguidamente se continuó con la descarga por 8 horas y 45 minutos. Al final el tiempo de descarga empleado fue de 13 horas. En la primera parte se determina que la temperatura vario en  $4,2^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, mientras que en la segunda parte la temperatura vario en  $4,75^{\circ}\text{C}$

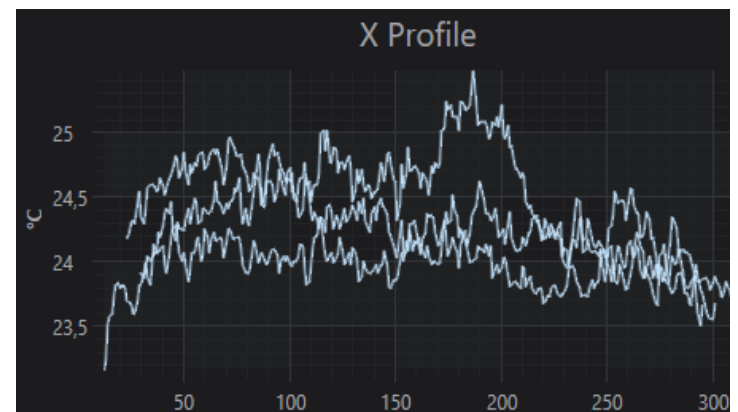
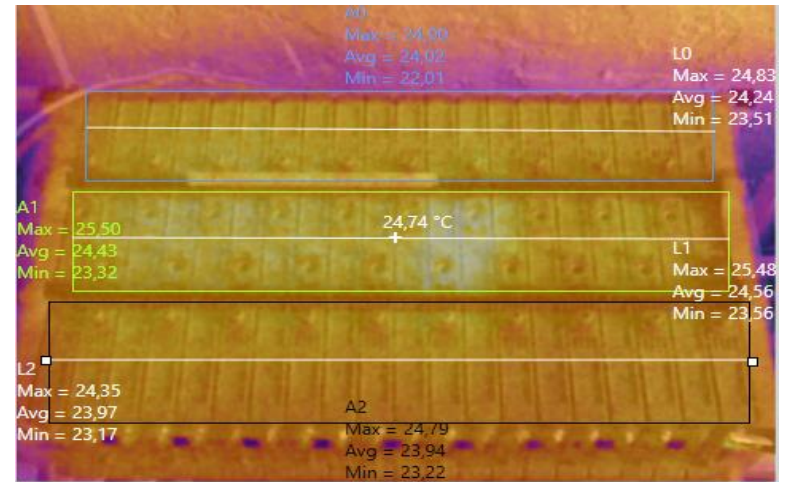


# Proceso de precarga y carga

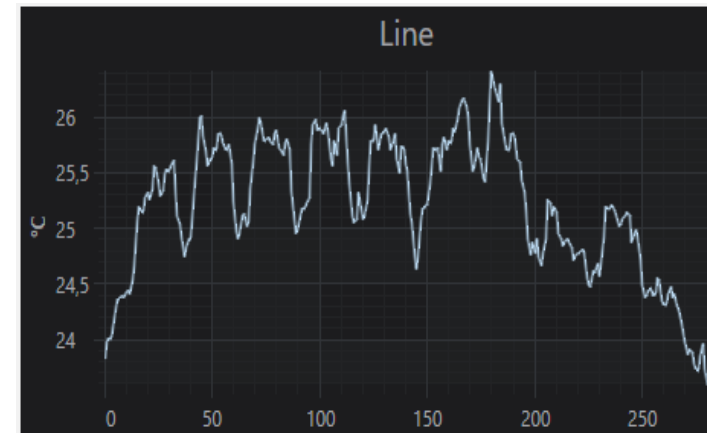
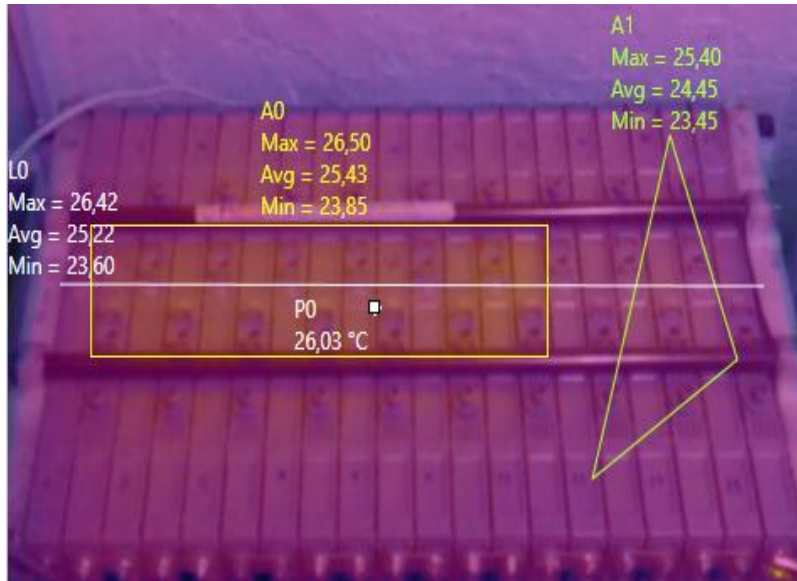
## Análisis térmico al 45%



## Análisis térmico al 100%



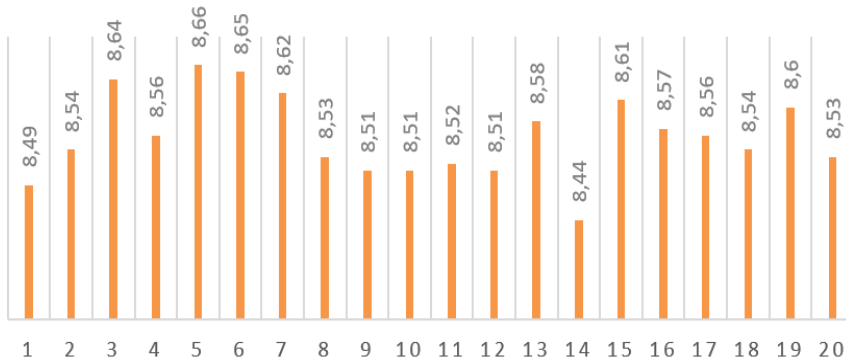
## Análisis térmico al 120%



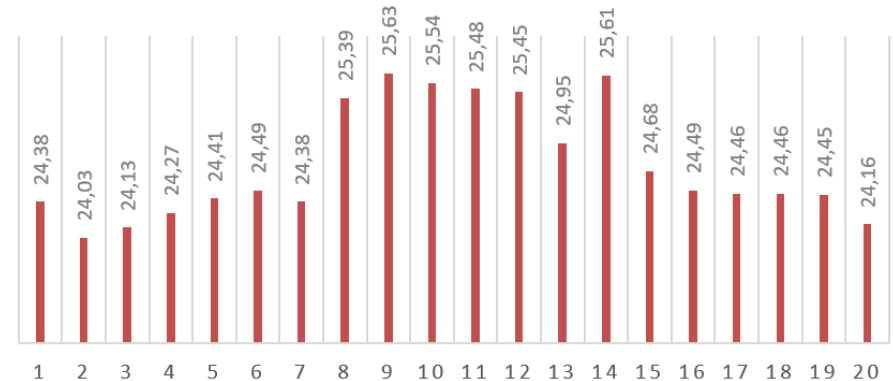
Celda	Voltaje (v)	Temp °C	Celda	Voltaje (v)	Temp °C
1	8,49	24,38	11	8,52	25,48
2	8,54	24,03	12	8,51	25,45
3	8,64	24,13	13	8,58	24,95
4	8,56	24,27	14	8,44	25,61
5	8,66	24,41	15	8,61	24,68
6	8,65	24,49	16	8,57	24,49
7	8,62	24,38	17	8,56	24,46
8	8,53	25,39	18	8,54	24,46
9	8,51	25,63	19	8,6	24,45
10	8,51	25,54	20	8,53	24,16

Las celdas 1-8-9-10-11-14-16 son las que más tienden a elevar su temperatura por consiguiente los valores de intensidad de estas celdas en comparación con el resto, tienen una ligera variación de como máximo 0,21V

**VALORES DE VOLTAJE (120%)**



**VALORES DE TEMPERATURA (120%)**





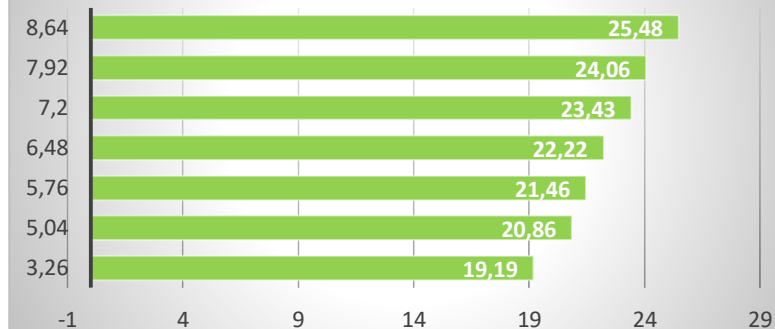
### Precarga de restauración al 100% 0,5 A

%	Tiempo (min)	Voltaje (V)	Temperatura A °C	Temperatura B °C	Temperatura C °C	Sección superior °C	Sección lateral °C
45	0	3,26	18,78	19,47	19,8	19,27	18,65
70	3	5,04	21,6	21	21,4	20,4	19,9
80	5	5,76	21,7	21,7	21,9	21,91	20,1
90	7	6,48	21,93	22	23,5	22,3	21,4
100	15	7,2	23,08	23,05	24,29	24,74	22

### Carga al 120% 1,60 A

110	90	7,92	23,8	23,6	23,7	25,41	23,8
120	185	8,64	25,2	25,4	25,8	26,03	24,99

### Voltaje vs Temperatura





## Tiempo de estabilización

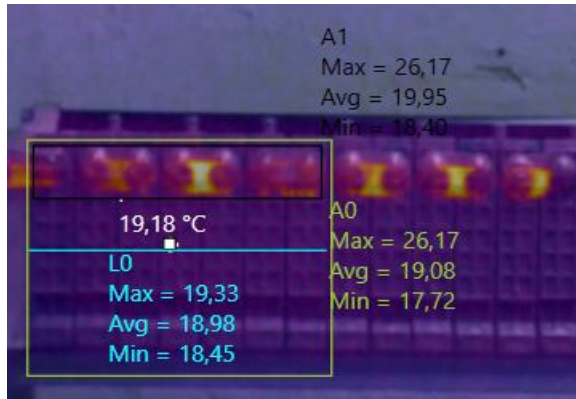
Tiempo (min)	V	Temperatura A °C	Temperatura B °C	Temperatura C °C	Sección superior °C	Sección lateral °C
0	8,64	25,21	25,4	25,48	26,03	24,99
10	8,05	24,5	24,4	24,7	24,9	23,8

La variación promedio de temperatura en todas las secciones analizadas es de aproximadamente un grado centígrado, mientras que en el voltaje este desciende 0,59V

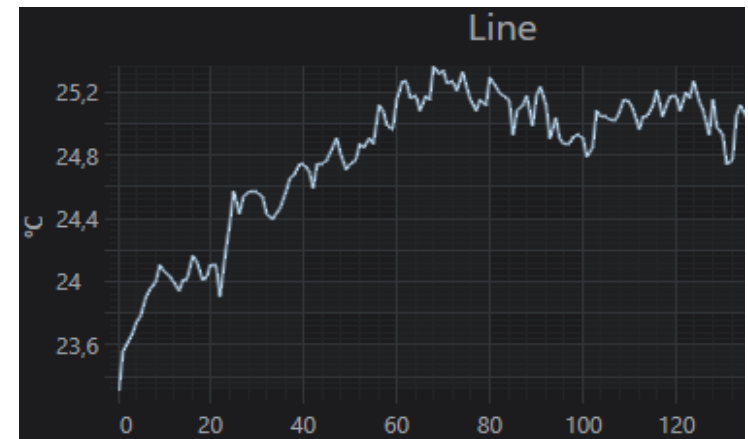
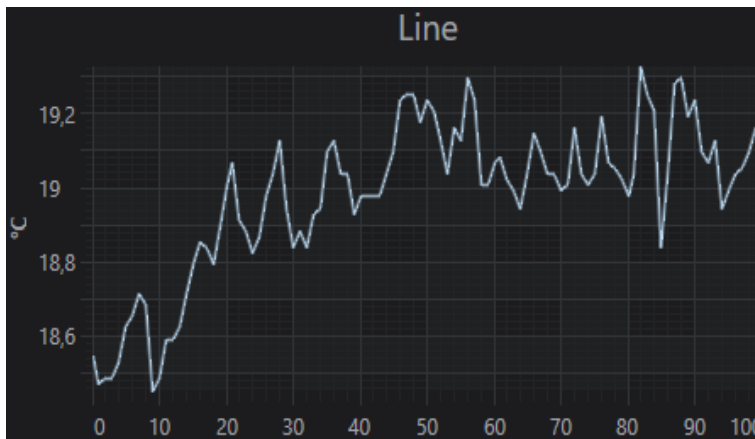
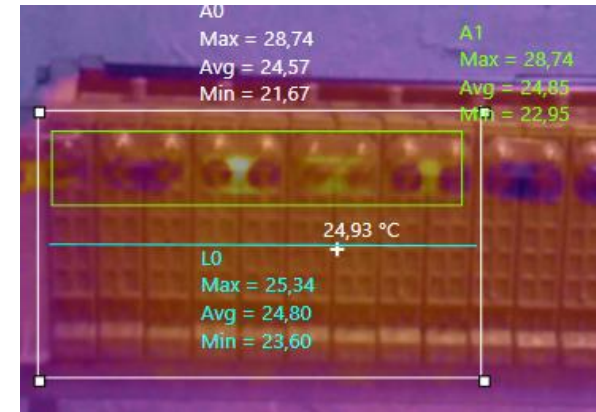


# Proceso descarga

## Análisis térmico al 100%



## Análisis térmico al 30%

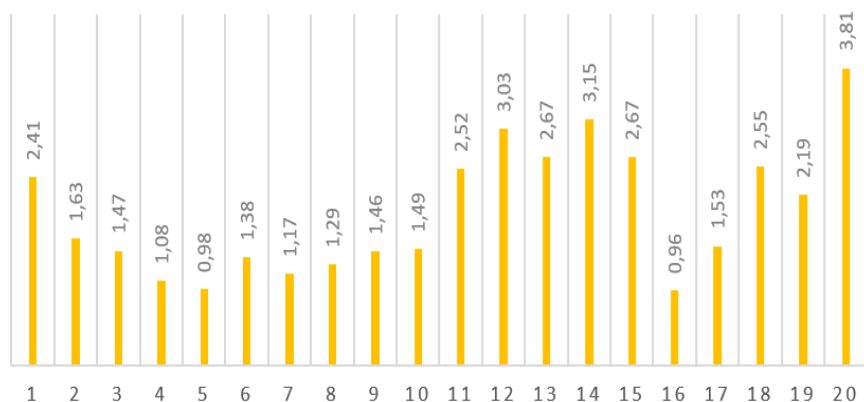


### Valores de voltaje y temperatura (D2)

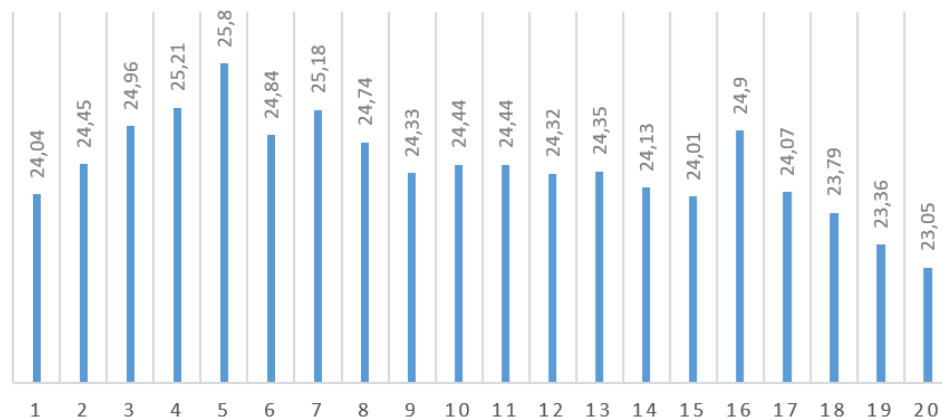
Celda	Voltaje (V)	Temperatura (°C)	Celda	Voltaje (V)	Temperatura (°C)
1	2,41	24,04	11	2,52	24,44
2	1,63	24,45	12	3,03	24,32
3	1,47	24,96	13	2,67	24,35
4	1,08	25,21	14	3,15	24,13
5	0,98	25,8	15	2,67	24,01
6	1,38	24,84	16	0,96	24,9
7	1,17	25,18	17	1,53	24,07
8	1,29	24,74	18	2,55	23,79
9	1,46	24,33	19	2,19	23,36
10	1,49	24,44	20	3,81	23,05

Culminada la segunda fase de descarga y realizado el monitoreo termográfico a diferentes porcentajes y en diferentes secciones se determinó que las celdas con mayor índice de temperatura son  
**3-4-5-7-16**

### VALORES DE VOLTAJE 30%



### VALORES DE TEMPERATURA 30%



Los valores de intensidad de estas celdas en comparación con las demás, tienen una notable variación tal es el caso que se aprecia dos celdas con valores inferiores a un voltio

Realizando un breve resumen del proceso de descarga se observó que en comparación al proceso de descarga en paralelo este fue mucho más rápido culminado en 90 minutos, en cuanto al comportamiento térmico de las celdas a medida que va descendiendo el voltaje su temperatura se va incrementando.

Descarga							
%	T (min)	Voltaje (V)	Temperatura A (°C)	Temperatura B(°C)	Temperatura C(°C)	Parte superior (°C)	Parte lateral (°C)
100	15	7,21	19,1	18,8	19,8	19,10	18,51
90	30	6,55	21,2	20,4	21,8	21,5	21,5
80	40	5,82	21,6	21,1	22,21	22,6	22,2
70	50	5,11	22,9	22,3	22,9	23,7	22,8
60	60	4,39	23	22,7	23,3	23,92	23,8
50	70	3,63	23,6	23,1	23,4	24,14	24
40	80	2,53	24	23,4	23,6	24,6	24,14
30	90	1,98	24,93	23,98	24,6	25	24,38



# Tiempo de estabilización

## TIEMPO DE RECUPERACIÓN 10 MINUTOS

Celda	Voltaje (V)	Celda	Voltaje (V)
1	2,56	11	2,51
2	2,46	12	2,43
3	2,88	13	2,27
4	2,34	14	2,12
5	2,44	15	2,57
6	2,35	16	2,58
7	2,46	17	2,94
8	1,78	18	3,18
9	2,55	19	2,54
10	2,98	20	2,46

## Temperatura de las celdas en reposo

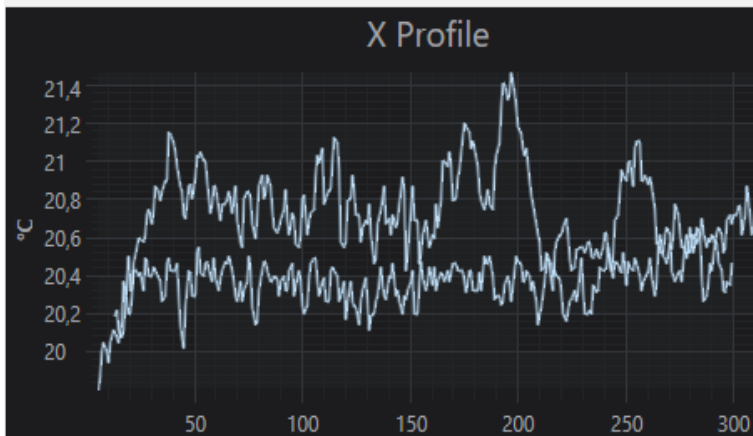
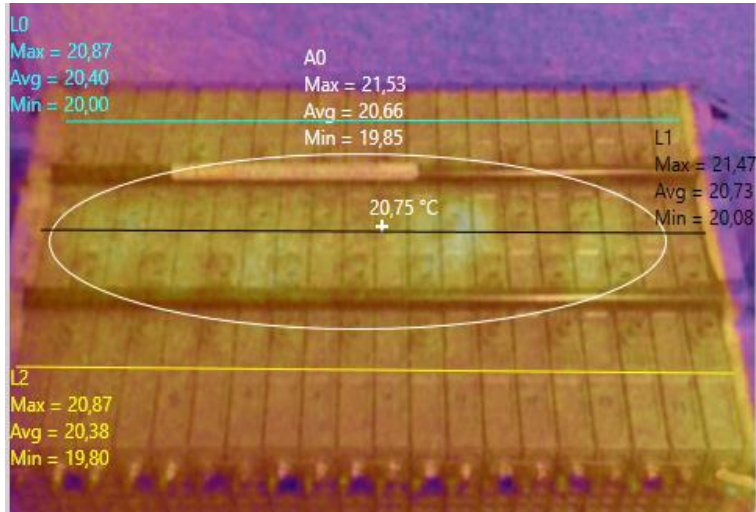
Temperatura en A (°C)	23,1
Temperatura en B (°C)	22,8
Temperatura en C (°C)	23,2
Parte superior (°C)	23,3
Parte lateral (°C)	22,5



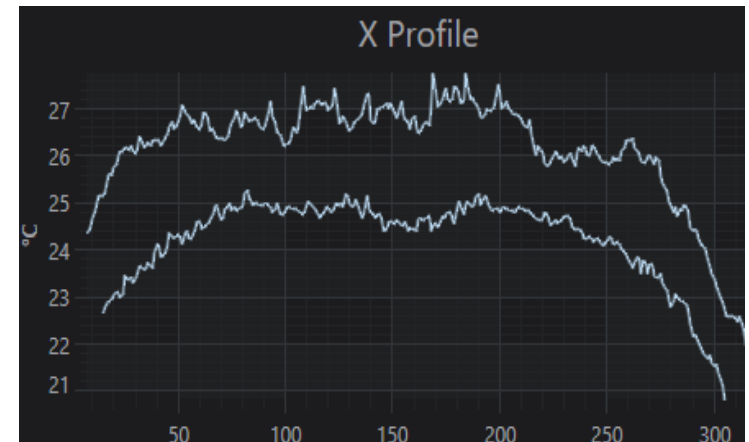
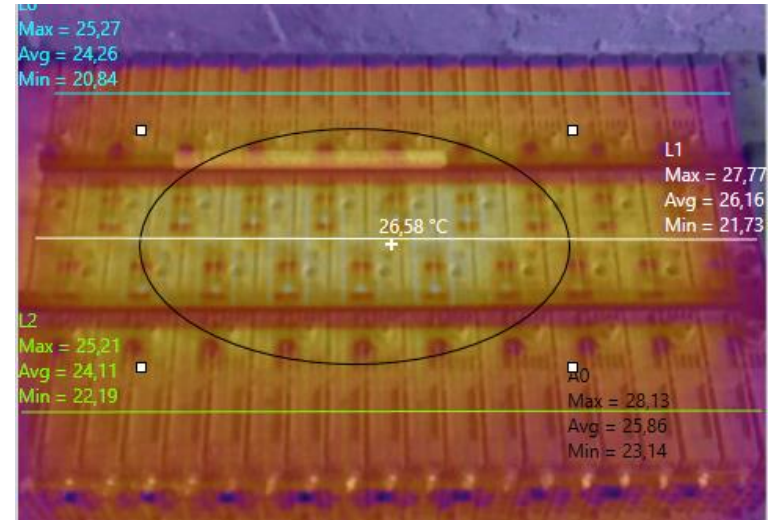
# Proceso de carga



## Análisis térmico al 33%



## Análisis térmico al 120%

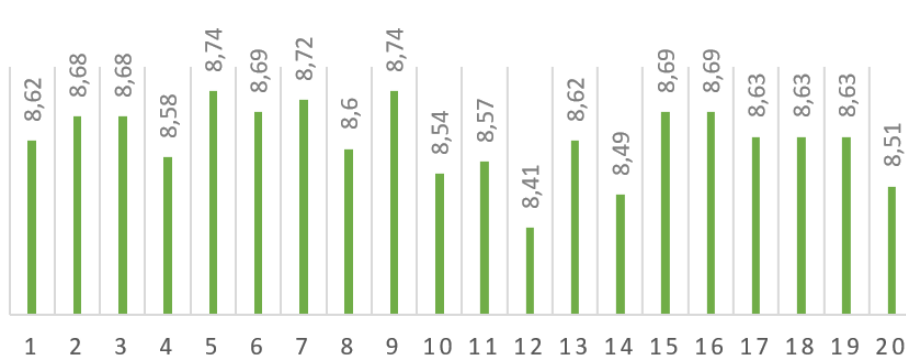




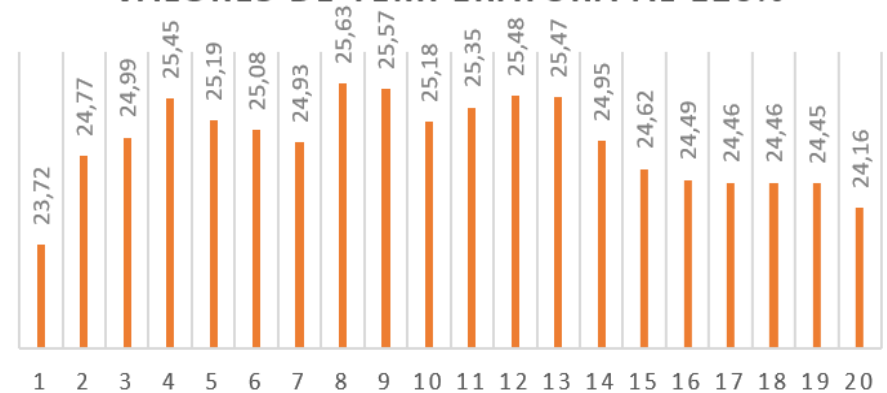
Celda	Voltaje (V)	Temperatura (°C)	Celda	Voltaje (V)	Temperatura (°C)
1	8,62	23,72	11	8,57	25,35
2	8,68	24,77	12	8,41	25,48
3	8,68	24,99	13	8,62	25,47
4	8,58	25,45	14	8,49	24,95
5	8,74	25,19	15	8,69	24,62
6	8,69	25,08	16	8,69	24,49
7	8,72	24,93	17	8,63	24,46
8	8,6	25,63	18	8,63	24,46
9	8,74	25,57	19	8,63	24,45
10	8,54	25,18	20	8,51	24,16

Se puede concluir que las siguientes celdas 4-8-10-11-12-14 Los valores de intensidad de estas celdas en comparación con el resto, tienen una ligera variación de como máximo 0,22V

## VALORES DE VOLTAJE AL 120%

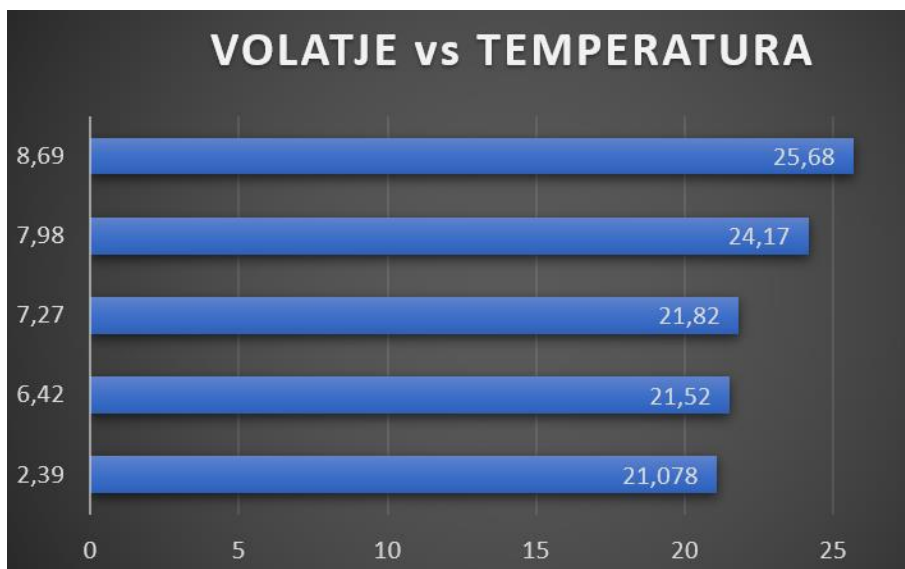


## VALORES DE TEMPERATURA AL 120%



### Proceso de Carga

%	Tiempo (min)	Voltaje (V)	Temperatura A °C	Temperatura B °C	Temperatura C °C	Sección superior (°C)	Sección lateral (°C)
33%	0	2,39	21,64	20,4	21,67	20,75	20,93
90%	10	6,42	22,35	20,73	21,75	21,56	21,22
100%	20	7,27	22,52	21,12	21,95	21,98	21,57
110%	100	7,98	24,9	24,06	23,92	24,39	23,61
120%	160	8,69	25,57	24,9	25,70	26,58	24.8



Analizando el diagrama se puede apreciar como aumenta la temperatura cada vez que el voltaje se incrementa, llegando a tener una variación de 4°C.



# Comprobación de fugas

Una vez finalizado el protocolo de pruebas de descarga y carga se procedió a dejar reposar la batería por 1 hora, esto es muy necesario ya que en el lapso de tiempo las celdas llegan a estabilizar su valor de tensión obteniendo de esta manera un valor real en la recuperación de la batería de alta tensión analizada.

Comprobación (1H)			
CELDA	V	CELDA	V
1	8,33	11	8,26
2	8,36	12	8,21
3	8,33	13	8,25
4	8,34	14	8,26
5	8,35	15	8,28
6	8,32	16	8,27
7	8,34	17	8,31
8	8,34	18	8,31
9	8,35	19	8,3
10	8,33	20	8,24

Temperatura de las celdas en reposo	
Temperatura en A	23,6
Temperatura en B	23,8
Temperatura en C	23,2
Parte superior	23,1
Parte lateral	22,4



## PROCESO DE PRECARGA Y CARGA

$$\alpha_c := 0.018 \text{ } ^\circ\text{C} \quad A_{CAP} := 3 \quad C_{nominal} := 6.5 \text{ A}\cdot\text{hr} \quad I_{rel} := 0.5 \text{ A} \quad T_1 := 19.19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\beta_c := 0.0036 \text{ } ^\circ\text{C} \quad B_{CAP} := 3.5 \quad C_{tcof} := 0.5 \quad I_{re} := 1.60 \text{ A} \quad T_2 := 25.48 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$n_1 := \frac{15 \text{ min} \cdot 1.00 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 0.25 \text{ hr}$$

$$n := \frac{170 \text{ min} \cdot 1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 2.833 \text{ hr}$$

$$I_{nominal} := \frac{C_{nominal}}{n} = 2.294 \text{ A}$$

## ESTADO DE CARGA

$$Carga1 := I_{rel} \cdot n_1 = 0.125 \text{ A}\cdot\text{hr} \quad carga2 := I_{re} \cdot n = 4.533 \text{ A}\cdot\text{hr}$$

$$SOC := \frac{Carga1 \cdot 100}{C_{nominal}} = 1.923 \quad SOC := \frac{carga2 \cdot 100}{C_{nominal}} = 69.744$$

## CAPACIDAD INSTANTANEA DE LA BATERIA

$$x := \frac{(C_{nominal}) \cdot (C_{tcof})}{1 + (A_{CAP}) \left( \frac{I_{re}}{I_{nominal}} \right)^{B_{CAP}}} \left( 1 + \left( \frac{1}{\alpha_c} \cdot T_1 \right) + \left( \frac{1}{\beta_c \cdot \beta_c} \cdot (T_2)^2 \right) \right) = 5.737 \text{ A}\cdot\text{hr}$$

Se determina que el estado total de carga de la batería corresponde a SOC=71,67%, continuando con las operaciones matemáticas se determina que la capacidad instantánea de la batería corresponde a 5,73 A.h

## PROCESO DE CARGA

$$\alpha_c := 0.018 \text{ } ^\circ\text{C} \quad A_{CAP} := 3 \quad C_{nominal} := 6.5 \text{ A}\cdot\text{hr} \quad I_{re} := 1.70 \text{ A} \quad T_1 := 21.07 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\beta_c := 0.0036 \text{ } ^\circ\text{C} \quad B_{CAP} := 3.5 \quad C_{tcof} := 0.5 \quad T_2 := 25.51 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$n := \frac{160 \text{ min} \cdot 1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 2.667 \text{ hr}$$

$$I_{nominal} := \frac{C_{nominal}}{n} = 2.438 \text{ A}$$

## ESTADO DE CARGA

$$Carga := I_{re} \cdot n = 4.533 \text{ A}\cdot\text{hr}$$

$$SOC := \frac{Carga \cdot 100}{C_{nominal}} = 69.744$$

Para el segundo proceso de carga se utiliza una corriente correspondiente a 1,70 A por un tiempo de 160 minutos con esta información obtenemos un SOC= 69.74% mientras que la capacidad instantánea de la batería es 5,74 A.hr

## CAPACIDAD INSTANTANEA DE LA BATERIA

$$x := \frac{(C_{nominal}) \cdot (C_{tcof})}{1 + (A_{CAP}) \left( \frac{I_{re}}{I_{nominal}} \right)^{B_{CAP}} \left( 1 + \left( \frac{1}{\alpha_c} \cdot T_1 \right) + \left( \frac{1}{\beta_c \cdot \beta_c} \cdot (T_2)^2 \right) \right)} = 5.749 \text{ A}\cdot\text{hr}$$



# CONCLUSIONES

- Se realizó un monitoreo termográfico en los procesos de carga, descarga y tiempo de recuperación mediante la aplicación de técnica infrarroja.
- Se recopiló información sobre los materiales para la fabricación de baterías HV de níquel-hidruro metálico, se conoció su constitución química y datos característicos como densidad y temperatura de funcionamiento.
- Se determinó térmicamente parámetros característicos de las baterías tales como sistemas de carga/ descarga, estado de salud.
- Se investigó y se seleccionó el valor correspondiente de emisividad para la superficie de las celdas que conforman la batería de alta tensión, aplicando la normativa ASTM 1933-999.
- Se obtuvo datos de temperatura en las celdas y los packs de las baterías HV, llegando a concluir que en el proceso de carga la temperatura es ligeramente superior a los procesos de descarga.



- Se realizaron pruebas de control mediante la normativa ASTM E1934-99a (2018) para determinar conexiones sueltas o deterioradas, componentes defectuosos y desequilibrios en los procesos de carga/descarga controlados.
- Se efectuó el proceso de calibración en la cámara termográfica para respaldar valores MRTD generando mayor eficacia y confiabilidad en los resultados obtenidos
- Se aplicó el modelo matemático de Copetti y Chenlo en los procesos de carga para posteriormente relacionarlos con los valores de temperatura obtenidos con la cámara termográfica en dicho proceso, monitoreando sus parámetros de funcionamiento y posteriormente obtener la capacidad instantánea de la batería.





# RECOMENDACIONES

- Realizar una investigación más profunda en cuanto a el análisis térmico de manera individual a las celdas, dividiéndola en secciones para la obtención de datos más precisos.
- Estudiar el comportamiento térmico en pruebas de ruta de las baterías de alta tensión antes y después de realizarse el proceso de recuperación para posteriormente analizarlas.
- Extender el estudio del comportamiento térmico en los procesos de carga y descarga para baterías de ion litio, además de las diferentes formas geométricas que pueden tener las celdas.
- Investigar y generar protocolos de pruebas más precisos para los procesos de carga y descarga en batería HV
- No sobrepasar los índices de carga y descarga estipulada por cada fabricante de baterías.

- Realizar procesos de mantenimiento automatizado a las baterías de alta tensión, de forma periódica, al menos una vez por año, este proceso produce un desgaste equilibrado de las celdas, además de aumentar el estado de salud y vida útil de las baterías.
- Ampliar el campo de normativas y modelos matemáticos que puedan ayudar a generar indicadores para un correcto proceso de carga y descarga.

