



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

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

19 de Octubre del 2020

Latacunga



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Análisis térmico de los procesos de carga y descarga controlado en baterías de alta tensión de vehículos híbridos mediante técnica infrarroja predictiva”** fue realizado por el señor **Asimbaya Morales, Bryan Ricardo** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de Octubre de 2020



Firmado electrónicamente por:

**WASHINGTON
GERMAN ERAZO
LAVERDE**

Erazo Laverde, Washington Germán

C.C.: 050143263-7

REPORTE DE URKUND



Document Information

Analyzed document	Asimbaya-Erazo-Análisis térmico de los procesos de carga y descarga controlado en baterías de alta tensión de vehículos híbridos mediante técnica infrarroja pred ictiva.pdf (D82018882)	
Submitted	10/18/2020 10:26:00 PM	
Submitted by	Germán Erazo	
Submitter email	wgerazo@espe.edu.ec	WASHINGTON GERMAN ERAZO LAVERDE
Similarity	1%	
Analysis address	wgerazo.espe@analysis.orkund.com	

Sources included in the report

W	URL: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/104855/TFG_Jaume_Martinez_Metodos_... Fetched: 10/18/2020 10:27:00 PM	 1
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20728 Fetched: 10/18/2020 10:27:00 PM	 1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS BATERIAS HV MOYANO PANTOJA ERAZO.pdf Document TESIS BATERIAS HV MOYANO PANTOJA ERAZO.pdf (D54403349) Submitted by: wgerazo@espe.edu.ec Receiver: wgerazo.espe@analysis.orkund.com	 1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / documento hibridos y electricos.pdf Document documento hibridos y electricos.pdf (D24487445) Submitted by: wgerazo@espe.edu.ec Receiver: wgerazo.espe@analysis.orkund.com	 1
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20724 Fetched: 10/18/2020 10:27:00 PM	 1



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON
GERMAN ERAZO
LAVERDE**

Erazo Laverde, Washington Germán

C.C.: 050143263-7



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Asimbaya Morales, Bryan Ricardo** con cédula de ciudadanía N° **1724626278**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “ **Análisis térmico de los procesos de carga y descarga controlado en baterías de alta tensión de vehículos híbridos mediante técnica infrarroja predictiva**” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 19 de Octubre de 2020

Asimbaya Morales, Bryan Ricardo

C.C.: 172462627-8



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Asimbaya Morales, Bryan Ricardo** con cédula de ciudadanía N° **1724626278**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Análisis térmico de los procesos de carga y descarga controlado en baterías de alta tensión de vehículos híbridos mediante técnica infrarroja predictiva”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 19 de Octubre de 2020

Asimbaya Morales, Bryan Ricardo

C.C.: 172462627-8

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta investigación a mis padres y hermano Néstor Asimbaya, Ruth Morales y Andres Asimbaya quienes han sido los pilares fundamentales de este logro ya que con su esfuerzo, sacrificio, apoyo, consejos y cariño han sabido guiarme de la mejor manera para alcanzar mis metas tanto profesionales como personales.

De igual manera quiero formar parte de este logro a dos personas que, aunque no se pudieron conocer para mí representan felicidad, amor y son muy importantes en mi vida, mi hijo Ezequiel quien es mi mayor inspiración para salir adelante todos los días y mi abuelita María esa mujer cariñosa y que hasta el último momento siempre se preocupó por mí, solo quisiera decirte tu guambrito lo logró.

Bryan Ricardo, Asimbaya Morales

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento enorme a toda mi familia y en especial a mi primo Christian, porque desde el momento que se enteraron que estudiaría en otra ciudad siempre me apoyaron y eso es algo que valoro y nunca olvidaré, a mis profesores y tutor de proyecto ya que con su enseñanza me formaron como profesional. A mis amigos, amigas dentro y fuera de esta ciudad, quienes me apoyaron y brindaron una mano. (20) Gracias por todo.

Bryan Ricardo, Asimbaya Morales

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	1
CERTIFICACIÓN	2
REPORTE DE URKUND	3
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE CONTENIDO	8
ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE TABLAS	20
RESUMEN	22
ABSTRACT	23

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO	24
1 Generalidades	24
1.1 Antecedentes	24
1.2 Planteamiento del problema	25
1.3 Descripción resumida del proyecto.	27
1.4 Justificación e importancia	28
1.5 Objetivos	30
1.5.1 Objetivo general	30
1.5.2 Objetivos específicos	30
1.6 Metas	31

1.7	Hipótesis.....	31
1.8	Variables de la investigación.....	31
1.8.1	Variable Independiente	31
1.8.2	Variables dependientes	32
1.9	Metodología de desarrollo del proyecto	33
1.9.1	Método analítico	34
1.9.2	Método inductivo	34
1.9.3	Método de matematización	35
1.9.4	Método comparativo	35
1.9.5	Métodos de medición.....	35
CAPÍTULO II		
MARCO TEÓRICO		37
2	Batería de alta tensión	37
2.1	Características de los acumuladores	38
2.2	Tipos de baterías de alta tensión	39
2.3	Material activo.....	40
2.4	Aplicaciones.....	43
2.5	Banco de pruebas de baterías HV	43
2.6	Proceso de carga.....	43
2.7	Métodos para el cálculo del estado de carga	44
2.7.1	Medida directa	44
2.7.2	Medida de la gravedad específica.....	44
2.7.3	Método integral de la corriente.....	44
2.8	Proceso de descarga	46
2.8.1	DSOC	46
2.8.2	Estado de descarga DSOC en función del tiempo.	46

	10
2.9 Termografía	47
2.9.1 Termografía infrarroja	47
2.9.1 Termografía activa y pasiva	48
2.10 Termografía en instalaciones eléctricas	48
2.11 Transferencia de calor	49
2.11.1 Principios de la transferencia de calor.....	49
2.11.2 Definición termodinámica del calor.	50
2.11.3 Modos de transferencia de calor	50
2.11.4 Conducción.....	51
2.11.5 Convección	52
2.11.6 Radiación.....	54
2.11.7 Emisividad	55
2.12 Elementos primordiales de la radiación infrarroja	56
2.12.1 Espectro Electromagnético.	56
2.12.2 Ondas de radiofrecuencia.....	57
2.12.3 Microondas.	57
2.12.4 Infrarrojo.	57
2.13 Cámara termográfica	57
Funcionamiento	58
2.13.1 Características.....	58
2.13.2 Software SmartView 4.3	59
2.14 Normativas para mediciones termográficas	60
2.14.1 ASTM E 1933-999 (valores de emisividad)	60
2.14.2 ASTM E 1934-99a (2018) (comprobación de equipos electrónicos).....	61
2.14.3 ASTM E 1213-14 (2018) (valores de temperatura resoluble)	61
2.15 Modelo de Shepherd.....	62

	11
2.16 Modelo de Copetti y Chenlo.....	63
2.17 Capacidad nominal	64
2.18 Eficiencia de carga.....	64
CAPÍTULO III	
PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	66
3 Selección de la muestra y materiales necesarios.....	66
3.1 Batería HV del Toyota Prius C	66
3.2 Procedimientos iniciales.....	68
3.2.1 Medición inicial de los packs.....	69
3.2.2 Descarga en paralelo (D1).....	69
3.2.3 Proceso de pre carga (PC)	70
3.2.4 Carga completa (C1).....	71
3.2.5 Proceso de descarga (D2)	72
3.2.6 Proceso de carga final (CR-2).....	72
3.2.7 Reposo	73
3.2.8 Comprobación para fuga de corriente	73
3.3 Aplicación de la técnica infrarroja predictiva.....	73
3.3.1 Área de medida	73
3.3.2 Enfoque	74
3.3.3 Resolución del detector (píxeles).....	74
3.3.4 Campo de visión	75
3.3.5 Emisividad	75
3.4 Modelo de Copetti y Chenlo.....	77
CAPÍTULO IV	
SECCIÓN DE PRUEBAS Y RESULTADOS.....	79
4 Pruebas	79

	12
4.1	Procedimientos iniciales.....79
4.2	Descarga en paralelo hasta el 30 % de su tensión nominal (D1)80
4.2.1	Proceso de descarga sección A (D1 - 90%).....80
4.2.2	Proceso de descarga sección B (D1 - 90%).....81
4.2.3	Proceso de descarga sección C (D1 - 90%).....82
4.2.4	Proceso de descarga sección superior (D1 - 90%)83
4.2.5	Proceso de descarga sección Lateral (D1 - 90%)85
4.2.6	Proceso de descarga sección A (D1 - 30%).....86
4.2.7	Proceso de descarga sección B (D1 - 30%).....87
4.2.8	Proceso de descarga sección C (D1 - 30%).....88
4.2.9	Proceso de descarga sección Superior (D1 - 30%).....89
4.2.10	Proceso de descarga sección Lateral (D1 - 30%)91
4.2.11	Análisis al finalizar el proceso de descarga.....92
4.3	Reposo tiempo de estabilización.....93
4.4	Carga hasta el 120% de su tensión nominal (CR1)94
4.4.1	Proceso de precarga sección A (PC - 45%).....95
4.4.2	Proceso de precarga sección B (PC - 45%).....96
4.4.3	Proceso de precarga sección C (PC - 45%).....97
4.4.4	Proceso de carga sección Superior (PC - 45%)98
4.4.5	Proceso de carga sección Lateral (CR1 - 45%)99
4.4.6	Proceso de carga sección A (CR1 - 100%).....100
4.4.7	Proceso de carga sección B (CR1 - 100%).....101
4.4.8	Proceso de carga sección C (CR1 - 100%).....102
4.4.9	Proceso de carga sección superior (CR1 - 100%).....103
4.4.10	Proceso de precarga sección Lateral (PCR1 - 100%).....104
4.4.11	Proceso de carga sección A (CR1 - 120%).....105

4.4.12	Proceso de carga sección B (CR1 - 120%).....	106
4.4.13	Proceso de carga sección C (CR1 - 120%).....	107
4.4.14	Proceso de carga sección superior (CR1 - 120%).....	108
4.4.15	Proceso de carga sección lateral (CR1 - 120%).....	109
4.4.16	Análisis al finalizar el proceso de carga	110
4.5	Tiempo de estabilización.....	114
4.6	Proceso de descarga (D2)	115
4.6.1	Proceso de descarga en la sección A (D2- 100%)	116
4.6.2	Proceso de descarga sección B (D2- 100%).....	117
4.6.3	Proceso de descarga sección C (100%)	118
4.6.4	Proceso de descarga sección superior (D2- 100%)	119
4.6.5	Proceso de descarga sección lateral (D2- 100%)	120
4.6.6	Proceso de descarga sección A (D2- 30%).....	121
4.6.7	Proceso de descarga sección B (D2- 30%).....	122
4.6.8	Proceso de descarga sección C (D2- 30%)	123
4.6.9	Proceso de descarga sección superior (D2- 30%)	124
4.6.10	Proceso de carga sección lateral (D2- 30%)	125
4.6.11	Análisis al finalizar el proceso descarga.....	126
4.7	Tiempo de recuperación T2	130
4.8	Carga final	131
4.8.1	Proceso de carga sección A (CR2- 33%).....	131
4.8.2	Proceso de carga sección B (CR2- 33%).....	132
4.8.3	Proceso de carga sección C (CR2- 33%).....	133
4.8.4	Proceso de carga sección superior (CR2- 33%)	134
4.8.5	Proceso de carga sección Lateral (CR2- 33%)	135
4.8.6	Proceso de carga sección A (CR2- 120%).....	136

	14
4.8.7	Proceso de carga sección B (CR2- 120%).....137
4.8.8	Proceso de carga sección C (CR2- 120%).....138
4.8.9	Proceso de carga sección superior (CR2- 120%)139
4.8.10	Proceso de carga sección lateral (CR2- 120%).....141
4.8.11	Proceso de carga sección lateral (120%).....141
4.8.12	Análisis al finalizar el proceso de carga142
4.9	Comprobación de fugas.....145
4.10	Aplicación del modelo matemático146
CAPÍTULO VI	
MARCO ADMINISTRATIVO149	
5	RECURSOS149
5.1	Recursos Humanos149
5.2	Recursos Materiales149
5.3	Recursos tecnológicos.....150
5.4	Financiamiento151
5.5	Gastos151
5.6	Costo neto de la investigación152
CONCLUSIONES153	
RECOMENDACIONES154	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS155	
ANEXOS.....160	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Árbol de problemas.....	25
Figura 2 Métodos de investigación.....	34
Figura 3 Baterías de alta tensión.....	37
Figura 4 Óxido de cobalto y litio, níquel y manganeso	42
Figura 5 Tipos de carga a corriente constante y variable	43
Figura 6 Termografía infrarroja	47
Figura 7 Termografía infrarroja en instalaciones eléctricas	49
Figura 8 Transferencia de calor	51
Figura 9 Transferencia de calor por conducción.....	51
Figura 10 Transferencia de calor.....	53
Figura 11 Longitud de onda	56
Figura 12 Cámara Termográfica	58
Figura 13 Tensión en la batería	63
Figura 14 Eficiencia de carga.....	65
Figura 15 Batería Toyota Prius C.....	66
Figura 16 Medición inicial.....	69
Figura 17 Batería Toyota Prius C descarga en paralelo	70
Figura 18 Valor de la corriente de descarga.....	70
Figura 19 Valor de corriente (precarga).....	71
Figura 20 Valor de corriente (carga 1).....	71
Figura 21 Valor de corriente (descarga).....	72
Figura 22 Valor de corriente (carga).....	72
Figura 23 Secciones de medida.....	76
Figura 24 Análisis térmico Sección A (D1 - 90%)	80

Figura 25 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	80
Figura 26 Análisis térmico sección B (D1 - 90%).....	81
Figura 27 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	81
Figura 28 Análisis térmico sección C (D1 - 90%)	82
Figura 29 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	82
Figura 30 Análisis térmico sección superior (D1 - 90%)	83
Figura 31 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L0)	83
Figura 32 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L1)	84
Figura 33 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L2)	84
Figura 34 Análisis térmico sección lateral (D1 - 90%)	85
Figura 35 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L0)	85
Figura 36 Análisis térmico sección A (D1 - 30%).....	86
Figura 37 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	86
Figura 38 Análisis térmico sección B (D1 - 30%).....	87
Figura 39 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X Y	87
Figura 40 Análisis térmico sección C (D1 - 30%)	88
Figura 41 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X Y	88
Figura 42 Análisis térmico sección superior (D1 - 30%)	89
Figura 43 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L2)	89
Figura 44 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L1)	90
Figura 45 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L0)	90
Figura 46 Análisis térmico sección Lateral (D1 - 30%)	91
Figura 47 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	91
Figura 48 Diagrama temperatura VS voltaje (D1).....	93
Figura 49 Análisis térmico sección A (PC – 45%)	95
Figura 50 Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45%	95

Figura 51 Análisis térmico sección B (PC – 45%)	96
Figura 52 Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45%	96
Figura 53 Análisis térmico sección C (PC - 45%)	97
Figura 54 Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45%	97
Figura 55 Análisis térmico sección Superior (PC - 45%)	98
Figura 56 Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45% sección superior (I0-I2)..	98
Figura 57 Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45% sección superior(L0-L1)	99
Figura 58 Análisis térmico al 45% sección Lateral (PC – 45%)	99
Figura 59 Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45% Lateral.....	100
Figura 60 Análisis térmico al 100% sección A (PC – 45%).....	100
Figura 61 Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 100% Lateral.....	101
Figura 62 Análisis térmico al 100% sección B (PC – 45%).....	101
Figura 63 Curva del comportamiento termográfico en el eje X B.....	102
Figura 64 Análisis térmico al 100% sección C (PC – 45%).....	102
Figura 65 Curva del comportamiento termográfico en el eje X sección C.....	103
Figura 66 Análisis térmico al 100% sección C (PC – 45%).....	103
Figura 67 Curva del comportamiento termográfico en el eje X superior.	104
Figura 68 Análisis térmico a la sección Lateral (PC – 100%)	104
Figura 69 Curva del comportamiento termográfico en el eje X lateral	105
Figura 70 Análisis térmico sección AI (CR1 - 120%)	105
Figura 71 Curva del comportamiento termográfico en el eje X A.....	106
Figura 72 Análisis térmico sección B (CR1- 120%).....	106
Figura 73 Curva del comportamiento termográfico en el eje X B.....	107
Figura 74 Análisis térmico al 120% sección C.....	107
Figura 75 Curva del comportamiento termográfico en el eje X C.....	108
Figura 76 Análisis térmico sección superior (CR1-120%).....	108

Figura 77 Curva del comportamiento termográfico en el eje X Superior.....	109
Figura 78 Análisis térmico sección Lateral (CR1 – 120%).....	109
Figura 79 Curva del comportamiento termográfico en el eje X Lateral	110
Figura 80 Diagrama de barras Voltaje vs Temperatura (CR1).....	111
Figura 81 Diagrama de barras Voltaje vs Temperatura (CR1-120%)	113
Figura 82 Análisis térmico sección A (D2-100%).....	116
Figura 83 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	116
Figura 84 Análisis térmico sección B (D2- 100%).....	117
Figura 85 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	117
Figura 86 Análisis térmico al 100% sección C	118
Figura 87 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	118
Figura 88 Análisis térmico sección Superior (D2- 100%).....	119
Figura 89 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X L1	119
Figura 90 Análisis térmico sección Lateral (D2- 100%)	120
Figura 91 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	120
Figura 92 Análisis térmico sección A (D2- 30%).....	121
Figura 93 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	121
Figura 94 Análisis térmico sección B (D2- 30%).....	122
Figura 95 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	122
Figura 96 Análisis térmico sección C (D2- 30%)	123
Figura 97 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	123
Figura 98 Análisis térmico sección superior (D2- 30%)	124
Figura 99 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	124
Figura 100 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	125
Figura 101 Análisis térmico sección superior (D2- 30%)	125
Figura 102 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	126

Figura 103 Diagrama de barras voltaje vs temperatura (D2)	127
Figura 104 Diagramas de barras voltaje y temperatura (D2-30%).....	128
Figura 105 Análisis térmico sección A (CR2 - 33%)	131
Figura 106 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	131
Figura 107 Análisis térmico sección B (CR2- 33%).....	132
Figura 108 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	132
Figura 109 Análisis térmico sección C (CR2- 33%).....	133
Figura 110 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	133
Figura 111 Análisis térmico sección A (CR2- 33%).....	134
Figura 112 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L0-L1).....	134
Figura 113 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L1-L2).....	135
Figura 114 Análisis térmico sección lateral (CR2- 33%).....	135
Figura 115 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	136
Figura 116 Análisis térmico sección A (CR2- 120%).....	136
Figura 117 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	137
Figura 118 Análisis térmico sección B (CR2- 120%).....	137
Figura 119 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	138
Figura 120 Análisis térmico sección C (CR2- 120%).....	138
Figura 121 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	139
Figura 122 Análisis térmico sección superior (CR2- 120%).....	139
Figura 123 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X L0 y l1	140
Figura 124 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X L1 y l2.....	140
Figura 125 Análisis térmico sección lateral (CR2- 120%).....	141
Figura 126 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X	141
Figura 127 Diagrama de barras voltaje vs temperatura (CR-2)	142
Figura 128 Diagrama de barras voltaje y temperatura (CR2-120%).....	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente.....	32
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente	33
Tabla 3 Metodología, instrumentación y laboratorios a utilizar.	35
Tabla 4 Tipos de baterías de alta tensión.....	40
Tabla 5 Características eléctricas y físicas de la batería de alta tensión	67
Tabla 6 Características de la celda de batería	67
Tabla 7 protocolo de pruebas.....	68
Tabla 8 Emisividad Típica de superficies	76
Tabla 9 Parámetros del modelo de Copetti y Chenlo	78
Tabla 10 Valores iniciales de intensidad en cada una de las celdas a ser analizadas.....	79
Tabla 11 Valores de temperatura y voltaje (D1)	92
Tabla 12 Valores de temperatura y voltaje (D1-30%).....	92
Tabla 13 Valores de voltaje en el tiempo de reposo (R1)	93
Tabla 14 Valores de temperatura en el tiempo de reposo (TR1)	94
Tabla 15 Valores promedio de voltaje y tempera (CR1)	111
Tabla 16 Valores de voltaje al culminar el proceso de carga.....	112
Tabla 17 Valores de temperatura al momento de realizar la precarga y la carga completa.	114
Tabla 18 Valores de T, V en reposo, finalizado el proceso de precarga y carga	115
Tabla 19 Valores iniciales antes de iniciar (D2).....	115
Tabla 20 Valores de voltaje y temperatura al culminar el proceso de descarga	126
Tabla 21 Valores de voltaje al 30%	127
Tabla 22 Valores de V y T en el segundo proceso de descarga	129
Tabla 23 Valores de voltaje en el proceso de recuperación.....	130
Tabla 24 Valores de Temperatura en el proceso de recuperación	130

Tabla 25 Valores de voltaje y temperatura al culminar el proceso de carga (CR2).....	142
Tabla 26 Valores de voltaje al 120%	143
Tabla 27 Valores de V y T en el segundo proceso de carga.....	145
Tabla 28 Valores de voltaje en el proceso de comparación de fugas	145
Tabla 29 Valores de temperatura en el proceso de comparación de fugas.....	146
Tabla 30 Recursos Humanos.....	149
Tabla 31 Recursos Materiales.....	150
Tabla 32 Recursos tecnológicos	150
Tabla 33 Gastos recursos materiales.....	151
Tabla 34 Gastos Recursos Tecnológicos	151
Tabla 35 Costo Neto de la investigación	152

RESUMEN

Con el pasar de los años en el mundo las personas van buscando generar cambios significativos en el medioambiente y promoviendo una conciencia de cuidado ecológico, razón por la cual diariamente presionan con leyes y reglamentos a las industrias con la finalidad de que estas generen tecnología verde, y la industria automotriz no es la excepción, ya que es muy consciente de que los vehículos son de los principales agentes contaminantes del mundo, es por esta razón que día a día se está innovando y buscando alternativas que sustituyan a los derivados del petróleo un claro ejemplo es la construcción de vehículos más amigables con el medioambiente como son los híbridos. Los problemas a esta solución es el diseño de su acumulador de energía o también conocido como batería de alta tensión, debido a que su producción es muy costosa y en algunos casos dependiendo de la manera de conducir no llega a completar el tiempo estimado de vida útil, haciendo que sean sustituidas por completo. 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.

PALABRAS CLAVE:

- **TERMOGRAFÍA**
- **BATERÍA DE ALTA TENSIÓN**
- **ESTADO DE CARGA BATERÍA**
- **ESTADO DESCARGA**

ABSTRACT

As the time goes by around the world, people are seeking to generate significant changes in the environment and also to promote awareness about ecological care, which is why the industries are pushed with the use of laws and regulations into generating green technology. The automotive industry is no exception, because it is aware that vehicles are the main pollutants in the world, this is why day by day, they are innovating and looking for alternatives that could replace petroleum derivatives, a clear example is the making of more environmentally friendly vehicles such as hybrids. The problem faced by this solution are the design of its energy accumulator, also known as a high-voltage battery, because its making is very expensive and in some cases, depending on the way of driving, it does not fulfill its estimated life time. useful, causing them to be completely replaced. The purpose of the research is to look for thermographic alternatives through the application of the predictive infrared technique, international regulations, which will allow to establish preventive maintenance when restoring high-voltage batteries, varying the charge and discharge intensity, always taking into account the indispensable parameters such as capacity, internal resistance, intensity, operating temperature, SOC and DSOC and the application of a mathematical method that allows to calculate the its own instantaneous capacity in order to extend their useful life.

KEYWORDS:

- **THERMOGRAPHY**
- **HIGH VOLTAGE BATTERY**
- **BATTERY CHARGE STATUS**
- **DISCHARGE STATUS**



CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1 Generalidades

1.1 Antecedentes

La termografía provee una técnica para reunir datos necesarios para determinar pérdidas de calor, debido a que en la industria la cuantificación de las pérdidas de calor es de relevante importancia debido a la enorme cantidad de energía consumida en los procesos mecánicos, térmicos y eléctricos; y al alto costo subsecuente de la energía desperdiciada (Muñoz, 2009, pág. 2)

Con la ayuda de la termografía, (Botero, 2011) afirma: “Se pueden descubrir fallas en los equipos antes de que éstas generen un paro imprevisto de la planta de producción lo cual implica desperdiciar mucho tiempo en reparación y grandes pérdidas económicas”.

Según (El Telégrafo, 2018), “Ecuador es el país de la región que registró el mayor número de ventas de vehículos híbridos entre enero y agosto del año pasado”. Realizando un breve análisis se tiene que el 2015 el porcentaje de ventas corresponde al 1,2%, y en 2016 se elevó a 1,8%. Para 2017, la cifra escaló notablemente al 3,1%. En total, el año pasado fueron comercializados 3.390 de este tipo de automotores y en el primer cuatrimestre de 2018, ya suman 1.104 unidades comercializadas.

Según (Chele, 2017) “Los datos del instituto nacional de estadísticas y censos (INEC) hasta el año 2015 fueron matriculados 1925368 vehículos en el Ecuador y cuyas

emisiones de gases está deteriorando la calidad de vida de sus habitantes”. Entre los perjuicios producidos por los gases derivados de los despojos de la combustión acentúan el calentamiento global, daño a la capa de ozono y daño a la salud de los seres vivos. (Espinoza & Guamushig, 2019, pág. 1)

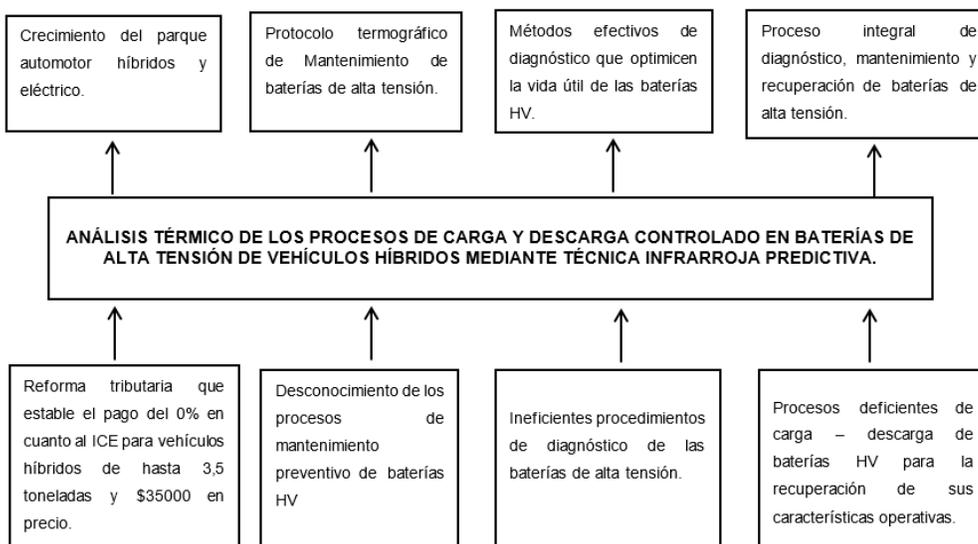
En el último siglo la industria del transporte de pasajeros gracias a su motor de combustión interna ha sido la causante de un daño ambiental muy grave, hoy en día los esfuerzos por reducir los niveles de contaminación han dado paso a que los constructores de vehículos investiguen sobre nuevas alternativas de transportación y combustibles.

Según (Moyano & Pantoja, 2019) “En esta carrera por la evolución y la eficiencia, hay muchas preguntas que aún permanecen abiertas, una de ellas es lo que sucede al final del ciclo de vida de una batería y un motor eléctrico”. A medida que aumente el número de automóviles vendidos, también aumentará la cantidad de motores eléctricos y el desperdicio de la batería, lo que generará un mayor impacto en el medio ambiente.

1.2 Planteamiento del problema.

Figura 1

Árbol de problemas.



Nota. La figura mostrada indica los problemas y las posibles soluciones para aumentar el parque automotor a más de mejorar la vida útil de las baterías HV.

La vida útil de las baterías de alta tensión de vehículos híbridos oscila entre 150.000 y 200.000 kilómetros aproximadamente 10 años de trabajo. Sin embargo, para que puedan cumplir con los periodos de vida determinados por el fabricante es necesario cumplir con mantenimientos preventivos donde se verifique que los parámetros de funcionamiento como temperatura, estado de carga y descarga se encuentren dentro de valores adecuados.

Existe un detalle de vital importancia en los programas de mantenimiento de los vehículos híbridos, específicamente en las baterías de alta tensión ya que los fabricantes no establecen mantenimientos preventivos que evitan desgastes prematuros en componentes de las baterías

La deficiente disipación de calor dentro de la batería HV y la falta de ventilación genera que las celdas centrales se encuentren expuestas a altas temperaturas, siendo propensas a desgastes prematuros debido a su naturaleza exotérmica, si se las compara con las celdas que se encuentran en los extremos.

El gobierno del Ecuador busca incentivar la adquisición de vehículos que generen un menor impacto al ambiente por tal razón se estableció una reforma tributaria la misma que indica la reducción total del ICE para vehículos híbridos de hasta 3,5 toneladas y \$35000 en precio.

Un desconocimiento muy notorio al momento de realizar procesos de mantenimientos preventivos de baterías HV ha generado que exista ineficientes procedimientos de diagnóstico, de igual manera al realizar procesos de carga y descarga

controlados en bancos de prueba estos han sido deficientes y no se ha podido recuperar las características operativas en cuanto a baterías de alta tensión.

Al realizar un proceso integral de diagnóstico, mantenimiento y recuperación de baterías de alta tensión se podrá optimizar la vida útil de las baterías HV, a más de respaldarlo con un protocolo termográfico para el mantenimiento preventivo de las mismas, generando que el consumidor se sienta más seguro al adquirir vehículos híbridos lo que se verá reflejado en el crecimiento del parque automotor.

1.3 Descripción resumida del proyecto.

Se recopiló información técnica y confiable de los distintos materiales para la fabricación de una batería de alta tensión, con el propósito de determinar el comportamiento de sus componentes a diferentes condiciones de funcionamiento.

Se investigó catálogos, fichas técnicas y manuales sobre baterías HV, que permitieron conocer las características de funcionamiento, parámetros de fabricación y tiempo de vida establecido por fabricantes, con la finalidad de compararlos una vez ejecutado los procesos de carga y descarga controlados.

Se realizó mediciones de temperatura en la superficie de las celdas y los packs de las baterías de alta tensión con un radiómetro de imágenes infrarrojas mediante las normativas internacionales como la ASTM E 1933-999, en lo referente a parámetros de emisividad y otros aspectos vinculados a la tecnología infrarroja.

Se empleó la normativa ASTM E1934 - 99a en equipos o componentes eléctricos de las baterías HV para determinar desequilibrios generados por el aumento en la resistencia, conexiones sueltas o deterioradas, cortocircuitos, sobrecargas, desequilibrios de carga o componentes defectuosos, mal emparejados o instalados incorrectamente.

La fiabilidad de las imágenes está garantizada a través de la normativa ASTM E 1213 - 14 (2018) con la cual se realizó estimaciones de los valores MRTD (diferencia de temperatura mínima perceptible) evaluando la actuación de las cámaras infrarrojas.

Se ejecutó procesos de carga y descarga controlados en función de la normativa ASTM E1934 - 99a (2018) variando valores de intensidad de corriente administrada y su relación termografía con la ayuda de bancos de mantenimiento de baterías HV y la cámara Fluke TiS60 respectivamente, para el análisis estadístico del comportamiento y mantenimiento de baterías de alta tensión.

El análisis estadístico se efectuó con la aplicación del modelo de Copetti y Chenlo el cual corrige los problemas de las baterías de alta tensión en las zonas de carga y sobrecarga, además de incluir los efectos de la temperatura.

La eficiencia de los procesos y métodos de carga y descarga controlada se demostraron en un protocolo termográfico para el mantenimiento preventivo de baterías HV.

1.4 Justificación e importancia

Los vehículos híbridos llegaron al Ecuador en el año 2010 teniendo una gran acogida con un total de 4.509 unidades vendidas con el pasar de los años diferentes marcas incursionaron en este tipo de vehículos mejorando su tecnología, de igual manera el gobierno nacional decretó una serie de beneficios que incidieron notablemente en el crecimiento del parque automotor, un dato estadístico proporcionado por AEADE nos indica que en septiembre del 2014 se vendieron 57 unidades mientras que en septiembre del 2019 se vendieron 111 unidades, teniendo un crecimiento de más del 90%

La contaminación ambiental en los últimos años es una problemática a nivel mundial entre los principales causantes se encuentra la industria automotriz, ya que el uso de combustibles fósiles es de suma necesidad, los mismos que al quemarse derivan en gases de efecto invernadero provocando altos niveles de contaminación atmosférica, los cuales derivan en afectaciones muy notorias en niveles de pureza del aire, que respira la población.

Por la polución generada por los vehículos y otros factores que forman parte de la industria automotriz estos se han visto en la obligación de buscar fuentes alternas que minimicen los daños ocasionados, poniendo como una ventana la utilización de energía renovable, que a su vez viene de la mano con el diseño de vehículos híbridos. Sin embargo, estas alternativas también traen consecuencias notables para el medio ambiente ya que tanto el níquel como el litio o el cobalto, son los principales componentes de las baterías para vehículos híbridos, dichos elementos tienen una complicada extracción, en donde la energía necesaria es mayor y se puede llegar a emitir hasta 200 toneladas de CO₂ en su proceso de elaboración.

Con el apoyo de los procesos de carga, descarga y monitoreos térmicos controlados, esta investigación pretende extender los ciclos de vida útil de un acumulador para vehículos híbridos.

Por estas razones la utilización de un correcto mantenimiento preventivo para evaluar el funcionamiento de acumuladores HV más los diversos procedimientos y monitoreos que son de suma importancia dentro de una repotenciación serán vitales para decir cuál es el estado de salud de la batería y si están en condiciones de volver a funcionar, caso contrario darlas de baja.

1.5 Objetivos

1.5.1 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.

1.5.2 Objetivos específicos

- 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.
- 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.

1.6 Metas

- Determinar la incidencia térmica en los procesos de carga y descarga controlados para baterías de alta tensión
- Establecer un protocolo de medición para el diagnóstico mediante la técnica de termografía de baterías HV a través de procesos de descarga y carga controlada.
- Obtener un modelo de mantenimiento termográfico que permita restablecer en un 80% los parámetros de funcionamiento de una batería HV tensión.
- Recopilar datos de intensidad de corriente, temperatura, Soc. y vida útil de las baterías de alta tensión para aplicar el modelo matemático en el software Mathcad.

1.7 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 optimizar las características de funcionamiento.

1.8 Variables de la investigación

1.8.1 Variable Independiente

Las variables independientes detallan los parámetros técnicos que se utiliza la termografía y las cámaras termográficas.

Tabla 1Operacionalización de la variable independiente. (*Termografía*)

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
	Académico Tecnológico	Emisividad térmica	-	Medición	Protocolos de prueba
Permite conocer las distribuciones superficiales y lecturas de valores de la temperatura de los objetos	Académico Tecnológico	Sensibilidad térmica	°C mK	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Longitud de onda IR	µm	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Temperatura del objeto	°C K	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Temperatura de la atmósfera	°C K	Medición	Protocolos de prueba

Nota. la tabla nos permite conocer los indicadores, ítem, técnicas y protocolos de prueba referentes a termografía.

1.8.2 Variables dependientes

Las variables dependientes detallan los parámetros para el correcto funcionamiento de las baterías de alta tensión es indispensable conocer sus unidades cualidades

Tabla 2Operacionalización de la variable dependiente (*Baterías de alta tensión*)

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Acumulador eléctrico es aquel que está formado de varias celdas con un contenido electroquímico para transformar energía química en energía eléctrica.	Académico Tecnológico.	Amperaje	A	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico.	Voltaje de batería en conjunto	V	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Voltaje por celda	V	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Voltaje total	V	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Autonomía de las baterías HV	Segundos A-H	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Capacidad	Segundos	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Tiempo de carga Descarga	%	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Estado de Carga (SOC)	%	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Estado de descarga (DSOC)	°C	Medición	Protocolos de prueba
	Académico Tecnológico	Temperatura de operación	A/h	Medición	Protocolos de prueba
Académico Tecnológico	Consumo de corriente	Mm	Medición	Manual del fabricante	
Académico Tecnológico	Dimensiones y forma				

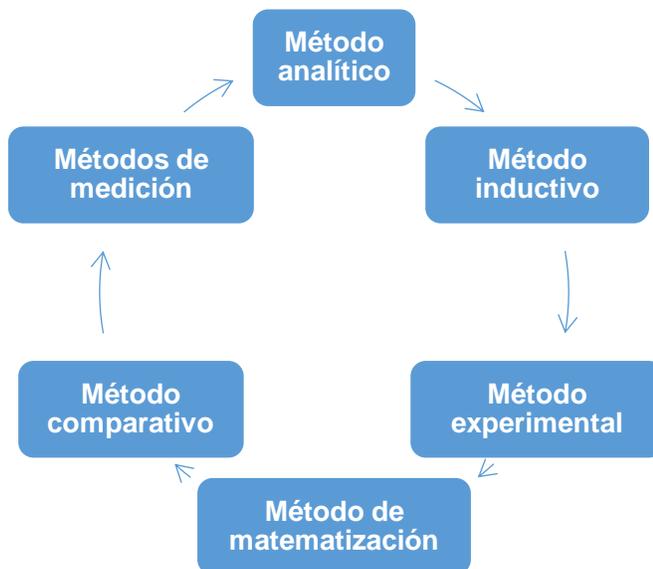
Nota. La tabla nos permite conocer los indicadores, ítem, técnicas y protocolos de prueba para baterías de alta tensión, que se emplearon en la investigación.

1.9 Metodología de desarrollo del proyecto

Los métodos que se emplearon para la presente investigación nos ayudan a tener una idea clara al momento de realizar pruebas y posteriormente los resultados obtenidos.

Figura 2

Métodos de investigación



Nota. Este diagrama nos indica los diferentes métodos que se aplicaron para el desarrollo de la investigación.

1.9.1 Método analítico

Se aplicó este método para observar de qué manera inciden la temperatura al momento de cargar y descarga la batería de alta tensión, variando los valores de corriente, considerando los parámetros de voltaje y corriente, para la recuperación de las baterías HV.

1.9.2 Método inductivo

El siguiente método se empleó con la finalidad de establecer los ítems de funcionamiento de las baterías HV de igual manera establecer los parámetros para una carga eficaz.

1.9.3 Método de matematización

A través del método de matematización se estableció un modelo matemático donde se comprobó que la temperatura y la corriente influyen directamente en la capacidad de la batería.

1.9.4 Método comparativo

Este método fue utilizado para comparar la eficacia de los datos tomados con la cámara termográfica y los obtenidos mediante el modelo matemático, durante los procesos de carga y descarga controlada en las baterías de alta tensión.

1.9.5 Métodos de medición

A través del método de medición se obtuvo los valores de voltaje, tiempo, corriente, temperatura, emisividad, sensibilidad térmica, longitud de onda IR (radiación infrarroja) en el protocolo de pruebas establecido.

Tabla 3

Metodología, instrumentación y laboratorios a utilizar.

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método inductivo	El siguiente método se empleó con la finalidad de establecer los ítems de funcionamiento de las baterías HV de igual manera establecer los parámetros para una carga eficaz.	Baterías HV. Banco carga-descarga Computador Portátil Multímetro Automotriz.	Laboratorio de Autotrónica
Método analítico	Se aplicó este método para observar de qué manera inciden la temperatura al momento de cargar y descarga la batería de alta tensión, variando los valores de corriente, para la recuperación de las baterías HV.	Baterías HV. Banco carga-descarga Computador Portátil Multímetro Automotriz Cámara termográfica	Laboratorio de Autotrónica
Método experimental	Se ejecutó este método en pruebas, en de carga y descarga controlados, variando la corriente de carga y un monitoreo en tiempo real de su temperatura con la aplicación de técnica infrarroja.	Baterías HV. Banco carga-descarga Computador Portátil Multímetro Automotriz Cámara termográfica	Laboratorio de Autotrónica

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método de matematización	A través del método de matematización se estableció un modelo matemático donde se comprobó que la temperatura y la corriente influyen directamente en la capacidad de la batería.	Computadora personal Multímetro Automotriz Cámara termográfica	Laboratorio de Autotrónica
Método comparativo	Este método fue utilizado para comparar la eficacia de los datos tomados con la cámara termográfica y los obtenidos mediante el modelo matemático, durante los procesos de carga y descarga controlada en las baterías de alta tensión.	Baterías HV en buen estado. Baterías HV cilíndricas. Computador Portátil Multímetro Automotriz. Cámara termográfica Software	Laboratorio de Autotrónica
Métodos de medición	A través del método de medición se obtuvo los valores de voltaje, tiempo, corriente, temperatura, emisividad, sensibilidad térmica, longitud de onda IR (radiación infrarroja) en el protocolo de pruebas establecido.	Multímetro Automotriz. Cámara termográfica Software	Laboratorio de Autotrónica

Nota. En la tabla se muestra la metodología y los instrumentos utilizados en el proyecto

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2 Batería de alta tensión

La extensa variedad de marcas para automóviles ha creado modelos propios para el sistema de baterías de alta tensión, generando así una gran diferencia en sus características de movimiento especialmente en los componentes que forman parte del sistema, como lo es el conjunto de celdas bajo un orden de conexión específico, monitoreo de temperatura, vigilancia de activación de componentes de alta tensión. (Moyano & Pantoja, 2019, pág. 23)

Muchos fabricantes de baterías HV se basan en un modelo que consta de 20 módulos fabricados de níquel- hidruro metálico, dentro de los módulos existen 6 células de 1,2 v que generan en total (7.2 voltios) mismos que se entrelazan en una configuración en serie para generar 144 voltios. Cada módulo de baterías de Ni-MH tiene diseño anti derrames y está en una caja hermética. El electrolito que se emplea en el módulo de baterías de Ni-MH es una mezcla alcalina de potasio e hidróxido de sodio. El electrolito se absorbe en las placas de las celdas de la batería y normalmente no tendrá fugas, incluso en caso de una colisión. (Espinoza & Guamushig, 2019, pág. 19)

Figura 3

Baterías de alta tensión



Nota. La figura representa una batería de alta tensión: (ElectronicaCar, 2019)

2.1 Características de los acumuladores

Para analizar el comportamiento de un acumulador es necesario tener conocimientos de partes y parámetros de funcionamiento (Jaume, 2017, pág. 8)

- **Celda.** Se considera como la parte más minúscula de un acumulador y dependiendo del requerimiento y sus prestaciones tendrá una configuración en serie o en paralelo.

- **State Of Charge (SOC).** Ayuda a definir el estado de carga de una batería en porcentaje, tomando como referencia 10% a un estado de carga sumamente bajo.

- **Depth Of Discharge (DOD).** Se establece como el vínculo existente entre la capacidad nominal de un acumulador y la capacidad en amperios horas que requiere está en una descarga, cabe mencionar que es el complemento del estado de carga.

- **Tensión de vacío (E0).** Es la tensión que una batería tiene entre sus borneras cuando no hay un consumidor conectadas a las mismas. Su valor queda determinado por las características intrínsecas de la batería.

- **Tensión en circuito cerrado (E).** Es el valor que se puede tomar cuando una batería se encuentra en estado de reposo, es decir no existe ningún elemento que la haga trabajar y consuma su energía.

- **Resistencia interna.** Es un valor teórico y si se lo analiza del punto práctico no es muy acertado ya que en el interior de las baterías se producen reacciones químicas que se afectarán con el funcionamiento y la edad de las mismas.

- **Capacidad.** La capacidad de una batería es la cantidad de electricidad que se puede almacenar para luego descargar medida en amperios-hora (Ah).

- **Capacidad nominal.** Se la mide cuando la batería alcanza su nivel máximo de carga alcanza una tensión de descarga controlada.

- **Capacidad real.** La capacidad real depende de las condiciones de funcionamiento y sobre todo de la temperatura de trabajo, esta puede adquirir valor superiores o inferiores a la capacidad nominal de una batería

- **Coulomb.** Se establece como el valor de carga que puede trasladar en unidades de tiempo e intensidad es decir en 1 segundo y a un amperio.

- **Auto descarga.** Se la puede medir cuando la batería se encuentra en un circuito abierto, aquí se verá el descenso en su capacidad.

- **Sobrecarga.** Se produce cuando los valores de intensidad y corriente especificados por el fabricante han sido rebasados.

- **Vida útil.** Se define como la durabilidad en tiempo y valores mínimos de trabajo que una batería puede aportar, a más de establecerse como el número de veces que puede ser carga y descargada para recuperar sus condiciones.

- **Eficacia (%).** Se establece como el vínculo que existe entre la energía ocupada para su descarga y la que esta puede devolver.

- **Curvas de carga y descarga.** Son Gráficas que se generan a partir del control, monitoreo y recepción de valores, del batería cuando estas son sometidas a procesos de carga y descarga, permitiendo establecer valores característicos.

2.2 Tipos de baterías de alta tensión

El mercado automotriz posee una amplia variedad de baterías que dependen de la necesidad del constructor de vehículos híbridos y eléctricos, las principales variaciones que se producen en este tipo de baterías son el número de celdas, material de fabricación, distintos voltajes y capacidades nominales, la Tabla 4 describe lo antes mencionado.

Tabla 4*Tipos de baterías de alta tensión*

Marca	Modelo	Voltaje nominal	Número de celdas	Voltaje por celda	Composición	Capacidad
BMW	i3	360 V	96	3.75 V		22 kW/h
BMW	I8	355 V	96	3.7 V		7.1 kW/h
Honda	Accord	144 V	20	7.2 V	NiMH	5,5 A/h
Honda	Civic	158.4 V	22	7.2V	NiMH	5.5 A/h
Hyundai	Ioniq	360 V	94	3.8 V	LiNiMnCo2	28 kW/h
Kía	Optima	360 V	96	3,75 V	Lithium Ion	9.8 kW/h
Kía	Soul ev	360 V	192	4.1 V	Lithium Ion	27 kW/h
Lexus	GS 450h	288 V	40	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Lexus	IS 300h	230.4 V	32	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Lexus	RX 400h	216 V	30	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Mercedes Benz	S550 PLUG-IN HYBRID	396 V	120	3,3 V	Lithium Ion	22 A/h
Nissan	Altima	270.6 V	34	7.96V	NiMH	6.5 A/h
Renault	Fluence	360 V	192	3.75 V	Lithium Ion	32.5 A/h
Renault	Zoe	400 V	192	4.1 V	Lithium-ion	22 kW/h
Tesla	S60	310 V	22	14 V	Lithium Ion	60 kW/h
Toyota	Auris	201.6 V	28	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Toyota	Camry	244.8 V	34	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Toyota	Highlander	220 V	28	7.89 V	NiMH	6.5 A/h
Toyota	Prius	201.6 V	28	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Toyota	Yaris	144 V	20	7.2 V	NiMH	6.5 A/h

Nota. Esta tabla representa los diferentes tipos de baterías HV que existen en el mercado, y que vehículos las utilizan. (Moyano & Pantoja, 2019, pág. 27)

2.3 Material activo

- **(Ni-MH)**

El níquel metálico es fuerte y duro (3.8 en la escala de Mohs), Cuando está finamente dividido, es de color negro. La densidad del níquel es 8.90 veces la del agua a 20°C (68°F); se funde a 1455°C (2651°F) y hierve a 2840°C (5144°F); es sólo moderadamente reactivo. Resiste la corrosión alcalina y no se inflama en trozos grandes,

pero los alambres muy finos pueden incendiarse. Está por encima del hidrógeno en la serie electroquímica; se disuelve con lentitud en ácidos diluidos liberando hidrógeno. En forma metálica es un agente reductor fuerte. (Lenntech, 2020)

- **Baterías de níquel-hidruro metálico**

Cuando un acumulador de níquel-hidruro metálico se encuentra cargado, el cátodo se encuentra reflejado en el oxihidróxido de níquel y el material activo del electrodo negativo o también conocido como ánodo 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. (Viera, 2003, pág. 33)

Dentro de las formas primordiales para la aleación metálica (M) en los acumuladores de níquel hidruro metálico son:

- 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).

El electrólito en las baterías de níquel-hidruro metálico está compuesto fundamentalmente por hidróxido de potasio.

Según (Cisneros, 2015) la composición química del hidróxido de níquel obtenido se encuentra en los siguientes rangos

Níquel: 52,0 - 60,7%.

Cobalto: 0,8 - 1,3%

Manganeso: 0,4 - 0,6%

Su densidad es de 4.1 g/cm³, temperatura 70°C

- **Baterías de óxido de cobalto y litio, níquel y manganeso**

Según (Tobmachinery, 2018) el “(LiNiMnCoO₂), abreviado como NMC, se ha convertido en el polvo de cátodo para desarrollar baterías para herramientas eléctricas, bicicletas eléctricas y otros sistemas de propulsión eléctrica” (párr. 1)

Esto establece una productividad sólida, con una energía específica muy rentable y valor de autocalentamiento relativamente bajo en referencia a los polvos existentes en el mercado, a más de mantenerlo como la opción preferida entre los fabricantes de vehículos híbridos y eléctricos.

El compuesto NMC hace referencia a una variedad de mezclas, sin embargo, su fórmula consiste en 33% de níquel, 33% de manganeso y 33% de cobalto. Esta mezcla, se encuentra en relación 1-1-1, es una opción muy practica para celdas de producción masiva en aplicaciones que requieren ciclos frecuentes, debido a la reducción en el valor del compuesto debido al menor contenido de cobalto. (Tobmachinery, 2018)

El óxido de cobalto es el material activo con electrodo positivo dentro de una batería de litio.

Figura 4

Óxido de cobalto y litio, níquel y manganeso



Nota. Una muestra física del óxido de cobalto y litio (Romero, 2018)

2.4 Aplicaciones

- Vehículos de propulsión totalmente eléctrica
- Vehículos híbridos
- Modelos de robot
- Antenas de comunicación.

2.5 Banco de pruebas de baterías HV

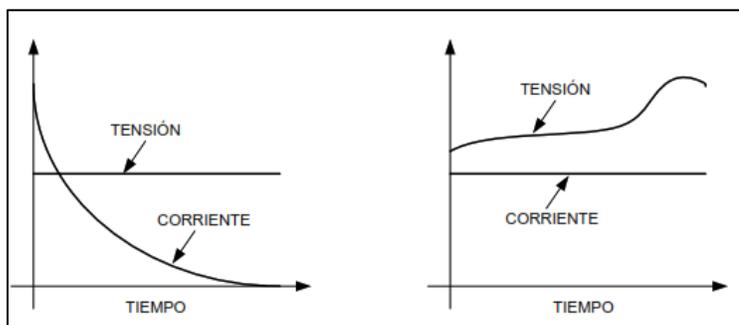
Los Bancos de pruebas son dispositivos que nos permiten realizar pruebas de carga y descarga de acumuladores con la finalidad de conocer el estado de las mismas, dichos bancos simulan condiciones variables de carga y descarga eléctrica que se pueden controlar, medir y registrar con precisión.

2.6 Proceso de carga

(Viera, 2003) menciona que: “Hay una gran variedad de métodos que se pueden aplicar para realizar un proceso de carga en baterías de diferentes capacidades mismos que varían dependiendo de tres parámetros tiempo, corriente y tensión” (p.50)

Figura 5

Variación de corriente, tensión en procesos de carga constante y variable



Nota. Diagrama de comportamiento de la corriente y la tensión en procesos de carga y descarga (Viera, 2003)

2.7 Métodos para el cálculo del estado de carga

Existe una variedad de métodos para el cálculo del estado de carga de una batería, esto depende principalmente del tipo de batería, condiciones de uso, ciclos de funcionamiento y otros parámetros. Seguidamente se detallan los más relevantes:

2.7.1 Medida directa

Se trata de un método teórico e hipotético ya que se fundamenta en un proceso de descarga a corriente constante. El valor obtenido se lo multiplica con el tiempo que la batería tomo en descargarse completamente, determinándose la capacidad del acumulador. Como es fácil de intuir, se trata de un método que es inviable a la práctica, pues la corriente de descarga es variable y además el propósito de conocer el estado de carga es para usar el instante y de poco sirve saber el estado de carga una vez que el acumulador ha sido descargado por completo. (Espinoza & Guamushig, 2019, pág. 27)

2.7.2 Medida de la gravedad específica

A este método se lo conoce como medida de densidad relativa, y para emplearlo es vital acceder al electrolito líquido interno del acumulador. La correlación entre la densidad del agua y la de una sustancia electrolítica decrece de manera lineal con la descarga de la celda de la batería. Por tal motivo, verificando los valores de densidad del electrolito se consigue una estimación del SOC de la celda (Espinoza & Guamushig, 2019, pág. 27)

2.7.3 Método integral de la corriente

(Burgos, 2013)“El método mostrado a continuación es de los más relevantes y confiables cuando se propone determinar el valor de carga”.

Básicamente el método registrar mediante sensores, la corriente de ingreso o salida hacia la batería e integrar para establecer un valor promedio de la capacidad que se ha sustraído. El SOC se establece aplicando la Ecuación 1

$$\text{SoC} = \text{SoC}_0 - \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t I d\tau$$

Ecuación 1 Estado de carga de la batería SOC

Donde “ C_N ” representa la capacidad nominal de la batería, e “ I ” a la corriente de ingreso o salida. Comúnmente a la Ecuación 1, se la puede modificar incrementando un factor de eficiencia coulombica (η_i), de tal manera que la define la Ecuación 2.

$$\text{SoC} = \text{SoC}_0 - \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t \eta_i I d\tau$$

Ecuación 2 SOC con factor de eficiencia.

$$\eta_i \begin{cases} 1 & \text{Para la carga} \\ \eta_i < 1 & \text{Para la descarga} \end{cases}$$

Una de las principales desventajas al aplicar este método radica en que, si se emplea una integral en un lazo abierto, este se hace demasiado propenso a errores en las mediciones de corriente. Con la finalidad de que suceda, se plantea establecer un circuito de lazo cerrado, aquí el dispositivo de realimentación, puede ser diseñado empíricamente, con el que se establece el SOC generado por la integral de la corriente. (Espinoza & Guamushig, 2019, págs. 28, 29)

De tal manera a una corriente constante se obtiene.

$$\text{SoC} = \frac{I_{\text{carga}} * t}{C_N}$$

Ecuación 3 SOC con corriente constante

Donde:

I_{carga}: corriente de carga

t: tiempo de carga

C_N: Capacidad nominal de la batería

2.8 Proceso de descarga

La “orientación de descarga”, genera una corriente eléctrica misma que resulta idónea para activar el motor eléctrico que estimula al vehículo. (Artes, 2012)

2.8.1 DSOC

El complemento del SOC es el DSOC, que es la profundidad de descarga, indicando la descarga de la batería, si se tiene un 45 % de SOC es equivalente a un 55 % de DSOC. (Moyano & Pantoja, 2019, pág. 21)

2.8.2 Estado de descarga DSOC en función del tiempo.

$$\%DSOC_t = 4 * \left(\frac{C_N}{I_D * t_D} \right)$$

Ecuación 4: Ecuación de estado de descarga DSOC

Donde:

$\%DSOC_t$ = Porcentaje de estado de descarga de la batería (porcentaje, %)

t_D = Tiempo de carga (horas)

I_D = Intensidad de descarga de la batería (amperios, A)

C_B = Capacidad de la batería (amperios hora, Ah)

2.9 Termografía

La termografía se basa en tomar valores de radiación infrarroja pertenecientes a un objeto mismo que emite un valor de temperatura superior al cero absoluto, y, por tanto, se puede tomar valores térmicos de cualquier material sin importar su constitución, este proceso se lo realiza sin que exista contacto físico con el objeto a ser analizado. (Palma, 2015, pág. 50)

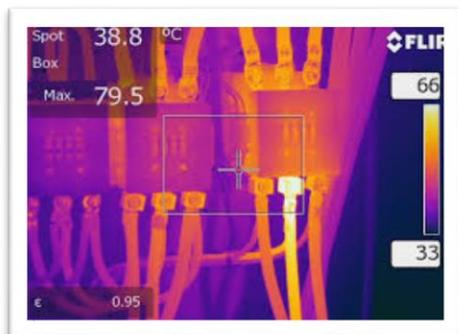
2.9.1 Termografía infrarroja

Se entiende como termografía infrarroja a la técnica que permite obtener valores de temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con la muestra analizar, este proceso se realiza mediante la captación de la intensidad de radiación infrarroja que emite cada cuerpo. Con la utilización de cámaras termográficas se logra convertir la energía emitida (W), misma que resulta invisible al ojo humano, en una imagen perceptible formada a partir de la temperatura superficial de los objetos

La termografía infrarroja, permite que una imagen de infrarrojos se convierta en una imagen radiométrica, indicando la condición de trabajo de un equipo monitoreado dentro de entornos de operación normales o anormales para diseñar un posible escenario de fallas futuras (Neita & Peña, 2014)

Figura 6

Termografía infrarroja



Nota. La figura muestra una imagen termográfica (Termogram, 2019)

2.9.1 Termografía activa y pasiva

(Rodriguez, 2004) Menciona que “Se expone el objeto de estudio a aumentos de calor para establecer las variaciones características de temperaturas que servirán para establecer defectos existentes en la sección inferior del material a utilizarse. Los datos conseguidos se fundamentan de manera cuantitativa en cuanto a tamaño y profundidad de los daños por medio de las imágenes captadas por la cámara infrarroja del objeto analizado” Termografía pasiva

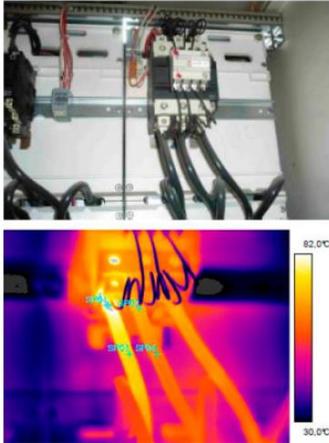
La termografía pasiva valora de manera específica la radiación infrarroja sin que exista una fuente de calor extrema para revelar los lugares o zonas con defectos. (Rodriguez, 2004)

2.10 Termografía en instalaciones eléctricas.

Monitorear los valores térmicos de elementos ubicados en instalaciones eléctricas, es muy relevante al momento de descubrir sobrecarga en conductores, a más de recalentamientos producidos por falsos contactos, falta de aislamiento térmico. Esta técnica es un método no destructivo que tiene un significativo valor al momento de realizar mantenimientos preventivos. Esta técnica infrarroja se aplica para evaluar y anticipar fallos en máquinas. Otro punto de aplicación es en la disminución de posibles incendios en conductores, tableros y áreas de trabajo en donde las partes eléctricas son fundamentales para el funcionamiento de una central. (Lea, 2015, pág. 1)

Figura 7

Termografía infrarroja en instalaciones eléctricas



Nota. La figura muestra dos imágenes la primera es la vista de una instalación eléctrica en referencia al ojo humano, mientras la segunda es como se ve con la utilización de una cámara termográfica. Tomado de (Edeingenieros, 2019)

2.11 Transferencia de calor

(Pirobloc, 2016) menciona que: “Se entiende como transferencia de calor al intercambio de energía que se realiza entre diferentes cuerpos o distintas partes de un mismo cuerpo, el intercambio de calor se da siempre del cuerpo más caliente al más frío”.

Para poder hallar los elementos que determinan el comportamiento térmico de los acumuladores es vital conocer los modos de transferencia de calor que dominan en el problema. Estos modos son la conducción (provocada por la transferencia de calor al interior de las celdas) y la convección (transferencia de calor entre la superficie de la celda y el fluido de refrigeración).

2.11.1 Principios de la transferencia de calor

Cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas se relacionan, la diferencia de temperatura entre ellos hace que el calor fluya de forma espontánea del cuerpo de mayor

temperatura al de menor temperatura, hasta cuando los dos cuerpos alcancen la misma temperatura, es decir, cuando alcanzan el equilibrio térmico. La transferencia de calor permite cuantificar la velocidad con que ocurre este fenómeno (Neita & Peña, 2014, pág. 48)

2.11.2 Definición termodinámica del calor.

El calor se precisa como la representación de energía que se traslada entre dos sistemas (o un sistema y sus alrededores) mediante una diferencia de temperatura. Un intercambio de energía es calor sólo si ocurre debido a una variación de temperatura. De ello se deduce que no hay ninguna transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura (Neita & Peña, 2014, pág. 49)

El calor posee unidades de energía, la unidad de medida dentro del Sistema Internacional de Unidades es el Joule. Se puede emplear otras unidades como la caloría, el BTU (British Thermal Unit), entre otras. El calor se rige bajo dos criterios importantes:

- El primer criterio de la termodinámica, se denomina la ley de la conservación de la energía: “La energía total de un sistema cerrado permanece constante.”
- El segundo criterio de la termodinámica hace referencia al sentido del calor: “Un sistema cerrado tenderá siempre a equilibrar su temperatura”.

2.11.3 Modos de transferencia de calor

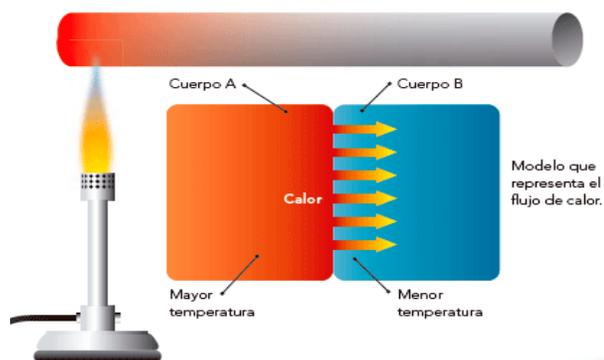
El calor se transporta de distintas formas: conducción, convección y radiación, para que se produzca transferencia de calor se necesita la existencia de una diferencia de temperatura y todo esto se genera desde el medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja. (Cengel, Yunus, 2007, pág. 17)

Figura 8*Transferencia de calor*

Nota. La imagen relaciona los tres modos en los cuales el calor puede transmitirse. Tomado de (Pirobloc, 2016)

2.11.4 Conducción

La conducción es considerada como la transmisión de energía de las moléculas más energéticas de un elemento debido a las interacciones entre las mismas. Las temperaturas más elevadas se agrupan con las energías atómicas más altas y, cuando las moléculas adyacentes chocan, se produce una transferencia de energía de las moléculas más energéticas a las menos energéticas. En presencia de un gradiente de temperatura, la transferencia de energía por conducción ocurre entonces en la trayectoria de la temperatura descendiente. (Fuerzalida, 2014, pág. 7)

Figura 9*Transferencia de calor por conducción*

Nota. Esta figura representa la transferencia de calor por conducción, a través de cilindro.

Tomado de (Termoycalor.blogs, 2015)

Este tipo de transferencia se produce sin movimiento de masa, y la tasa de conducción de calor \dot{Q}_{cond} se ve influida por cuatro elementos como son; la sección atravesada por el calor A (m^2), la variación o gradiente térmico T_1-T_2 (K), la conductividad térmica del medio k (W/mK) y la longitud de la trayectoria L (m). (Cengel, Yunus, 2007, pág. 18)

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

Ecuación 5: Cálculo de conducción térmica

2.11.5 Convección

La transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos como son la transferencia de energía debido al movimiento molecular aleatorio o también conocido como difusión, la energía también puede transmitirse mediante el movimiento global, o macroscópico del fluido.

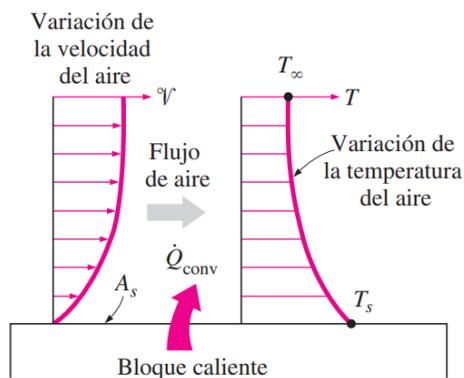
Para el estudio de la batería de alta tensión, la transferencia de calor por convección ocurre entre un fluido en movimiento y una superficie limitante (celdas) cuando éstas tienen diferentes temperaturas. Un resultado de la interacción entre el fluido y la superficie es la generación de una región en el fluido en la que la velocidad varía de cero en la zona analizada a un valor finito agrupado al flujo. (Fuerzalida, 2014, pág. 8)

Existen dos formas diferentes de convección: la convección libre y la convección forzada. Se entiende como convección forzada al momento que el fluido es forzado a cambiar su velocidad de desplazamiento gracias a la ayuda de medios externos. Mientras que la convección libre tenemos que el movimiento del fluido es producido por impulsos

naturales, como el efecto de fluctuación que puede ser originado por la diferencia de la temperatura del fluido. (Neita & Peña, 2014)

Figura 10

Transferencia de calor



Nota. La imagen muestra la Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección. (Cengel, Yunus, 2007, pág. 26)

La transferencia de calor por convección se establece por la ley de enfriamiento de Newton. Los componentes que influyen en la convección se observan en la Figura 10 y se relacionan en la ecuación 6 (Neita & Peña, 2014, pág. 52)

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_1 - T_2)$$

Ecuación 6: Cálculo de convección térmica

Donde:

\dot{Q}_{conv} : Es la tasa de transferencia de calor por convección (W) ó (J/s).

A: es la sección atravesada por el calor (m^2).

(T1 – T2): es la diferencia o el gradiente térmico (K).

h: es el coeficiente superficial de transmisión del calor (W/m²K).

El coeficiente superficial de transferencia del calor h tendrá influencia de acuerdo a las siguientes propiedades:

- Densidad del líquido.
- Viscosidad del líquido.
- Conductividad térmica del líquido.
- Calor específico del líquido.
- Coeficiente de dilatación del líquido.
- Terminado superficial.
- Forma de la superficie de intercambio.

2.11.6 Radiación

Se establece como radiación a la energía expuesta por la materia en forma de ondas electromagnéticas o también conocida como fotones, esto como resultado de los cambios en las proporciones electrónicas de los átomos o moléculas. Diferenciando la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no demanda la presencia de un medio intermediario. De hecho, la transferencia de calor por radiación es considerada la más ágil tanto así que se relaciona con la velocidad de la luz y no sufre atenuación en un vacío (Neita & Peña, 2014, pág. 54)

La radiación se expresa como un fenómeno volumétrico donde todos los estados de la materia emiten, absorben y transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación se considera como un anómalo superficial en sólidos opacos a la radiación térmica. La tasa de radiación máxima que se emite desde una superficie a una temperatura absoluta T_s está dada por la ley de Stefan Boltzmann. (Neita & Peña, 2014, pág. 54)

$$\dot{Q}_{emit, max} = \sigma ATs^4$$

Ecuación 7: Cálculo de radiación térmica

Donde:

$\dot{Q}_{emit, max}$:Tasa de radiación máxima (W/m^2)

σ : Constante de Stefan-Boltzmann = $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$

Ts: Temperatura absoluta del cuerpo (K)

A: es la sección atravesada por el calor (m^2).

La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura entonces, se expresa como:

$$\dot{Q}_{emit, max} = \varepsilon \sigma ATs^4$$

Ecuación 8: Cálculo de radiación térmica y emisividad

Donde:

ε :emisividad del material (adimensional)

Ts: Temperatura absoluta del cuerpo (K)

A: es la sección atravesada por el calor (m^2).

2.11.7 Emisividad

Se define como emisividad a la cualidad que un objeto posee para emitir radiación infrarroja, cuyo valor oscila de $0 \leq \varepsilon \leq 1$ donde la emisividad máxima $\varepsilon=1$ pertenece a un del cuerpo negro. Esta cantidad de la emisividad depende de las propiedades, el acabado superficial y en algunos materiales según la temperatura del objeto medido. En cuanto a los materiales no metálicos como el plástico el PVC, sustancias orgánicas y materiales de construcción estos disponen altos niveles de emisividad ($\varepsilon \approx 0.8$ a 0.95) y la variación de calor no los afecta, a diferencia de los metales sobre todo aquellos que tienen de

acabados muy perfectos y resplandecientes, tienen baja emisividad que varía con la temperatura (Testo SE, 2017, pág. 6)

2.12 Elementos primordiales de la radiación infrarroja

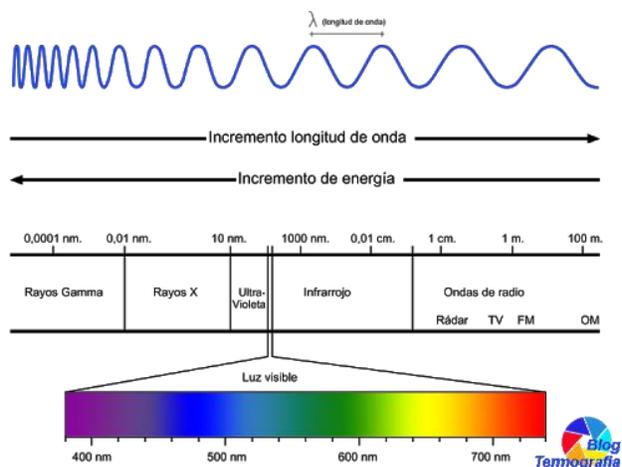
La parte del espectro electromagnético que los ojos de las personas pueden observar es muy diminuta con referencia a todo el rango que incluyen las variadas formas de radiación, partiendo con rayos X empleados por los hospitales hasta las ondas de radio y televisión usadas para la comunicación (Neita & Peña, 2014, pág. 56)

2.12.1 Espectro Electromagnético.

El espectro electromagnético hace referencia a la variedad de tipos de energía de radiación y las ondas longitudinales que estos transmiten. Se entiende como longitud de onda al recorrido que se forma entre dos crestas o valles de manera contigua dentro de una onda.

Figura 11

Amplitud de onda



Nota. La figura define como longitud de onda a la distancia entre dos crestas, además de incluir diferentes parámetros y su unidad de medida. Tomado de (Termografía, 2014)

2.12.2 Ondas de radiofrecuencia.

Este tipo de ondas son utilizadas en el ámbito de las telecomunicaciones gracias a que su longitud de onda es muy larga y puede alcanzar varios kilómetros, la frecuencia varía desde pequeños Hertz hasta 10 GHz (Neita & Peña, 2014, pág. 57)

2.12.3 Microondas.

Las microondas son utilizadas en hornos microondas, también son aplicadas para la transmisión de información, radares entre otros. Los valores de frecuencia de las microondas están en el intervalo de 1 GHz a cientos GHz, con valores de longitud que oscilan entre 30 cm a 1 mm (Neita & Peña, 2014, pág. 58).

2.12.4 Infrarrojo.

Las ondas de radiación infrarroja se relacionan con los cuerpos que generan calor ya que todo cuerpo que disponga de una temperatura superior al cero absoluto expone rayos infrarrojos y estos aumentarían si el cuerpo se encuentra a una temperatura elevada. La franja infrarroja se localiza entre 300 GHz hasta aproximadamente 400 THz, esta banda se divide en cuatro secciones (Neita & Peña, 2014, pág. 58)

2.13 Cámara termográfica

(Fluke, 2019) afirma que: “Es la herramienta ideal para la resolución de problemas. Estas cámaras poseen infrarrojos de notables prestaciones y totalmente radiométricas, están fabricadas para su uso en entornos de trabajo adversos siendo ideales para mantenimientos preventivos y predictivos”. (p.36)

Figura 12*Cámara Termográfica*

Nota. La figura representa una cámara termográfica. Tomado de (Fluke, 2019)

Funcionamiento

Las ilustraciones infrarrojas tomadas con la TiS60 capturan variaciones de temperatura muy minúsculas a un rango de distancia más amplio, TiS60 brinda un enfoque fijo con la destreza de capturar imágenes de calidad a una mayor distancia. (Fluke, 2020)

La TiS60 desarrolla tecnología para capturar objetos invisibles al ojo humano y revela problemas que no pueden ser detectados con otros instrumentos de medición. (Calderón, 2015)

2.13.1 Características

- Instala un enfoque fijo fácil de maniobrar
- La calidad de los cuadros térmicos tiene una resolución de 260 x 195 (50.700 píxeles)
- D:S de 417:1
- Rango de medida de la temperatura de -20 °C a 550 °C (-4 °F a 1022 °F)

- Detecta inconvenientes con prisa gracias a su tecnología IR y el modo PIP: captura detalles que necesita para analizar los problemas e identificar claramente la ubicación
- LCD de 3,5 pulgadas, 320 x 240
- Cámara digital de 5 megapíxeles
- Sistema de batería inteligente: batería inteligente de ion-litio con presentación del estado de la carga con indicador Led
- Permite compartir y enviar las imágenes por correo electrónico con Fluke Connect
- Almacenamiento de imágenes: memoria interna de 4 GB y tarjeta micro SD de 4GB

2.13.2 Software SmartView 4.3

En cuanto a la página web de Cámaras Termográficas (Fluke, 2019), se puede establecer el Software Smart View, es una solución que consta de varias herramientas que visualizan, optimizan y analizan las imágenes infrarrojas (IR), también, se puede producir informes completamente personalizados y con aspecto profesional.

Las ventajas que posee este software son las siguientes:

- Visualización y optimización de imágenes

El modo AutoBlend permite combinar imágenes infrarrojas parcialmente transparentes con imágenes visibles una única vista que le permitirá identificar los problemas de manera simple.

El modo imagen suministra un marco visible alrededor de la misma por infrarrojos para orientar y hacer referencia a áreas de investigación de manera sencilla.

Las alarmas de color permiten aislar zonas problemáticas para identificar y comunicar problemas de manera clara.

- Comunicación de resultados

Permite compartir los resultados enviando imágenes o informes por correo electrónico, de esta manera se puede agilizar los mantenimientos y solicitar ayuda si fuera necesario.

- Generación de informes simplificada

Genera informes personalizados de aspecto profesional de forma rápida.

La selección de opciones incluye antes y después imagen digital visible, anotaciones, datos y gráficos de apoyo.

2.14 Normativas para mediciones termográficas

En cuanto a la página ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) en América latina (2018) menciona las normas de mediciones termográficas, de la siguiente manera:

2.14.1 ASTM E 1933-999 (valores de emisividad)

Es la emisividad de una muestra puede causar errores en la medición de la temperatura de la superficie, estos procedimientos pueden usarse en estudios de campo o en laboratorios, utilizando cualquier radiómetro infrarrojo que tenga las capacidades informáticas requeridas para el control del proceso y la evaluación no destructiva de los materiales ASTM 1933-999.

Alcances:

- Esta normativa cubre los procedimientos para medir y compensar la emisividad cuando se mide la temperatura de la superficie de una muestra con un radiómetro de imágenes infrarrojas.
- Los valores establecidos en unidades SI deben considerarse estándar. No se incluyen otras unidades de medida en esta norma.

- Estos procedimientos pueden implicar el uso de equipos y materiales en presencia de equipos calentados o con energía eléctrica, o ambos.

2.14.2 ASTM E 1934-99a (2018) (comprobación de equipos electrónicos)

Puede ser utilizada por su usuario final para especificar exámenes infrarrojos de equipos electrónicos y mecánicos y un termógrafo infrarrojo.

Alcances:

- Enumera las responsabilidades del usuario final y del termógrafo infrarrojo al examinar los sistemas eléctricos y mecánicos.
- Describe el contenido específico requerido para documentar exámenes infrarrojos cualitativos y cuantitativos de equipos eléctricos y mecánicos. 2
- Puede involucrar el uso de equipos y materiales en presencia de equipos calentados, en movimiento o todos ellos o con energía eléctrica.
- Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad, salud y medio ambiente y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.
- Esta norma internacional fue desarrollada de acuerdo con los principios internacionalmente reconocidos sobre estandarización establecidos en la Decisión sobre Principios para el Desarrollo de Normas, Guías y Recomendaciones Internacionales emitidas por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio.

2.14.3 ASTM E 1213-14 (2018) (valores de temperatura resoluble)

Es una práctica que se relaciona con la efectividad de un sistema de imágenes térmicas para discernir detalles de una escena.

Alcances:

- Esta práctica cubre la determinación de la capacidad mínima de diferencia de temperatura resoluble Diferencia Mínima de Temperatura Resoluble (MRTD) del sistema compuesto de imágenes de observación térmica en función de la frecuencia espacial.
- Los valores establecidos en unidades SI deben considerarse estándar. No se incluyen otras unidades de medida en esta norma.

2.15 Modelo de Shepherd

Shepherd propone un modelo matemático para representar la tensión existente en los bornes de la batería, tomando en cuenta el estado de carga y la corriente. Esto para regímenes de carga y descarga realizados a corriente constante.

$$V = V_0 + \frac{k}{1 - SoC} I + RI - \text{sgn}(I)Ae^{-BSoC}$$

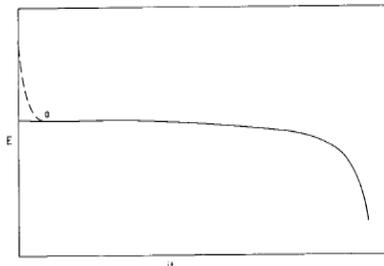
Ecuación 9: Modelo de Shepherd

Donde V_0 representa la tensión electroquímica del acumulador, k la pendiente de la curva de polarización, R la resistencia interna y A y B corresponden a constantes para ajustar los datos experimentales.

Generalmente en este modelo se omite la parte exponencial debido a que su contribución es solo para explicar la caída inicial de tensión en la batería. (Burgos, 2013, pág. 49)

Figura 13

Tensión en la batería



Nota. La imagen representa una caída de tensión inicial de la batería. (Burgos, 2013, pág. 49)

Como se menciona anteriormente este modelo desprecia la parte exponencial generando una nueva ecuación.

$$V_b = V_0 + \frac{k}{SoC} I + RI$$

Ecuación 10 modelo simplificado de Shepherd

La desventaja de este modelo es que sólo es aplicable a perfiles de carga y descarga constante.

2.16 Modelo de Copetti y Chenlo

El modelo de Copetti y Chenlo es una ampliación del modelo de Shepherd, mismo que 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

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

Ecuación 11 Capacidad instantánea

$$I_{nominal} = \frac{C_{nominal}}{n}$$

Ecuación 12 Intensidad nominal

Donde

$C(t)$: 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.

ΔT : Es la variación de temperatura respecto a la de referencia 25°C.

n: es el número de horas

2.17 Capacidad nominal

Es la capacidad que puede entregar una batería desde la carga completa, hasta alcanzar un voltaje en descarga determinado, a una temperatura ambiente fijada con una razón de descarga específica. (Jaume, 2017, pág. 10)

2.18 Eficiencia de carga

Una batería ideal tendría una eficiencia de un 100% pero en la práctica siempre es menor, ya que este valor se ve influenciado por las pérdidas que haya, además de depender de la temperatura, del tipo de batería que sea y del índice de carga. Al cargar una batería entre unos valores de SOC de 20 y 80%, la eficiencia es casi máxima, tal y como se muestra en la ilustración. Un esquema que nos facilita el entendimiento de los márgenes de funcionamiento de una batería en función de su estado de carga. (Morente, 2015, pág. 14)

Figura 14

Eficiencia de carga



Nota. La imagen indica los márgenes de trabajo de una batería. Tomado de (Morente, 2015, pág. 15)

CAPÍTULO III

PROTOCOLO DE PRUEBAS

3 Selección de la muestra y materiales necesarios

3.1 Batería HV del Toyota Prius C

Este modelo salió al mercado a partir del 2012 experimentando varios cambios como su tamaño, peso y su voltaje nominal de 144 voltios. Está fabricado de Níquel Metal y su ubicación es debajo del asiento posterior, tanto su estado de carga SOC es monitoreado y controlado por la ECU de la batería. Esta batería está compuesta de 20 celdas de 6 células cada una que proporciona 1.2 voltios cada una y sumando un total de 7.2 voltios en cada celda y en total 144 voltios de toda la batería. La unidad de batería o ECU monitorea el voltaje de la batería de bloque en 10 lugares. Cada bloque de la batería está compuesto de 2 celdas en un conjunto. (Espinoza & Guamushig, 2019, pág. 22)

Figura 15

Batería Toyota Prius C



Nota. La imagen muestra la batería H.V del Toyota Prius C.

Para ello se detallan las características físicas y eléctricas de la batería, así como el pack del que está compuesta

Tabla 5*Características eléctricas y físicas de la batería de alta tensión*

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

Nota. La tabla indica los valores y parámetros nominales de una batería HV. (Espinoza & Guamushig, 2019, pág. 42)

Tabla 6*Características de la celda de batería*

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

Nota. La tabla indica los valores y parámetros nominales de una. (Espinoza & Guamushig, 2019, pág. 42)

3.2 Procedimientos iniciales

Para el análisis térmico en procesos de carga y descarga controlados en baterías de alta tensión se diseñó un protocolo de pruebas, el mismo que cuenta con la aplicación de técnica infrarroja predictiva

Tabla 7

Protocolo de pruebas

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

Nota. Esta tabla indica las pruebas y consideraciones realizadas en el conjunto de baterías en los procesos de carga y descarga.

3.2.1 Medición inicial de los packs

Para el correcto diagnóstico y determinación del estado de las celdas que conforman la batería HV, se procedió a medir la tensión existente en cada celda, generando de esta manera una referencia de voltaje inicial. Siguiendo las recomendaciones del fabricante es de suma importancia que ningún pack se encuentre por debajo de los 13 V, ya que este resulta ser el voltaje mínimo para un correcto funcionamiento de las mismas.

Figura 16

Medición inicial



Nota. En la imagen se observa el procedimiento de captación de valores iniciales de voltaje en cada una de las celdas.

3.2.2 Descarga en paralelo (D1)

Basándose en una investigación bibliográfica se determinó que la mejor elección para el proceso de descarga es aquella que se realiza en paralelo, generando que al final de este proceso las 20 celdas analizadas tengan el mismo valor o uno muy similar.

Según lo establecido en el protocolo de pruebas se utilizará una corriente de descarga correspondiente 1,6 A hasta llegar al 30% de la tensión nominal, para el análisis termográfico se monitoreo la temperatura en los siguientes porcentajes 90% 80% 70% 60% 50% 40% el tiempo de descarga dependerá del voltaje que posea cada celda.

Figura 17

Batería Toyota Prius C descarga en paralelo



Nota. Esta figura indica el proceso de conexión en paralelo de las celdas que conforman la batería HV

Figura 18

Valor de la corriente de descarga



Nota. La figura permite visualizar la corriente que se empleó en el banco de pruebas para la primera descarga de la batería HV.

3.2.3 Proceso de pre carga (PC)

Este proceso evita que las celdas reciban una carga excesiva de manera inapropiada, generando que los ánodos de oxihidróxido de níquel (NiOOH) y cátodos de hidruro metálico entren en estrés dentro de la célula. Misma que puede terminar en una degradación prematura de la batería. La precarga de restauración se realizó con conexión de la batería en serie a una corriente de 0,5A, monitoreando constantemente la

temperatura y el voltaje en los porcentajes en los siguientes porcentajes 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%.

Figura 19

Valor de corriente (precarga)



Nota. La figura muestra la corriente que se empleó en el banco de pruebas para la primera descarga de la batería HV.

3.2.4 Carga completa (C1)

Una vez que las celdas adquirieron el 100% de su intensidad nominal, se las deja en reposo para posteriormente aplicar una carga de 1,60 A con la finalidad de llegar al 120% de su intensidad.

Figura 20

Valor de corriente (CR-1)



Nota. Esta figura muestra la corriente que se empleó en el banco de pruebas para la primera de la batería HV

3.2.5 Proceso de descarga (D2)

Para el proceso de descarga en serie se ejecuta la descarga a 0.8 amperios (A), tomando el tiempo en minutos cuando el valor de cada celda llegue al 30% como voltaje mínimo.

Figura 21

Valor de corriente (D2)



Nota. La figura muestra la corriente utilizada en nuestro banco de pruebas para realizar el proceso de descarga.

3.2.6 Proceso de carga final (CR-2)

En este proceso el valor de carga se realizó a 1,70 A amperios hasta llegar al 120% de su tensión nominal.

Figura 22

Valor de corriente (CR-2)



Nota. La figura muestra la corriente utilizada en nuestro banco de pruebas para realizar el proceso de carga.

3.2.7 Reposo

Una vez finalizado los anteriores procesos mencionados se da un tiempo de 60 min de reposo en bloque que ha sido sometido a pruebas, esto con el objetivo que todos los packs tengan valores casi reales en cuanto a su intensidad. Además, al realizar las pruebas sometidas a constante carga y descarga los packs de la batería HV tienden a inflarse, por lo que es necesario dejarlas descansar.

3.2.8 Comprobación para fuga de corriente

Después del tiempo de estabilización con las baterías ya cargadas, se debe hacer una última comprobación para determinar si existen posibles fugas de corriente en los packs, esto se denotará al tomar el valor de la variación del voltaje cada 30 minutos durante las siguientes 3 horas posteriores. Para este proceso los se debe de hacer la conexión de packs en serie y se irá tomando los valores de voltaje por packs,

3.3 Aplicación de la técnica infrarroja predictiva

Para el monitoreo de la temperatura a diferentes procesos y porcentajes se define parámetros en base a normativas internacionales los cuales nos ayudan a tener datos más exactos que beneficiaran en el análisis.

3.3.1 Área de medida

Mediante la aplicación de normativas internacionales como lo es ASTM E 1933-999, ASTM E 1934-99a (2018), ASTM E 1213-14 (2018) e información certificada sobre el uso de cámaras termográficas se definieron aspectos que son de suma relevancia al momento de capturar nuestras imágenes infrarrojas.

3.3.2 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. Por esta razón al no encontrarse bien enfocada la imagen el valor obtenido de temperatura no será fiable.

En el mercado existe una gran variedad de cámaras infrarrojas razón por la cual existen varios tipos de enfoque como son:

- Enfoque fijo
- Enfoque manual
- Enfoque automático
- Enfoque automático asistido mediante láser
- Captura de imágenes multifocal

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. Este tipo de enfoque es más utilizado en la resolución de problemas a corta distancia como lo es inspección de sistemas eléctricos conexiones sueltas o deterioradas, fugas existentes en conductos de aire, rodamientos sobrecalentados.

3.3.3 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. Es necesario saber cómo interpretar la resolución de esta cámara, cada pixel detecta la

medición de temperatura aparente de un área en el objetivo, a mayor píxeles mayor resolución y eficiencia.

3.3.4 Campo de visión

La profundidad de campo que nos proporciona esta cámara es de 417:1 este aspecto es muy importante como la calidad y la resolución de la imagen debido a que el campo de visión (FOV) define el área que la cámara observa en un momento dado. Se determina por la combinación del tamaño del sensor, el lente y la distancia al objetivo.

3.3.5 Emisividad

La emisividad incorrecta de una muestra puede causar mediciones erróneas en la superficie, por este motivo se utiliza la normativa ASTM-E1933-99a- "Métodos de prueba estándar para Medición y compensación de la emisividad con radiómetros de imágenes infrarrojas". Los puntos a tener en cuenta son:

- A medida que disminuye la emisividad de una muestra, su reflectancia aumenta.
- Para materiales con emisividades inferiores a 0,5, las mediciones radiométricas de temperatura y las mediciones de emisividad pueden tener una alta probabilidad de error.
- Calibrar la emisividad del radiómetro de imágenes infrarrojas, con una computadora que permite al termógrafo infrarrojo ingresar temperaturas reflejadas y valores de emisividad.
- Un medio natural que no se encuentre 10°C por encima o por debajo de la temperatura ambiente
- Visualizar la muestra y dividirla por secciones de área más pequeñas, direccionar el radiómetro de imágenes infrarrojas hacia el lugar que se va a medir.

Tabla 8

Emisividad Típica de superficies

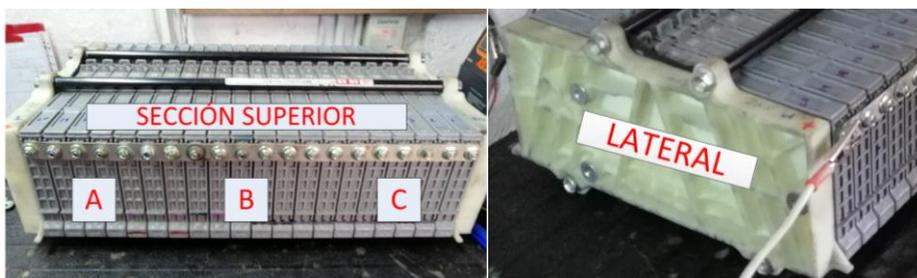
Superficie	Valor	Superficie	Valor
Aluminio pulido	0,05	Grava	0,95
Cobre Pulido	0,02	Tejido	0,95
Acero Inoxidable	0,1	Cemento	0,95
Cobre (oxidado)	0,68	Barro	0,95
Madera	0,95	Cerámica	0,95
Goma	0,95	Amianto	0,98
Plástico	0,95	Agua	0,98
Papel	0,95	Piel Humana	1

Nota. La tabla indica los valores de emisividad de algunos materiales

Una vez definido los parámetros necesarios en la aplicación de la técnica infrarroja predictiva y utilización correcta de normativas ASTM se procede a delimitar las secciones en las cuales se tomará los valores de temperatura en el conjunto de baterías de alta tensión

Figura 23

Secciones de medida



Nota. La imagen indica las secciones en las que fue dividida el conjunto de baterías para la aplicación de la técnica infrarroja predictiva.

3.4 Modelo de Copetti y Chenlo

Mediante la aplicación de este modelo matemático se pretende determinar la capacidad instantánea de la batería, misma que depende de la corriente y la temperatura.

Es indispensable recordar que el Soc. Se establece como la relación entre la energía que una batería puede recibir y la capacidad que esta dispone en cada momento. Por esa razón cuando el valor del SOC es igual a 1 nos indica que el sistema ya no puede recibir más energía, mientras si se dispone de un SOC cuyo valor es cero se entiende que la batería ya no dispone de energía en su interior para a su vez proporcionar al sistema.

Para la aplicación de este modelo matemático a continuación se muestra la ecuación matemática y los parámetros que establece este modelo.

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

Donde

$C(t)$: Capacidad instantánea

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

C_{coef} - A_{cap} - B_{cap} : Son parámetros del modelo.

α - β : 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.

ΔT : Es la variación de temperatura respecto a la de referencia 25°C.

n: es el número de horas

Tabla 9*Parámetros del modelo de Copetti y Chenlo*

Parámetro	Valor
C_{t_coef}	0,57
α_c	0,0018°C ⁻¹
β_c	0,0036°C ⁻²
Acap	3
Bcap	3,5

Nota. La tabla indica los valores propios del modelo matemático de Copetti y Chenlo

CAPÍTULO IV

SECCIÓN DE PRUEBAS Y RESULTADOS

4 Pruebas

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos en el protocolo de pruebas termográfico, para el análisis del comportamiento de las celdas que conforman una batería de alta tensión sometidas a procesos de carga y descarga.

4.1 Procedimientos iniciales

Para empezar el análisis se procede a medir el voltaje existente en cada celda que conforma la batería HV.

Tabla 10

Valores iniciales de intensidad en cada una de las celdas a ser analizadas

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

Nota. La tabla exterioriza los valores iniciales de voltaje a los que se encuentran las 20 celdas que formarán parte del estudio termográfico.

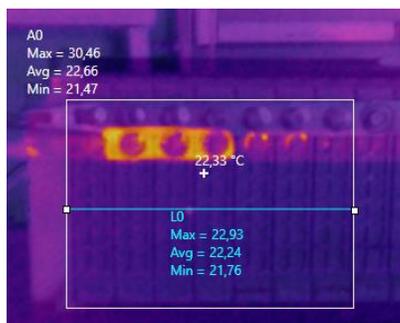
4.2 Descarga en paralelo hasta el 30 % de su tensión nominal (D1)

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.

4.2.1 Proceso de descarga sección A (D1 - 90%)

Figura 24

Análisis térmico sección A (D1 - 90%)

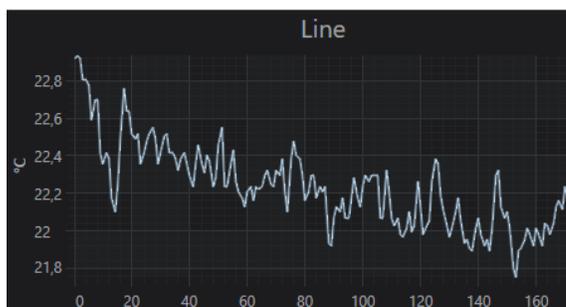


Nota. Esta figura indica la temperatura promedio existente en la sección A.

Como se observa la sección A tiene 22,33°C, este valor se midió una vez que las celdas alcanzaron el 90 % de su tensión nominal.

Figura 25

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



Nota. La gráfica indica la variación de temperatura que existe a lo largo de la recta L0.

Como se puede observar en la gráfica lineal la variación de temperatura existente entre las celdas 14 – 20 corresponde a 1°C aproximadamente, también se aprecia que las celdas con mayor temperatura son la 20 y 19 mismas que cuentan con valores superiores a los 22,5°C.

4.2.2 Proceso de descarga sección B (D1 - 90%)

Figura 26

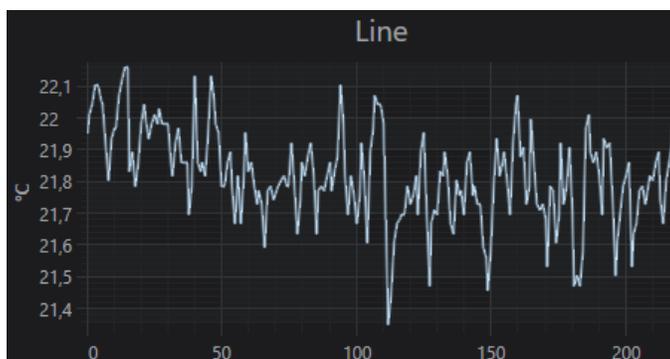
Análisis térmico sección B (D1 - 90%)



Nota. La figura muestra la temperatura promedio existente en la sección B una vez que las celdas llegaron al 90% de su tensión nominal, dicho valor corresponde a 21,88°C.

Figura 27

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



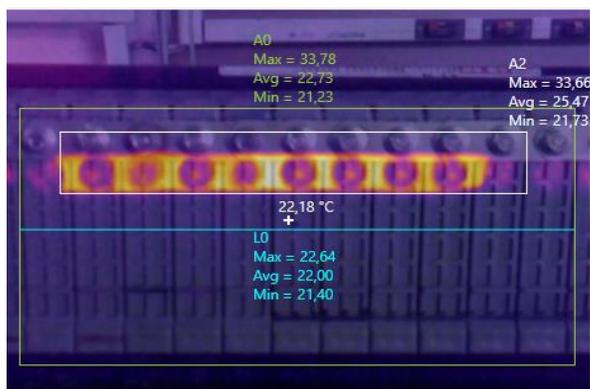
Nota. La gráfica exterioriza el comportamiento de temperatura a lo largo de la sección B.

Analizando la imagen termográfica y el diagrama lineal se aprecia claramente que a partir la celda 6 el valor de temperatura se mantiene constante, únicamente variando en la número 4 con un valor superior a 22°C.

4.2.3 Proceso de descarga sección C (D1 - 90%)

Figura 28

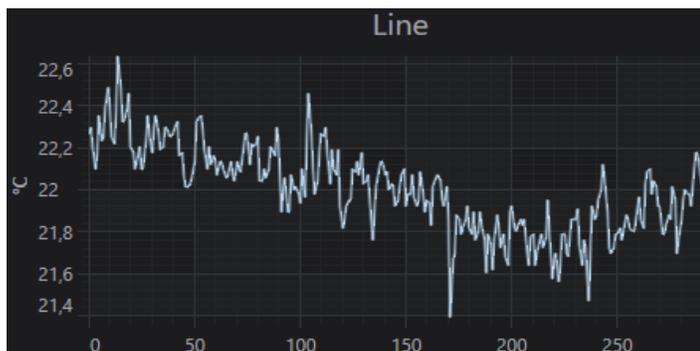
Análisis térmico sección C (D1 - 90%)



Nota. La figura revela la temperatura media existente en la sección C una vez que las celdas alcanzaron el 90% de su tensión nominal, dicho valor corresponde a 22.18°C

Figura 29

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



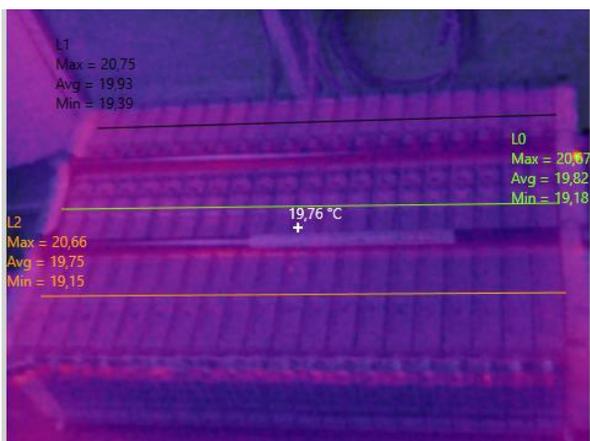
Nota. La gráfica indica el comportamiento lineal de temperatura a lo largo de L0.

Analizando la gráfica se puede observar que se genera un descenso moderado de temperatura, sin embargo, también se observa que las celdas 6,7,9,11 tienen valores superiores a los 22°C.

4.2.4 Proceso de descarga sección superior (D1 - 90%)

Figura 30

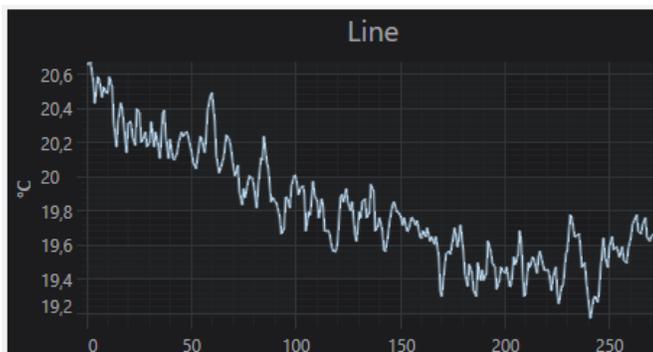
Análisis térmico sección superior (D1 - 90%)



Nota. La figura denota que la temperatura promedio existente en la sección superior una vez que las celdas alcanzaron el 90% de su tensión nominal, corresponde a 19.76°C.

Figura 31

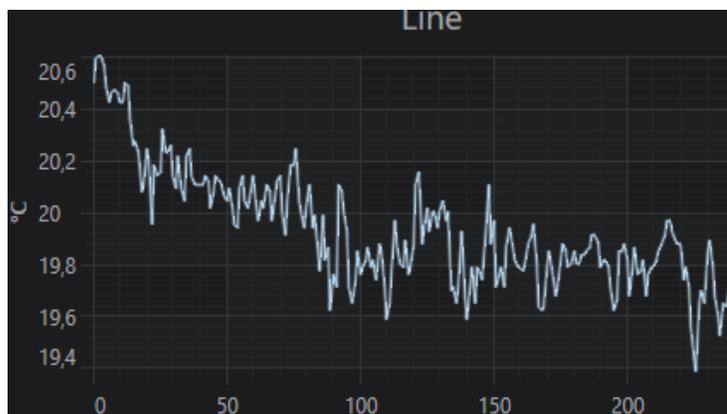
Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L0)



Nota. La gráfica revela la variación de temperatura que tiene L0 desde la celda 20-1, siendo las celdas 20, 16 y 14 aquellas que irradian mayor temperatura.

Figura 32

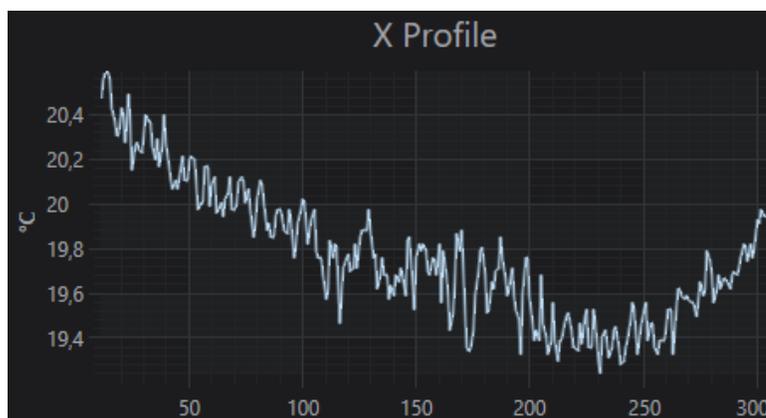
Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L1)



Nota. La gráfica indica la variación de temperatura que tiene L1 desde la celda 20-1 la temperatura máxima es de 20.75 °C en la celda 20 y 19,39 3 °C en la celda 3.

Figura 33

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L2)

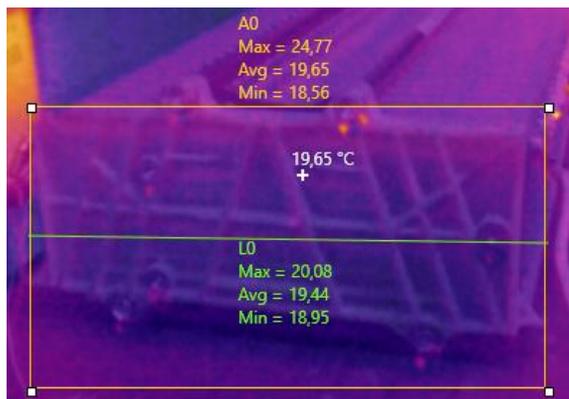


Nota. La gráfica enseña la variación de temperatura que posee la recta L2 desde la celda 20-1, se observa que los valores de temperatura son casi estables entre la celda 13 - 7.

4.2.5 Proceso de descarga sección Lateral (D1 - 90%)

Figura 34

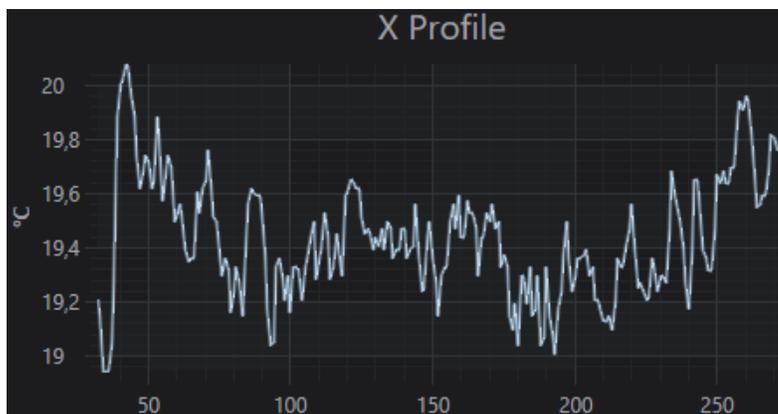
Análisis térmico sección lateral (D1 - 90%)



Nota. Esta figura muestra la temperatura promedio existente en la sección Lateral una vez que las celdas alcanzaron el 90% de su tensión nominal, el valor corresponde a 19,65°C.

Figura 35

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L0)



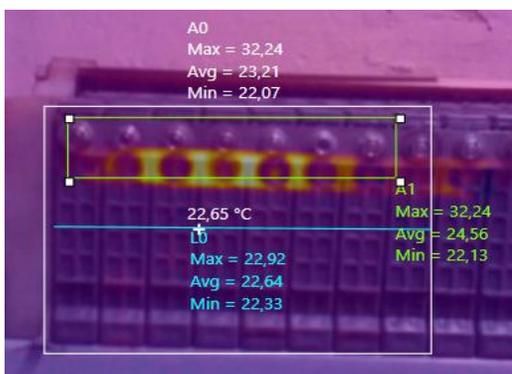
Nota. La gráfica indica la variación térmica que tiene L0 a lo largo de la sección lateral, la temperatura promedio dentro de esta sección corresponde a 19,44°C.

Si se observa el gráfico de representación lineal se puede determinar que los extremos de la sección lateral son los lugares donde más se concentra el calor.

4.2.6 Proceso de descarga sección A (D1 - 30%)

Figura 36

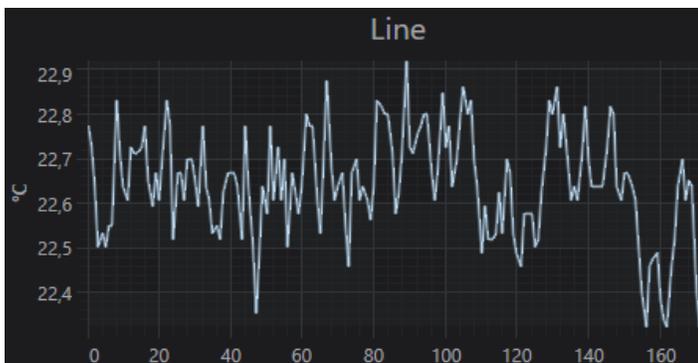
Análisis térmico sección A (D1 - 30%)



Nota. La figura presenta la temperatura existente en la sección A una vez que las celdas alcanzaron el 90% de su tensión nominal.

Figura 37

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



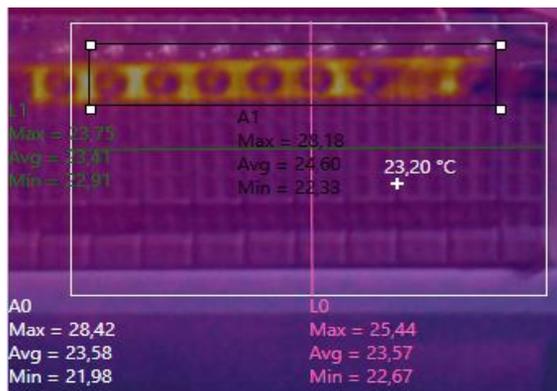
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura que tiene L0 a lo largo del eje X.

Como se puede apreciar en las gráficas la celda que más sufre los efectos de la temperatura es la celda 14-15 teniendo una temperatura promedio de 22,56°C, en referencia las demás celdas estos valores oscilan entre los 22 grados centígrados.

4.2.7 Proceso de descarga sección B (D1 - 30%)

Figura 38

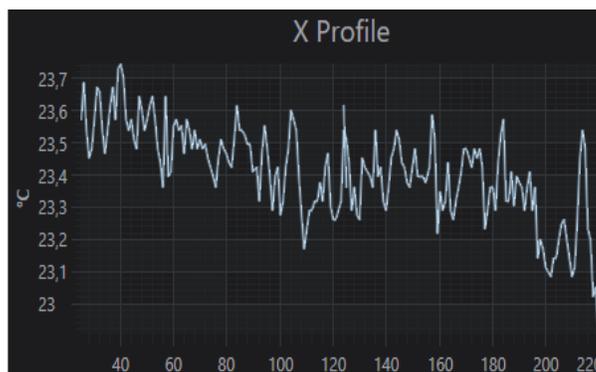
Análisis térmico sección B (D1 - 30%)



Nota. La figura representa la temperatura existente en la sección B una vez que las celdas alcanzaron el 30% de su tensión nominal.

Figura 39

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X Y

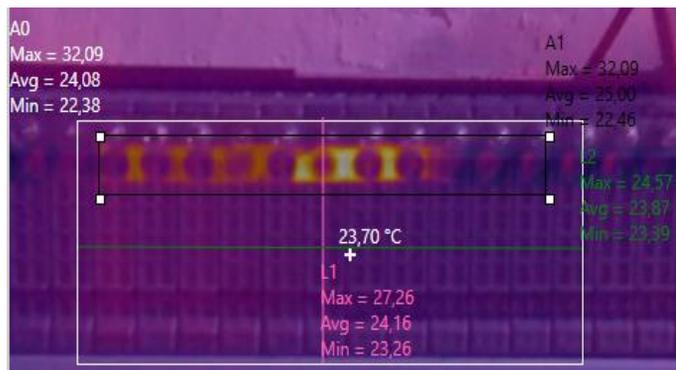


Nota. La gráfica indica la variación de temperatura que tiene L1 a lo largo de la sección B, como se puede apreciar la celda que mayor temperatura irradia corresponde al número 8 con una temperatura de 23,75°C.

4.2.8 Proceso de descarga sección C (D1 - 30%)

Figura 40

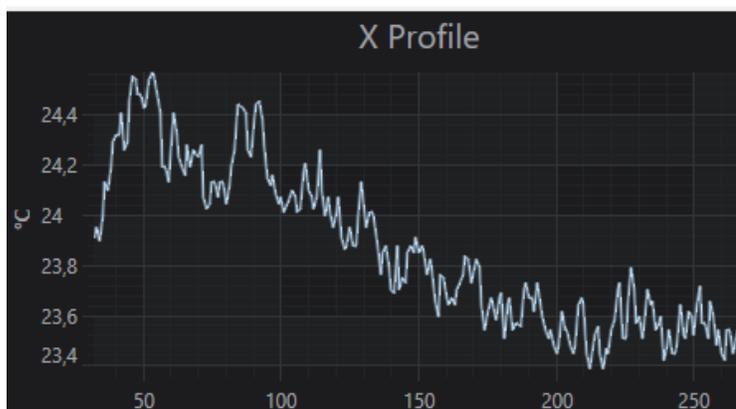
Análisis térmico sección C (D1 - 30%)



Nota. La figura muestra el valor térmico existente en la sección C una vez que las celdas alcanzaron el 30% de su tensión nominal, la temperatura promedio en esta sección corresponde a 23,70 °C.

Figura 41

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X Y

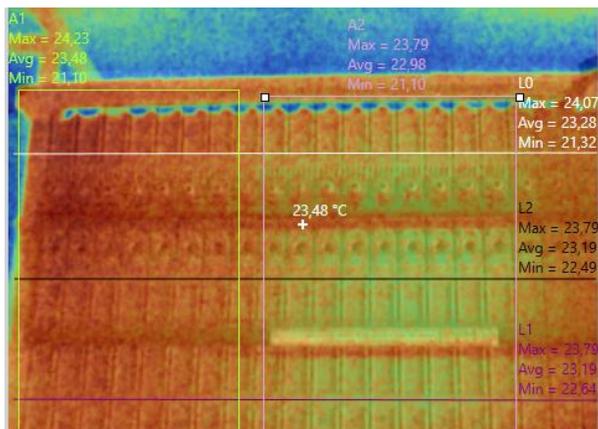


Nota. La gráfica muestra la variación de temperatura que tiene L1 a lo largo de la sección C, teniendo como punto de partida las celdas con mayor temperatura como lo es la celda 16 y 14, la temperatura máxima alcanzada a lo largo de esta sección corresponde a 24,57°.

4.2.9 Proceso de descarga sección Superior (D1 - 30%)

Figura 42

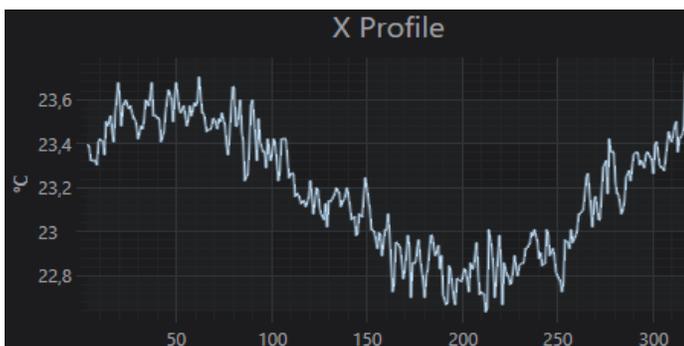
Análisis térmico sección superior (D1 - 30%)



Nota. La figura revela la temperatura existente en la sección superior una vez que las celdas alcanzaron el 30% de su tensión nominal. Para esta gráfica se sacó el valor promedio de las celdas 20-14 como lo revela la imagen termográfica son las celdas que tuvieron mayor elevación de temperatura.

Figura 43

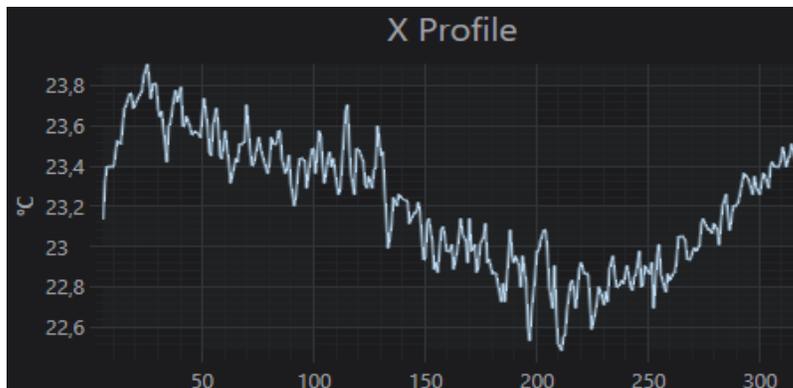
Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L2)



Nota. La gráfica indica la variación de temperatura que tiene L2 a lo largo de la sección superior. L2 representa el comportamiento térmico en la zona central de esta sección, la temperatura máxima alcanza los 23,79 °C.

Figura 44

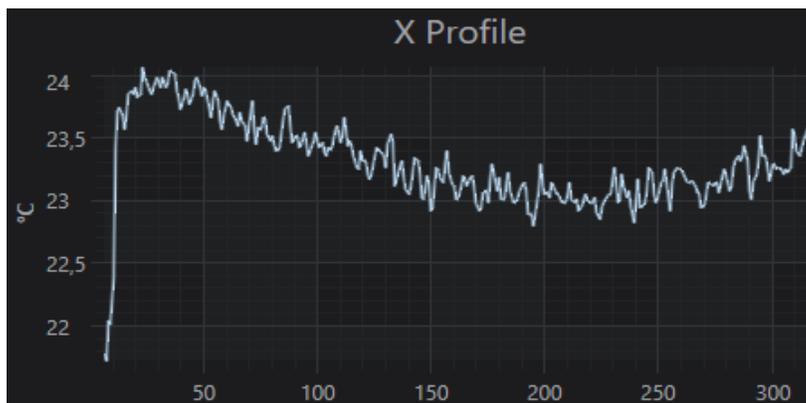
Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L1)



Nota. La gráfica muestra la variación de temperatura que tiene L1 a lo largo de la sección superior. De igual manera esta línea fue trazada en la parte delantera indicándonos que la temperatura máxima alcanzó los 23.79°C.

Figura 45

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L0)



Nota. Este gráfico nos indica la variación de temperatura que tiene L0 a lo largo de la sección superior. La línea L0 representa los valores presentes en la parte posterior de nuestra sección analizada, los resultados evidencian que su comportamiento térmico es mucho más elevado teniendo una temperatura máxima de 24,07°C.

4.2.10 Proceso de descarga sección Lateral (D1 - 30%)

Figura 46

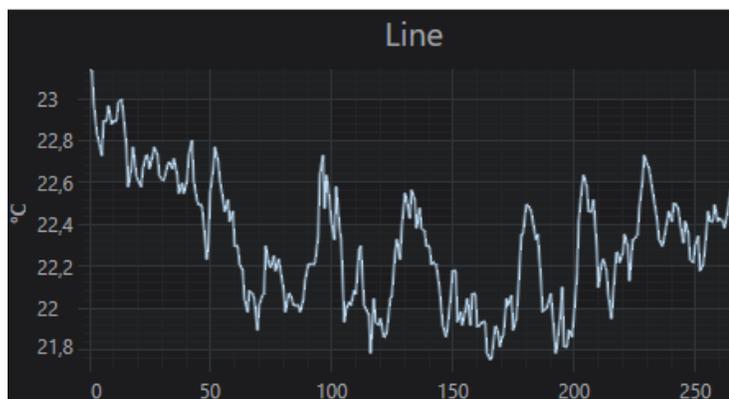
Análisis térmico sección Lateral (D1 - 30%)



Nota. Esta figura denota la temperatura existente en la sección lateral una vez que las celdas alcanzaron el 30% de su tensión nominal, llegando a generar un valor térmico promedio de 22,70°C.

Figura 47

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



Nota. La gráfica establece la variación de temperatura que tiene L0 a lo largo de la sección lateral. Como se aprecia el calor mayormente se concentra en los extremos.

4.2.11 Análisis al finalizar el proceso de descarga

Concluido el proceso de descarga e interpretadas las imágenes obtenidas con la cámara termográfica y la aplicación Fluke conecct se generó una tabla con los valores promedio de voltaje y temperatura en cada porcentaje de descarga establecido.

Tabla 11

Valores de temperatura y voltaje (D1)

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
Tiempo de Reposo 14h						
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

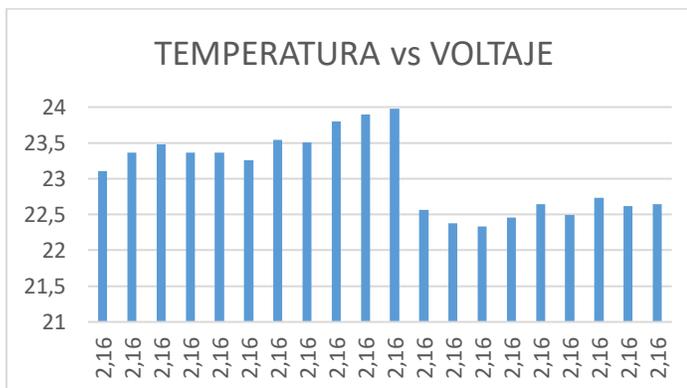
Nota. La tabla indica la temperatura general a la que se encuentra cada sección.

Tabla 12

Valores de temperatura y voltaje (D1-30%)

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

Nota. La tabla muestra los valores de temperatura y voltaje de cada celda.

Figura 48 Diagrama temperatura VS voltaje (D1)

Nota. El diagrama muestra los valores de temperatura en cada celda.

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.

4.3 Reposo tiempo de estabilización

Concluido el proceso de descarga las celdas se mantuvieron en reposo por un tiempo de 10 minutos, con la finalidad de estabilizar los valores de voltaje y monitorear la temperatura en cada sección y poder determinar el valor real de cada celda.

Tabla 13

Valores de voltaje en el tiempo de reposo (R1)

TIEMPO DE REPOSO 10 MINUTOS			
CELDA	V	CELDA	V
1	3,04	11	3,04
2	3,04	12	3,04
3	3,04	13	3,04
4	3,04	14	3,04
5	3,04	15	3,04
6	3,04	16	3,04

CELDA	V	CELDA	V
7	3,04	17	3,04
8	3,04	18	3,04
9	3,04	19	3,04
10	3,04	20	3,04

Nota. La tabla expone los valores de voltaje a los que se encuentran las 20 celdas después del tiempo de reposo.

Tabla 14

Valores de temperatura en el tiempo de reposo (TR1)

Temperatura de las celdas en reposo	
Temperatura en A	23,6
Temperatura en B	24
Temperatura en C	23,1
Parte superior	23,1
Parte lateral	22,6

Nota. La tabla nos indica los valores de temperatura a los que se encuentran las 20 celdas después del tiempo de reposo.

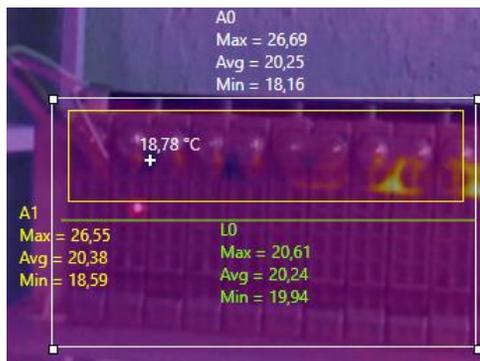
4.4 Carga hasta el 120% de su tensión nominal (CR1)

Para este proceso se realizó una precarga de restauración, la corriente administrada es de 0,5 A misma que fue aplicada durante 15 minutos, tiempo en que las celdas demoraron para alcanzar el 100% de su tensión nominal. Posteriormente se aplica una carga de 1,60 A para llegar al 120% cuyo valor corresponde a 8,64V.

4.4.1 Proceso de precarga sección A (PC - 45%)

Figura 49

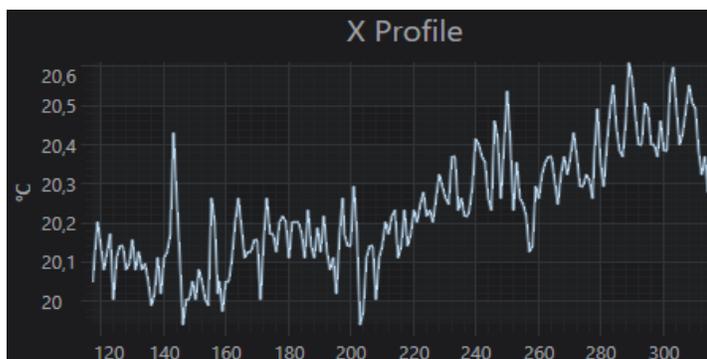
Análisis térmico sección A (PC – 45%)



Nota. La figura revela la temperatura existente en la sección A una vez que las celdas alcanzan el 45% de su tensión nominal, existiendo una temperatura general 18,70°C.

Figura 50

Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45%



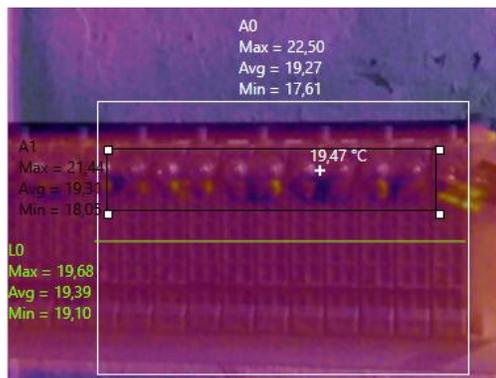
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura que tiene la recta L0 a lo largo de la sección A.

Se puede interpretar que las celdas se encuentran aproximadamente a la misma temperatura ya que existe apenas una variación de 0,6°C esta variación es más evidente en la celda 9 cuya temperatura alcanza los 20,6°C.

4.4.2 Proceso de precarga sección B (PC - 45%)

Figura 51

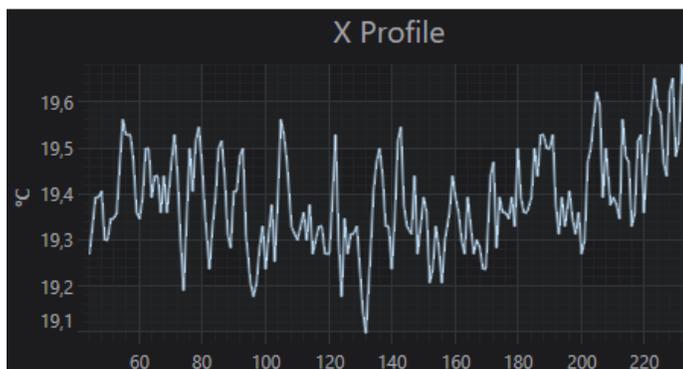
Análisis térmico sección B (PC – 45%)



Nota. La figura denota la temperatura existente en la sección B una vez que las celdas se encuentran al 45% de su tensión nominal, con un valor promedio de 19,47°C.

Figura 52

Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45%



Nota. La gráfica indica la variación de temperatura que tiene la recta L0 a lo largo de la sección B.

El cambio de temperatura en esta sección es muy bajo con una variante de 0,5°C, la celda 20 dispone de 20,61°C

4.4.3 Proceso de precarga sección C (PC - 45%)

Figura 53

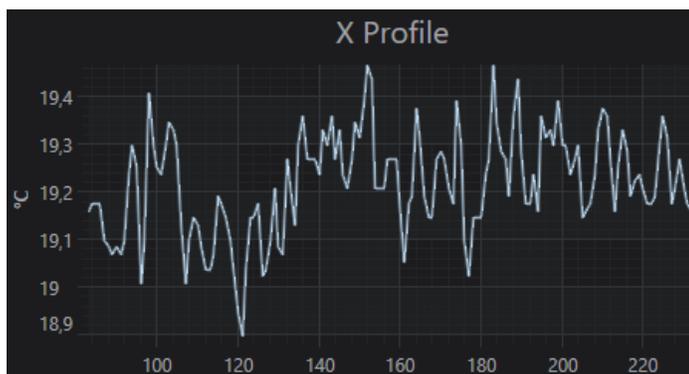
Análisis térmico sección C (PC - 45%)



Nota. La figura indica la temperatura existente en la sección C una vez que las celdas se encuentran al 45% de su tensión nominal, con un valor promedio de 19,85°C.

Figura 54

Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45%



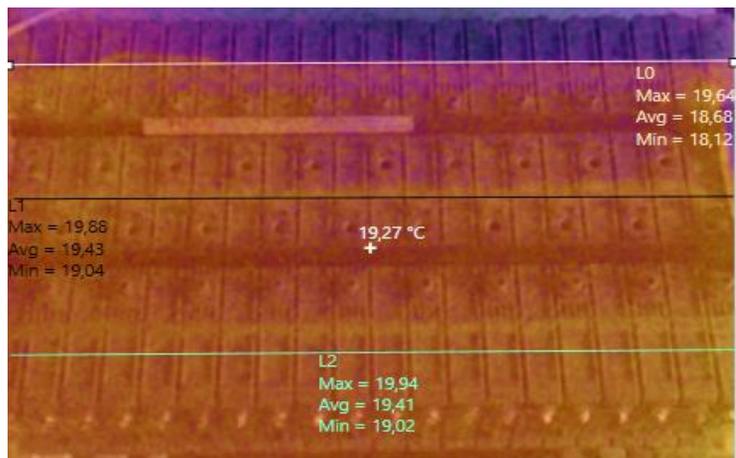
Nota. La gráfica muestra la variación de temperatura que se encuentra en la recta L0 a lo largo de la sección A.

Este diagrama permite apreciar que el calor mayormente se concentra en las celdas 7-10-11-14 con temperaturas superiores a 19,30°C

4.4.4 Proceso de carga sección Superior (PC - 45%)

Figura 55

Análisis térmico sección Superior (PC - 45%)



Nota. La figura indica la temperatura existente en la sección superior una vez que las celdas se encuentran al 45% de su tensión nominal, con una temperatura promedio de 19,27°C.

Figura 56

Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45% sección superior (lo-l2)



Nota. La gráfica nos indica la variación de temperatura que existe entre las rectas L0 y L2, conociendo que L2 se encuentra en la parte delantera de la figura y L0 en la parte del fondo.

Figura 57

Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45% sección superior(L0-L1)



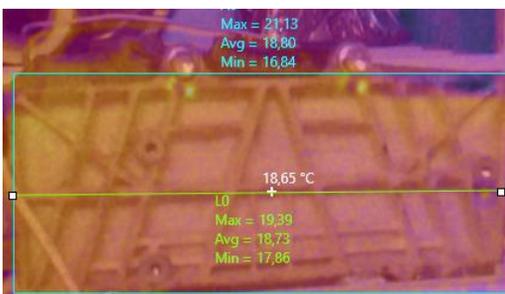
Nota. La gráfica nos indica la variación de temperatura que existe entre las rectas L0 y L1.

Las figuras 56 y 57 nos permiten apreciar dos gráficas simultáneamente, las dos son analizadas a partir de L0 misma que representa el sector con menor temperatura mientras que L1Y L2 son lugares donde la temperatura aumenta hasta 1.6°C en ambos casos. Gracias a la imagen termográfica y las gráficas se determina que las celdas con mayor temperatura son 1-9,16 y 20

4.4.5 Proceso de carga sección Lateral (CR1 - 45%)

Figura 58

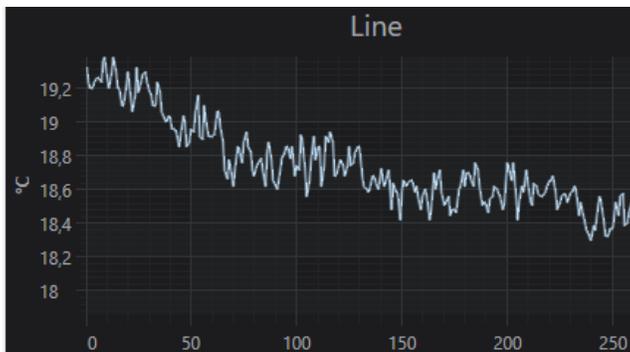
Análisis térmico al 45% sección Lateral (PC – 45%)



Nota. La figura indica la temperatura existente en la sección lateral una vez que las celdas se encuentran al 45% de su tensión nominal, con promedio de 18,65°C.

Figura 59

Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 45% Lateral



Nota. La gráfica nos indica la variación de temperatura existente en la recta L0.

Analizando la imagen termográfica y la gráfica representada por L0, se determina que la mayor concentración de temperatura se aprecia en los extremos siendo el lado izquierdo en la sección superior donde se aprecia el foco más cálido.

4.4.6 Proceso de carga sección A (CR1 - 100%)

Figura 60

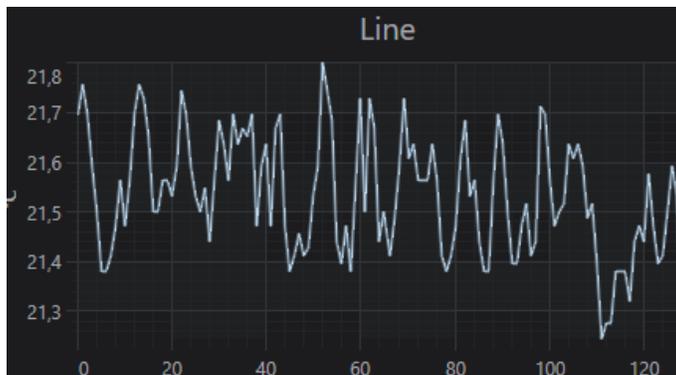
Análisis térmico al 100% sección A (PC – 45%)



Nota. La figura nos indica la temperatura existente en la sección A una vez que las celdas se encuentran al 100% de su tensión nominal, con una temperatura promedio de 23,08°C.

Figura 61

Curva del comportamiento termográfico en el eje X al 100% Lateral



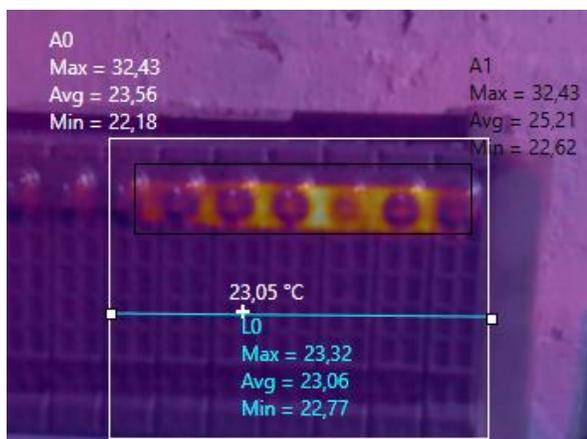
Nota. La gráfica nos indica la variación de temperatura existente en la recta L0.

El cambio de temperatura en esta sección es mínimo debido a que la gráfica nos enseña valores muy similares, con una diferencia de 0,55°C, la celda con mayor temperatura es la número tres la cual alcanza una temperatura de 21,8°C.

4.4.7 Proceso de carga sección B (CR1 - 100%)

Figura 62

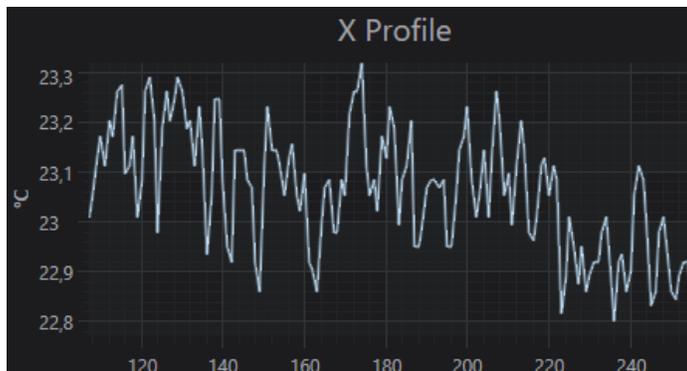
Análisis térmico al 100% sección B (PC – 45%)



Nota. La figura nos indica la temperatura existente en la sección B una vez que las celdas se encuentran al 100% de su tensión nominal, con una temperatura promedio de 23,05°C.

Figura 63

Curva del comportamiento termográfico en el eje X sección B



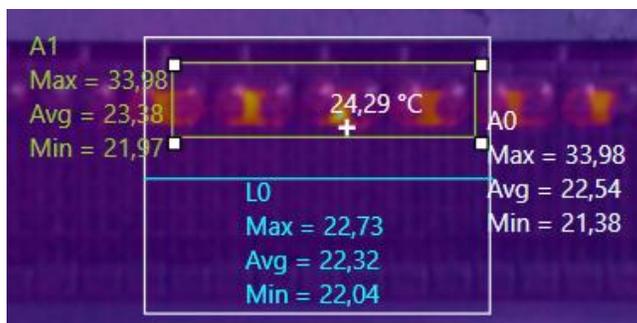
Nota. La gráfica nos indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección B.

Analizando el diagrama se puede establecer que la celda con mayor temperatura es la 16 misma que posee 23,5°C. Así mismo las diferencias de temperatura en la sección analizada corresponde a 0,5°C.

4.4.8 Proceso de carga sección C (CR1 - 100%)

Figura 64

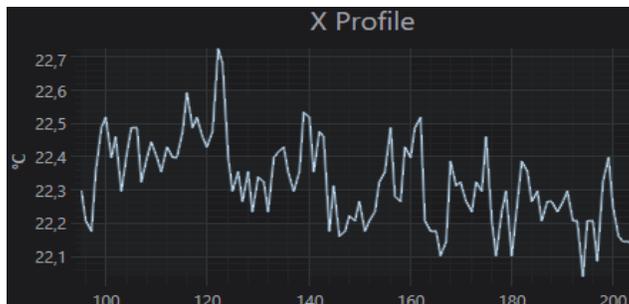
Análisis térmico al 100% sección C (PC – 45%)



Nota. La figura nos indica la temperatura existente en la sección C una vez que las celdas se encuentran al 100% de su tensión nominal, con una temperatura promedio de 24,29°C}

Figura 65

Curva del comportamiento termográfico en el eje X sección C



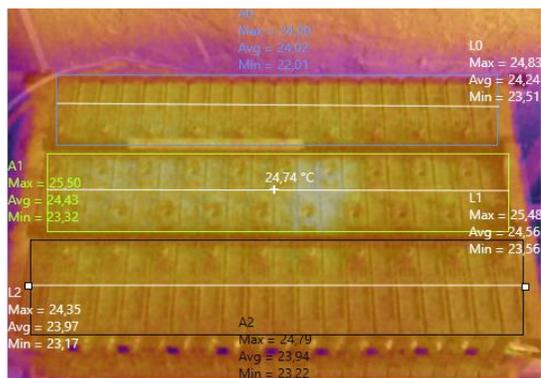
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección C.

Observando la gráfica se puede establecer que la mayoría de celdas analizadas poseen una temperatura de 22,4°C. Sin embargo, también se observa el valor de 22,73°C, dicho valor corresponde a la celda número 9, la diferencia de temperatura en la recta L0 es de 0,8°C

4.4.9 Proceso de carga sección superior (CR1 - 100%)

Figura 66

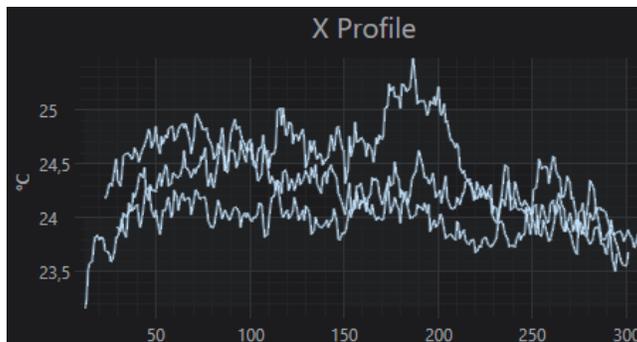
Análisis térmico al 100% sección C (PC – 45%)



Nota. La figura nos indica la temperatura existente en la sección superior una vez que las celdas se encuentran al 100% de su tensión nominal, con una temperatura promedio de 24,74°C

Figura 67

Curva del comportamiento termográfico en el eje X superior.



Nota. La gráfica muestra la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección C.

Para el análisis de esta sección se divide la parte superior en tres fragmentos a las cuales se denominó A0, A1, A2 generando de esta manera un estudio más delimitado, interpretando la imagen termográfica y el diagrama se obtiene que el fragmento más caliente se encuentra en A1 con una temperatura máxima de 25,50°C la misma que corresponde a la celda número 12.

4.4.10 Proceso de precarga sección Lateral (PCR1 - 100%)

Figura 68

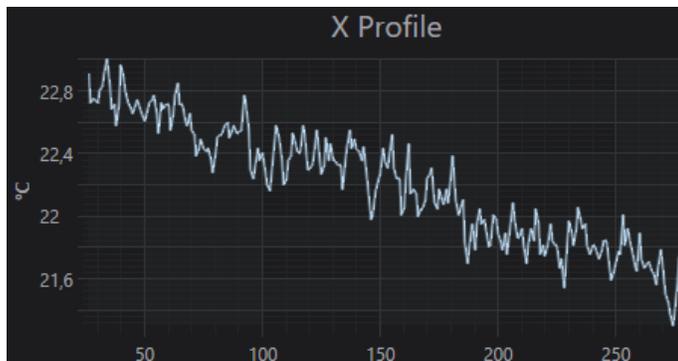
Análisis térmico a la sección Lateral (PC – 100%)



Nota. La figura revela la temperatura existente en la sección lateral una vez que las celdas se encuentran al 100% de su tensión nominal, con un valor promedio de 22,24°C.

Figura 69

Curva del comportamiento termográfico en el eje X lateral



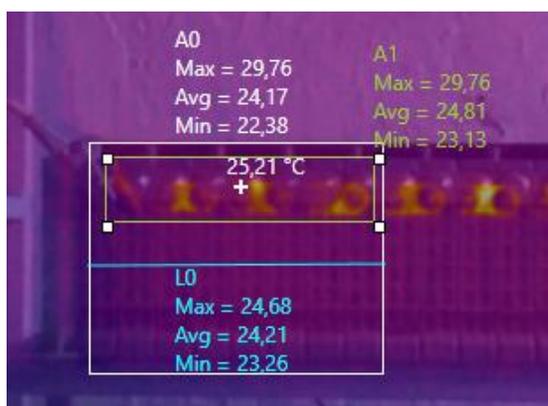
Nota. La gráfica muestra la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección lateral.

Observando la imagen térmica se observa que el lugar más caliente está ubicado en la sección superior del lado izquierdo, posteriormente la temperatura va descendiendo hasta llegar a una temperatura de 21°C.

4.4.11 Proceso de carga sección A (CR1 - 120%)

Figura 70

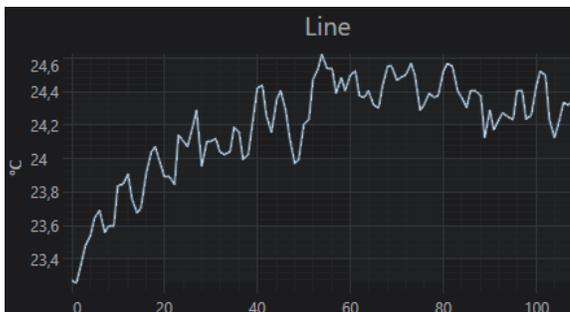
Análisis térmico sección A1 (CR1 - 120%)



Nota. La figura indica la temperatura existente en la sección A una vez que las celdas se encuentran al 120% de su tensión nominal, con un valor promedio de 25,21°C.

Figura 71

Curva del comportamiento termográfico en el eje X A



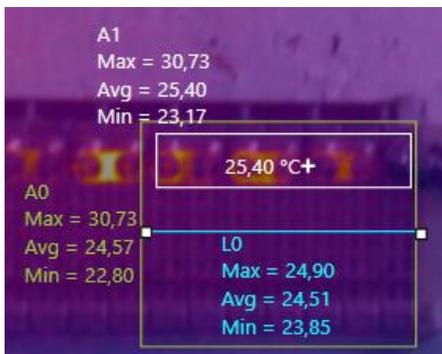
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección A.

Analizando las imágenes se establece que las celdas 6 y 7 son las que se hallan con mayor temperatura a diferencia del número de las primeras cuyas temperaturas se encuentran desde los 23,4°C, así mismo se observa en la gráfica como los valores de temperatura van aumentando paulatinamente llegando a producirse una diferencia de 1,6°C.

4.4.12 Proceso de carga sección B (CR1 - 120%)

Figura 72

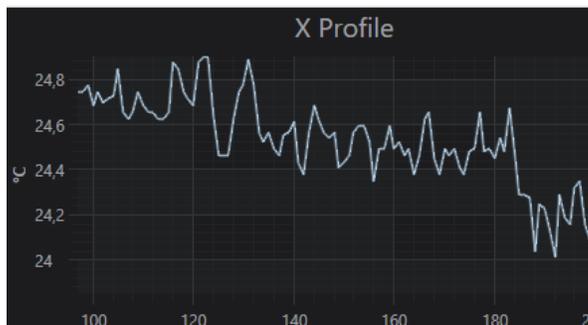
Análisis térmico sección B (CR1- 120%)



Nota. La figura revela la temperatura existente en la sección B una vez que las celdas se encuentran al 120% de su tensión nominal, con un valor promedio de 24,57°C.

Figura 73

Curva del comportamiento termográfico en el eje X B



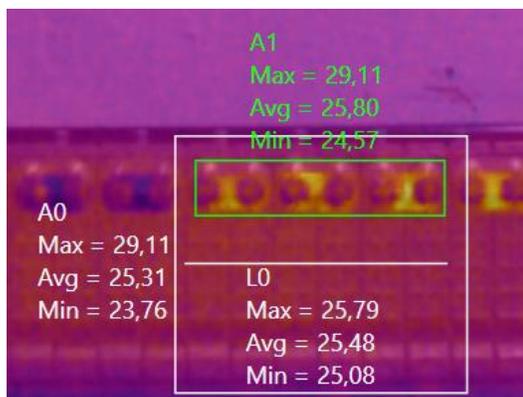
Nota. La gráfica precisa la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección B.

Analizando valores y la gráfica los resultados nos revelan que existe un descenso progresivo de temperatura desde la celda 13, siendo la número 14 la más notoria llegando alcanzar una temperatura de 24.9°C

4.4.13 Proceso de carga sección C (CR1 - 120%)

Figura 74

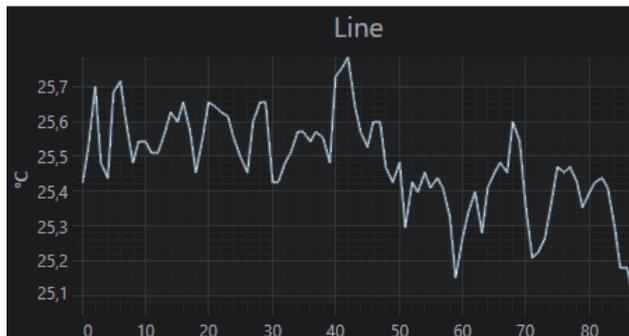
Análisis térmico al 120% sección C



Nota. La figura indica la temperatura existente en la sección B una vez que las celdas se encuentran al 120% de su tensión nominal, con un valor promedio de 25,48°C.

Figura 75

Curva del comportamiento termográfico en el eje X C



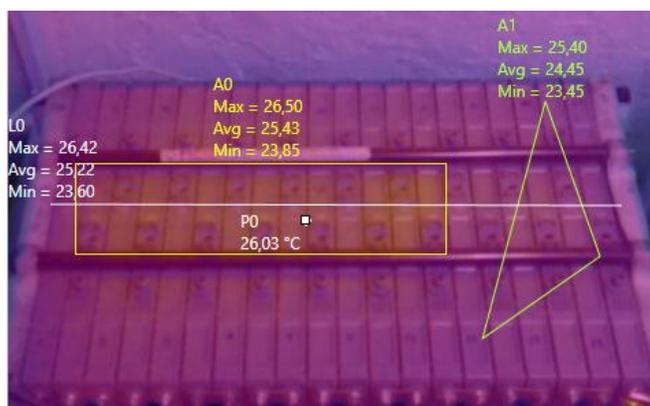
Nota. La gráfica muestra la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección C.

Observando los valores y la gráfica se puede determinar que la celda con un mayor foco de calor es la número 10 misma que posee una temperatura de 25,79°C, la variación de esta medida es 0,71°C a lo largo de toda la recta en el eje X.

4.4.14 Proceso de carga sección superior (CR1 - 120%)

Figura 76

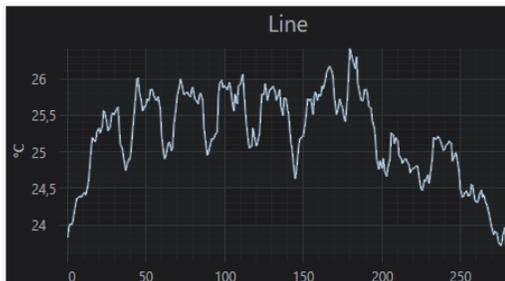
Análisis térmico sección superior (CR1-120%)



Nota. La figura manifiesta la temperatura promedio existente en la sección superior una vez que las celdas se encuentran al 120% de su tensión nominal, el valor estimado es de 26,03°C.

Figura 77

Curva del comportamiento termográfico en el eje X Superior



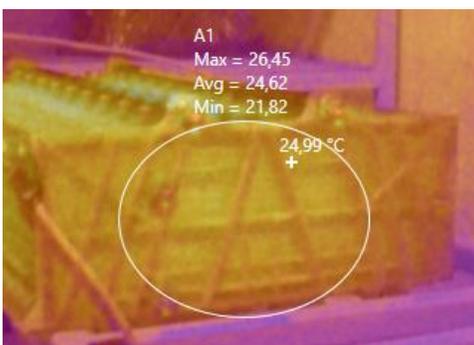
Nota. La gráfica define la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección superior.

Analizando la imagen termográfica se entiende que la sección más caliente es la del lado izquierdo hasta la altura de la celda 14, alcanzando una temperatura máxima de 26,50°C, las celdas con menor temperatura son la 1 y la 20, de igual manera en la A1 se observa focos de calor que alcanzan los 25°C estos valores se ven representados en la celda 17 y 16.

4.4.15 Proceso de carga sección lateral (CR1 - 120%)

Figura 78

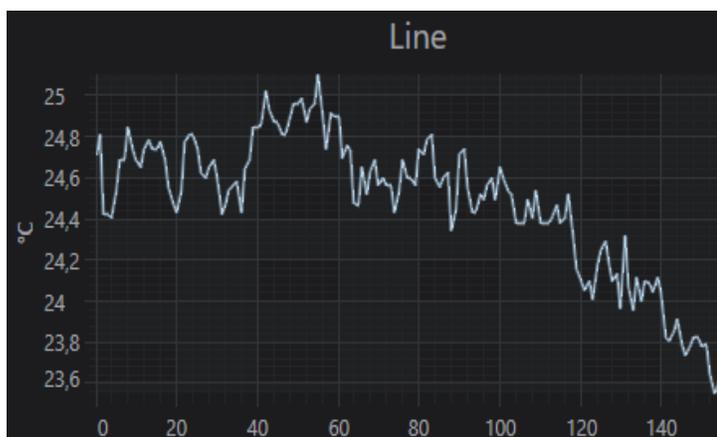
Análisis térmico sección Lateral (CR1 – 120%)



Nota. La figura nos indica la temperatura promedio existente en la sección lateral una vez que las celdas se encuentran al 120% de su tensión nominal, el valor estimado es de 24,99°C.

Figura 79

Curva del comportamiento termográfico en el eje X Lateral



Nota. La gráfica nos indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección superior.

Analizando la imagen termográfica se entiende que el lugar más cálido se encuentra en la parte central de sección estudiada, alcanzando una temperatura máxima de 26,45°C, de igual manera se observa como la temperatura va descendiendo conforme la línea se acerca a la derecha de la imagen.

4.4.16 Análisis al finalizar el proceso de carga

Concluido el proceso de precarga, carga e interpretadas las imágenes obtenidas con la cámara termográfica y la aplicación del software Fluke Connect se generó una tabla con los valores promedio de voltaje y temperatura en cada porcentaje de carga establecido, estos valores se reflejan a continuación con la ayuda de una de un gráfico comparativo de barras.

Tabla 15

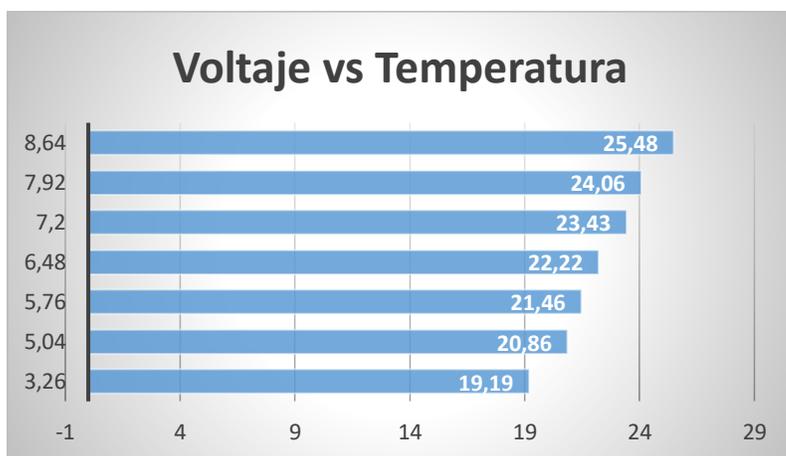
Valores promedio de voltaje y tempera (CR1)

PORCENTAJE	VOLTAJE	TEMPERATURA
45%	3,26 V	19,19
70%	5,04 V	20,86
80%	5,76 V	21,46
90%	6,48 V	22,22
100%	7,2 V	23,43
110%	7,92 V	24,06
120%	8,64 V	25,48

Nota. La tabla representa los valores promedio al terminar el primer ciclo de carga.

Figura 80

Diagrama de barras Voltaje vs Temperatura (CR1)



Nota. En el diagrama de columna muestra el comportamiento de voltaje y temperatura.

Analizando el diagrama se puede apreciar que el aumento de voltaje es proporcional al incremento de temperatura, hay que tener en cuenta que para este proceso se realizó precarga y carga donde también se varió la corriente pasando de 0,5A a 1,6 A.

Con la finalidad de obtener datos más exactos en cuanto a valores de temperatura y voltaje se analizó celda por celda estos parámetros, mismos que se comparan con la ayuda de un diagrama de columnas.

Tabla 16

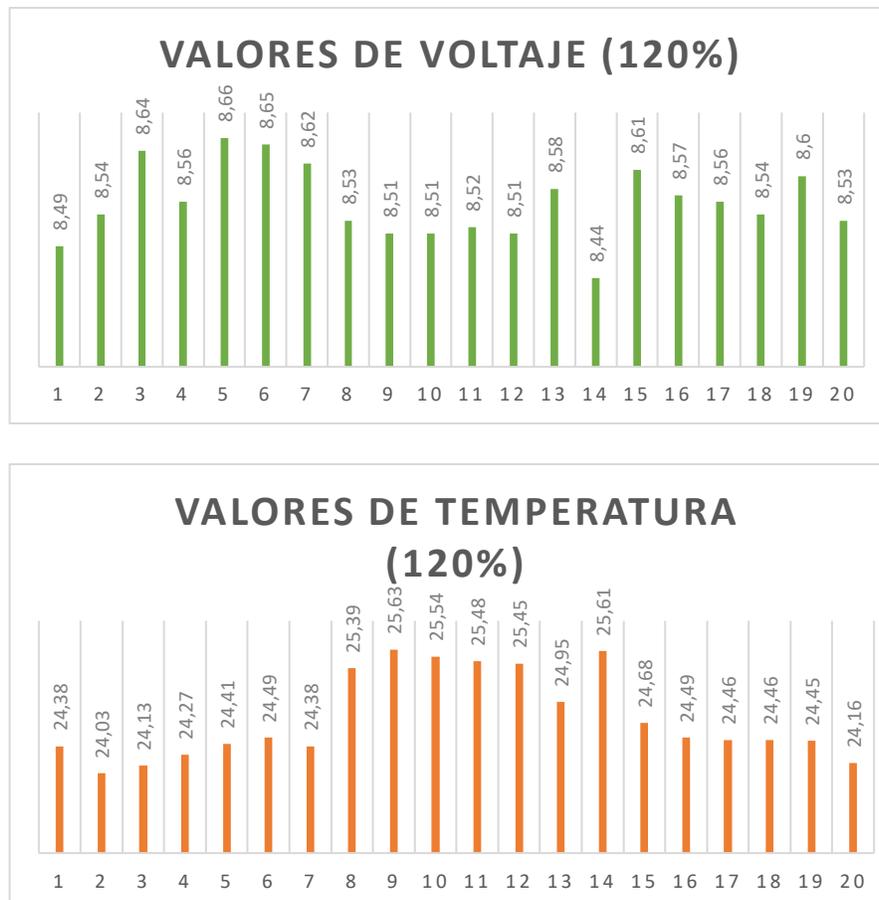
Valores de voltaje al culminar el proceso de carga

VALORES DE CARGA (120%)		
CELDA	VOLTAJE (V)	TEMPERATURA °C
1	8,49	24,38
2	8,54	24,03
3	8,64	24,13
4	8,56	24,27
5	8,66	24,41
6	8,65	24,49
7	8,62	24,38
8	8,53	25,39
9	8,51	25,63
10	8,51	25,54
11	8,52	25,48
12	8,51	25,45
13	8,58	24,95
14	8,44	25,61
15	8,61	24,68
16	8,57	24,49
17	8,56	24,46
18	8,54	24,46
19	8,6	24,45
20	8,53	24,16

Nota. La tabla muestra los valores de voltaje y temperatura una vez que las celdas alcanzaron el 120% de su tensión nominal.

Figura 81

Diagrama de barras Voltaje vs Temperatura (CR1-120%)



Nota. En el diagrama de columna muestra el comportamiento de voltaje y temperatura por partes separadas cuando las celdas alcanzaron el 120% de su tensión nominal.

Una vez culminada la primera fase de carga y realizado el monitoreo termográfico a diferentes porcentajes y en diferentes secciones se puede concluir que las siguientes celdas 1-8-9-10-11-14-16 son las que más tienden a elevar su temperatura por consiguiente en la tabla anterior se muestra los valores de voltaje con la finalidad de poder evaluar qué sucede con este valor en las celdas anteriormente descritas.

Los valores de intensidad de estas celdas en comparación con el resto, tienen una ligera variación de como máximo 0,21V, sin embargo, es necesario esperar el tiempo de estabilización para conocer con mayor precisión su voltaje final.

Realizando un breve resumen del proceso de precarga y carga se observó incrementaron de manera muy rápida de manera que en tan solo 20 minutos alcanzaron el 100% de su tensión nominal, mientras que para llegar al 120 por ciento su incremento fue muy tardado necesitando 185 minutos para alcanzar este valor.

Tabla 17

Valores de temperatura al momento de realizar la precarga y la carga completa.

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

Nota. La tabla representa la temperatura general a la que se encuentra la sección que se está analizando cuando se efectúan los procesos de precarga y carga.

4.5 Tiempo de estabilización

Con el objeto de determinar cuál es la variación de intensidad y temperatura, una vez culminado el proceso de carga se procede a dejar las celdas en estado de reposo por un tiempo de 10 minutos.

Tabla 18

Valores de T, V en reposo, finalizado el proceso de precarga y carga

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

Nota. La tabla nos indica la variación de temperatura y voltaje que se presenta una vez que las celdas entraron en reposo por un tiempo de 10 minutos.

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.

4.6 Proceso de descarga (D2)

Para el siguiente proceso se utiliza 2,5 A como corriente de descarga, a continuación, se muestra los valores de intensidad por cada celda antes de proceder a descargar las celdas, el mencionado proceso dispuso de un tiempo de 90 minutos.

Tabla 19

Valores iniciales antes de iniciar (D2)

Celda	Voltaje (V)	Celda	Voltaje (V)
1	7,97	11	7,89
2	8,03	12	7,87
3	8,02	13	7,99
4	8,02	14	7,81
5	8,01	15	7,94
6	8,01	16	7,94
7	8,01	17	7,99
8	8,01	18	7,99
9	7,95	19	7,96
10	7,97	20	7,92

Nota. La tabla representa los valores de voltaje antes de iniciar la descarga

4.6.1 Proceso de descarga en la sección A (D2- 100%)

Figura 82

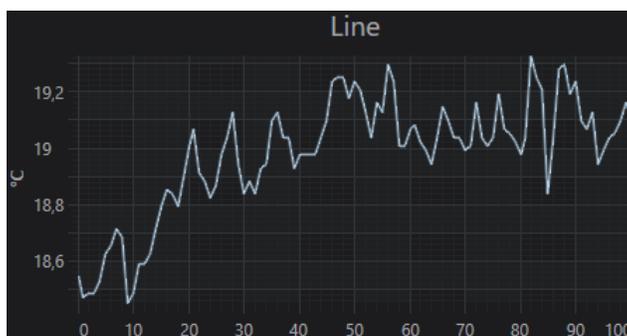
Análisis térmico sección A (D2-100%)



Nota. La figura indica la temperatura promedio existente en la sección A una vez que las celdas se encuentran al 100% de su tensión nominal, el valor estimado es de 19,18°C.

Figura 83

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



Nota. La gráfica muestra la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección A.

Examinando la curva de temperatura que se produce en la línea L0 se observa como esta va aumentando paulatinamente llegando a emitir una temperatura máxima de 19,33°C en la celda 4 y 6, de igual manera las celdas con menor temperatura 1 y la 2.

4.6.2 Proceso de descarga sección B (D2- 100%)

Figura 84

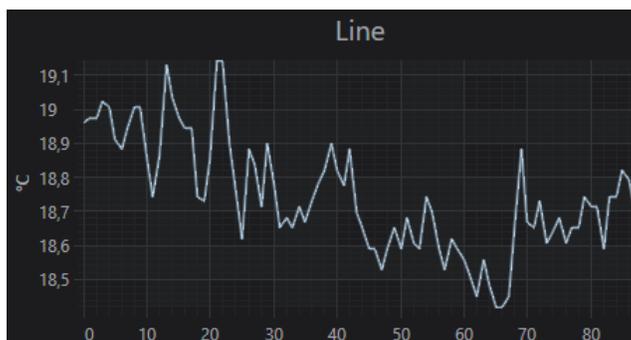
Análisis térmico sección B (D2- 100%)



Nota. La figura muestra la temperatura promedio existente en la sección B una vez que las celdas se encuentran al 100% de su tensión nominal, el valor estimado es de 18,68°C.

Figura 85

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección B.

Analizando la curva de temperatura que se produce en la línea L0 se observa como esta va disminuyendo paulatinamente, la celda con mayor concentración de calor es la número 16 llegando a emitir una temperatura máxima de 19,15°C, en cuanto al punto más frío la ubicación es en las celdas 18 y 20 con temperatura de 18,55°C.

4.6.3 Proceso de descarga sección C (100%)

Figura 86

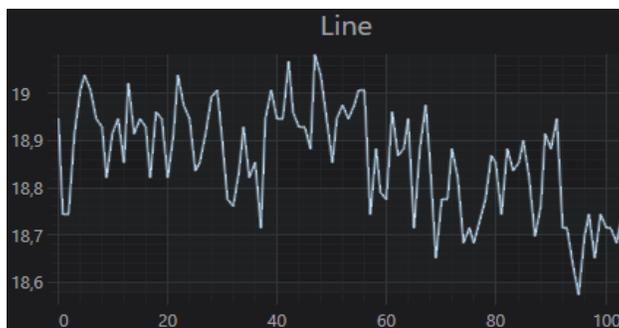
Análisis térmico al 100% sección C



Nota. La figura determina la temperatura promedio existente en la sección C una vez que las celdas se encuentran al 100% de su tensión nominal, el valor estimado es de 19,53°C.

Figura 87

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



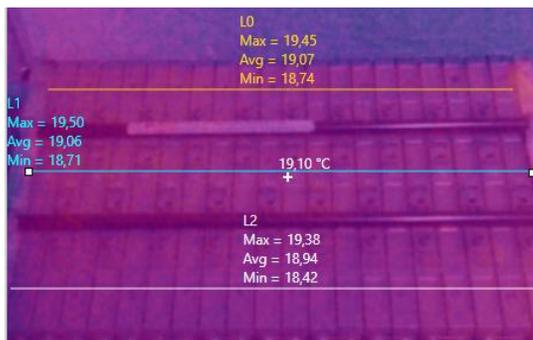
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección C.

Analizando la curva de temperatura que se produce en la línea L0 se observa como esta va disminuyendo paulatinamente, la celda con mayor concentración de calor es la número 16 llegando a emitir una temperatura máxima de 19,15°C, en cuanto al punto más frío este se localiza en las celdas 18 y 20 con temperatura de 18,55°C.

4.6.4 Proceso de descarga sección superior (D2- 100%)

Figura 88

Análisis térmico sección Superior (D2- 100%)



Nota. La figura revela la temperatura promedio existente en la sección superior una vez que las celdas se encuentran al 100% de su tensión nominal, el valor estimado es de 19,10°C

Figura 89

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X L1



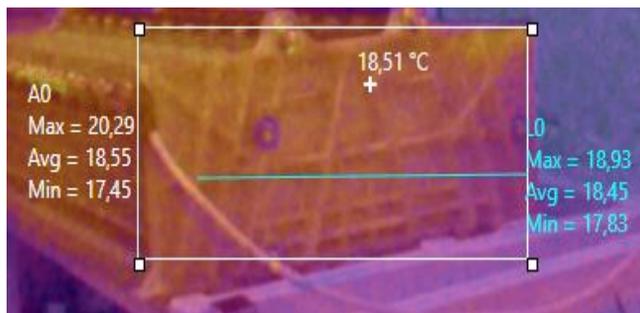
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección superior.

Analizando la curva de temperatura que se produce en la línea central L1 se determina que las celdas con un mayor foco de calor son 2,3,10 y 12 mismas que disponen de temperaturas superiores a los 19,3°C, las demás celdas oscilan con valores de 18,9°C y 19,2°C.

4.6.5 Proceso de descarga sección lateral (D2- 100%)

Figura 90

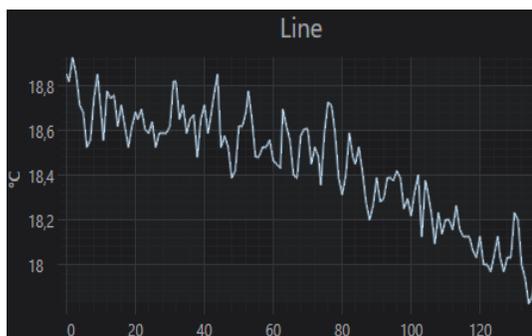
Análisis térmico sección Lateral (D2- 100%)



Nota. La figura muestra la temperatura promedio existente en la sección lateral una vez que las celdas se encuentran al 100% de su tensión nominal, el valor estimado es de 19,10°C.

Figura 91

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



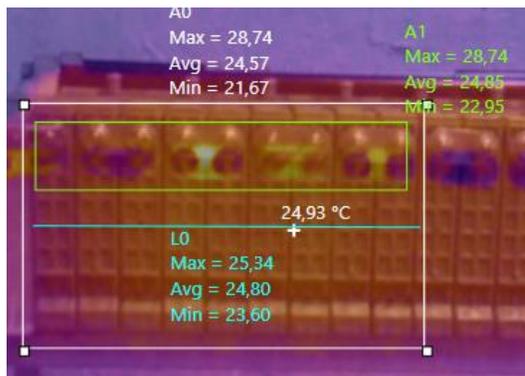
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección superior.

Analizando la imagen termográfica se puede observar que los focos de calor más notables se encuentran a lo largo de la parte superior de la sección lateral, en L0 se visualiza como la temperatura va disminuyendo paulatinamente de derecha a izquierda.

4.6.6 Proceso de descarga sección A (D2- 30%)

Figura 92

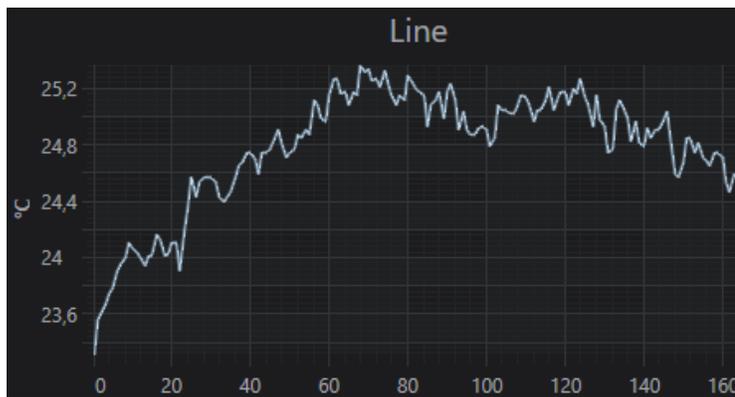
Análisis térmico sección A (D2- 30%)



Nota. La figura enseña la temperatura promedio existente en la sección A, una vez que las celdas se encuentran al 30% de su tensión nominal, el valor estimado es de 24,93°C.

Figura 93

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



Nota. La gráfica muestra la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección A.

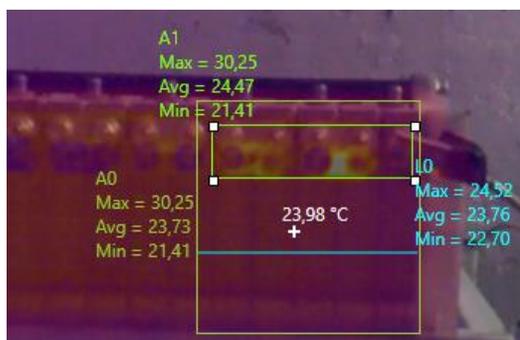
Analizando la imagen termográfica se puede determinar que a partir de la celda número 3 la temperatura se va incrementando notoriamente, por tal razón se observa en

la gráfica una temperatura superior a los 25°C misma que corresponde a las siguientes celdas 4,5, y 7.

4.6.7 Proceso de descarga sección B (D2- 30%)

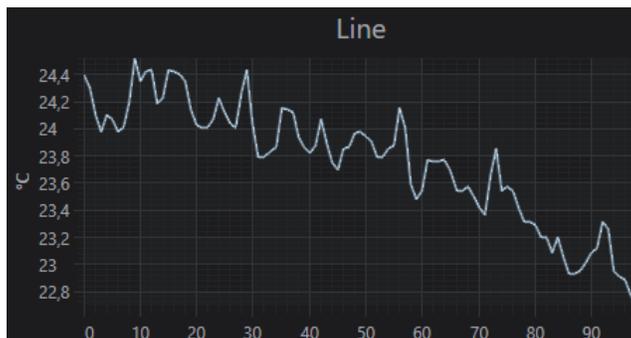
Figura 94

Análisis térmico sección B (D2- 30%)



Nota. La figura precisa la temperatura promedio existente en la sección B, una vez que las celdas se encuentran al 30% de su tensión nominal, el valor estimado es de 23,98°C.

Figura 95 Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



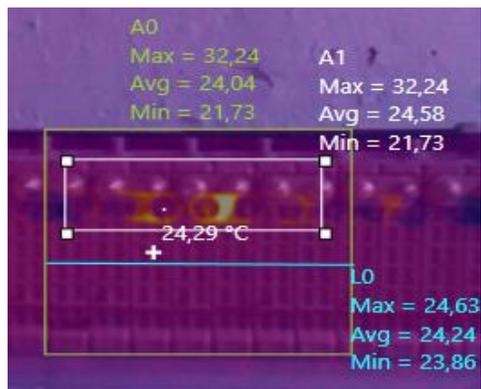
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección B.

Analizando la imagen termográfica se puede determinar que a partir de la celda 16 los valores de temperatura empiezan a descender desde los 24,9°C que corresponde a la celda 16 hasta llegar a la celda 20 cuyo valor es 22,95°C.

4.6.8 Proceso de descarga sección C (D2- 30%)

Figura 96

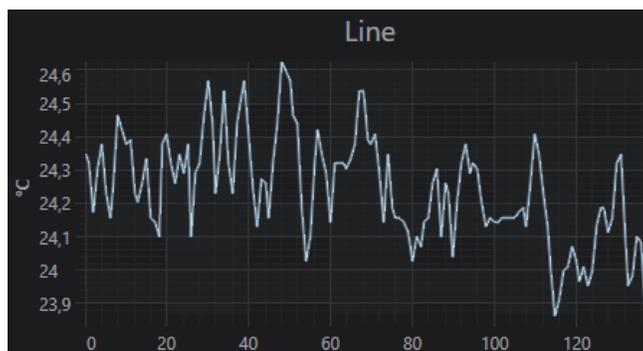
Análisis térmico sección C (D2- 30%)



Nota. La figura indica la temperatura promedio existente en la sección C, una vez que las celdas se encuentran al 30% de su tensión nominal, el valor estimado es de 24,29°C.

Figura 97

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



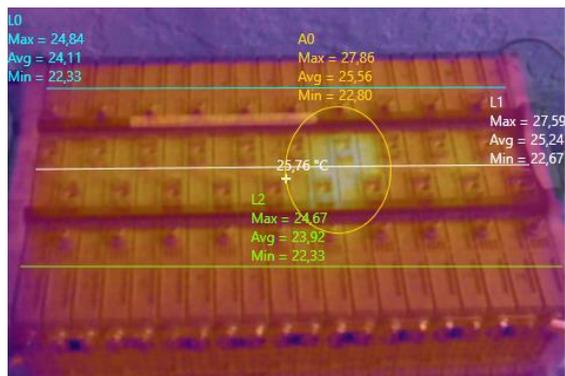
Nota. La gráfica expone la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección C.

Interpretando el diagrama se puede deducir que las celdas 10, 11 y 13 poseen temperaturas mayores a los 24,4°C sin embargo la diferencia de valores con las otras celdas es de apenas 0,4°C.

4.6.9 Proceso de descarga sección superior (D2- 30%)

Figura 98

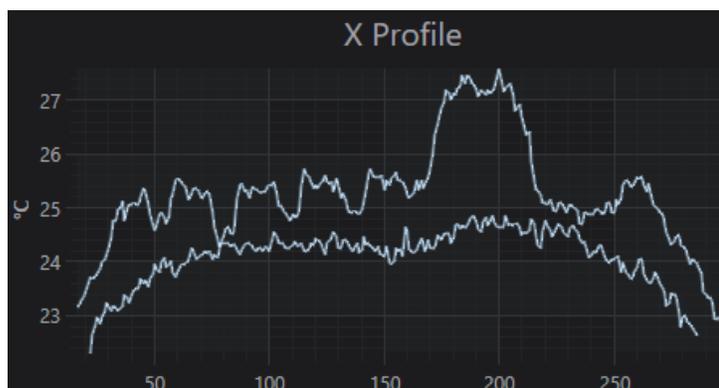
Análisis térmico sección superior (D2- 30%)



Nota. La figura muestra la temperatura promedio existente en la sección superior, una vez que las celdas se encuentran al 30% de su tensión nominal, el valor estimado es de 25,76°C.

Figura 99

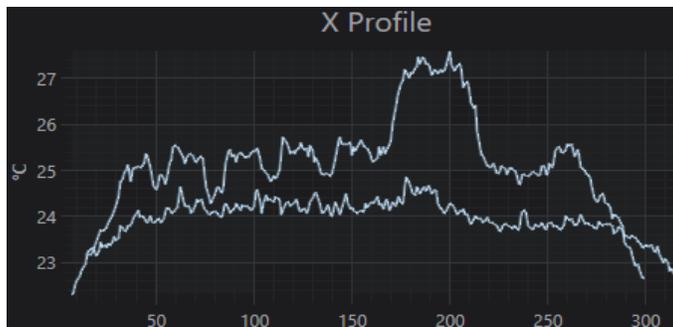
Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



Nota. La gráfica nos presenta la variación de temperatura existente en la recta L0 y L1 con respecto a la sección C.

Figura 100

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



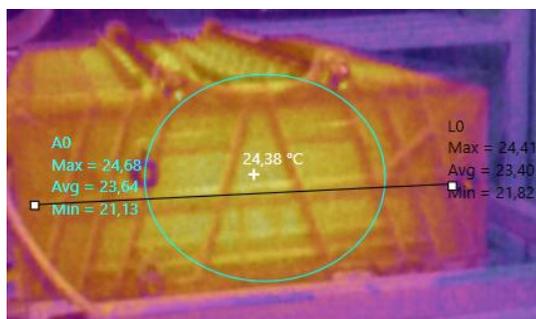
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L1 y L2 con respecto a la sección C.

Analizando la imagen termográfica se aprecia que en el centro de esta sección se encuentra el foco de calor más notorio representado por A0 cuya temperatura máxima es de 27,86°C, además se analiza el comportamiento térmico a lo largo de las líneas L0, L1, L2 dando como resultado que el mayor foco de calor se localiza en las celdas 14,13,12 y 11 con temperaturas superiores a 26°C.

4.6.10 Proceso de carga sección lateral (D2- 30%)

Figura 101

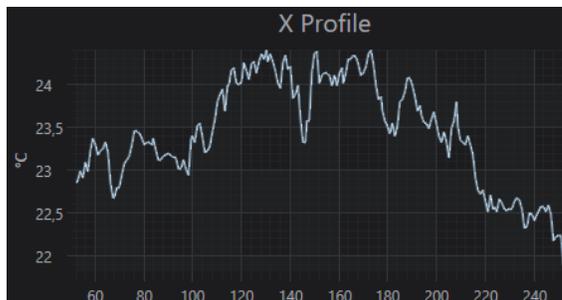
Análisis térmico sección superior (D2- 30%)



Nota. La figura nos indica la temperatura promedio existente en la sección lateral, una vez que las celdas se encuentran al 30% de su tensión nominal, el valor estimado es de 24,38°C.

Figura 102

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente L0 con respecto a C.

Interpretando la imagen termográfica se aprecia que en el centro de esta sección se encuentra el foco de calor más notorio representado por A0 cuya temperatura máxima es de 24,68°C, además se analiza el comportamiento térmico a lo largo de recta L0 la cual nos reafirma lo antes dicho ya que se aprecia en los extremos los puntos más fríos y en la parte media los puntos más cálidos.

4.6.11 Análisis al finalizar el proceso descarga

Concluido el proceso de descarga e interpretadas las imágenes obtenidas con la cámara termográfica se establece una tabla y gráficos de barras con los valores promedio de voltaje y temperatura en cada porcentaje de descarga establecido.

Tabla 20

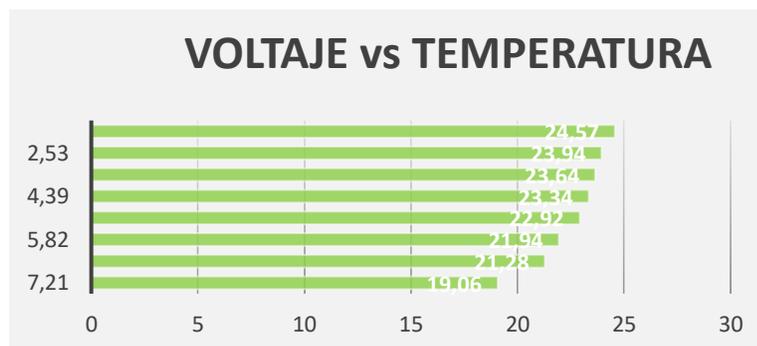
Valores de voltaje y temperatura al culminar el proceso de descarga

%	Voltaje (V)	Temperatura (°C)
100	7,21	19,06
90	6,55	21,28
80	5,82	21,94
70	5,11	22,92
60	4,39	23,34
50	3,63	23,64
40	2,53	23,94
30	2,08	24,57

Nota. La tabla representa los valores promedio al terminar el primer ciclo de carga.

Figura 103

Diagrama de barras voltaje vs temperatura (D2)



Nota. La gráfica compara los valores promedio al terminar el segundo ciclo de descarga.

Analizando el diagrama se puede apreciar como aumenta la temperatura cada vez que el voltaje va descendiendo.

Con la finalidad de obtener datos más exactos en cuanto a valores de temperatura y voltaje se analizó celda por celda estos parámetros, mismos que se comparan con la ayuda de un diagrama de columnas.

Tabla 21

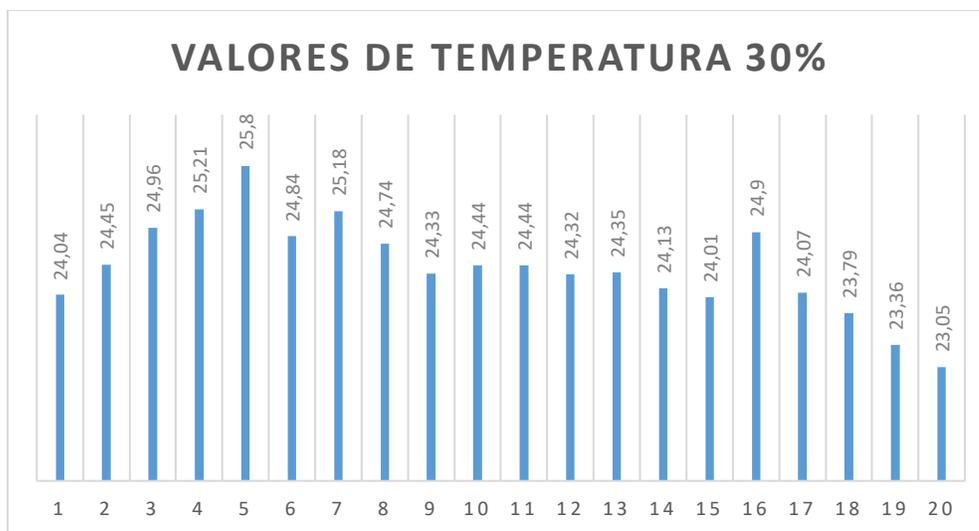
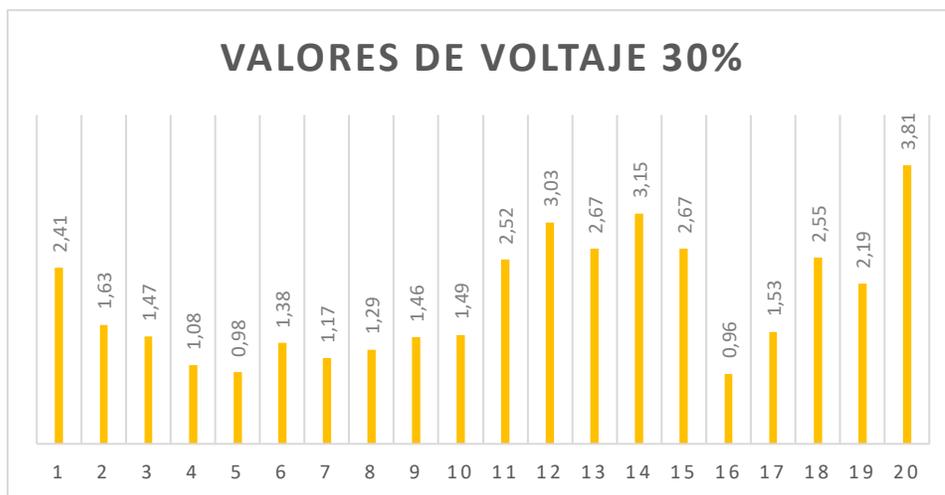
Valores de voltaje al 30%

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

Nota. esta tabla nos indica los valores de voltaje una vez que las celdas llegaron al 30% de su tensión nominal.

Figura 104

Diagramas de barras voltaje y temperatura (D2-30%)



Nota. En los diagramas de columna se observa el comportamiento del voltaje y temperatura por partes separadas cuando las celdas alcanzaron el 30% de su tensión nominal.

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, por consiguiente, en la tabla de arriba se muestra los valores de voltaje con la finalidad de poder evaluar si existe alguna influencia de la temperatura en voltaje de las celdas.

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.

Tabla 22

Valores de V y T en el segundo proceso de descarga

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

Nota. La tabla nos muestra los valores temperatura y voltaje en el proceso de descarga empleando una corriente de 2,5 A tomando como referencia los porcentajes de la tensión nominal de cada celda.

4.7 Tiempo de recuperación T2

Con el objeto de determinar cuál es la variación de intensidad y temperatura, una vez culminado el proceso de carga se procede a dejar las celdas en estado de reposo por un tiempo de 10 minutos.

Tabla 23

Valores de voltaje en el proceso de recuperación

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

Nota. La presente tabla nos muestra los valores de voltaje que se encuentran en cada una de las 20 celdas

Tabla 24

Valores de Temperatura en el proceso de recuperación

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

Nota. La presente tabla nos indica los valores de temperatura que se encuentran en cada una de las secciones que se está analizando

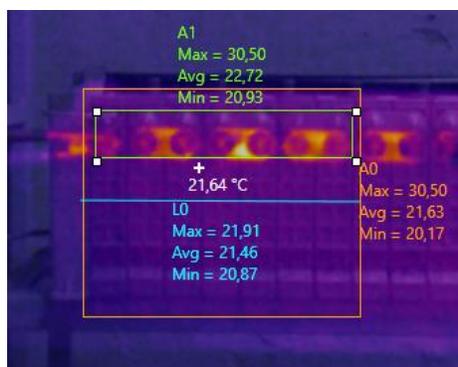
4.8 Carga final

Para el proceso de carga final se anuló la pre carga de restauración ya que no es necesario realizarla dos veces y las celdas se han encontrado en constante actividad, para este proceso se utilizó una corriente de 1,70 A durante un tiempo de 160 minutos.

4.8.1 Proceso de carga sección A (CR2- 33%)

Figura 105

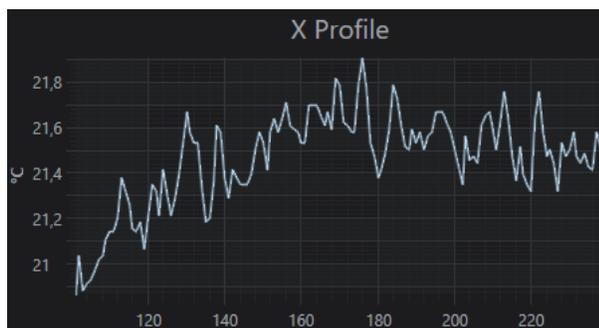
Análisis térmico sección A (CR2 - 33%)



Nota. La figura indica la temperatura promedio existente en la sección A una vez que las celdas se encuentran al 33% de su tensión nominal, el valor promedio es de 21,64°C.

Figura 106

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



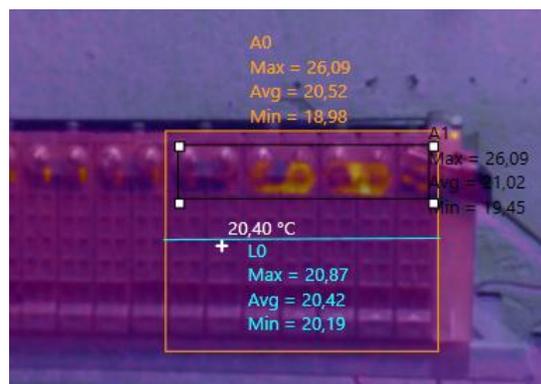
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección A.

Interpretando la imagen termográfica y la gráfica de tendencia que nos proporciona L0 se deduce que en esta sección la temperatura va aumentando progresivamente y la celda número 4 posee 21,91°C siendo este valor el más alto.

4.8.2 Proceso de carga sección B (CR2- 33%)

Figura 107

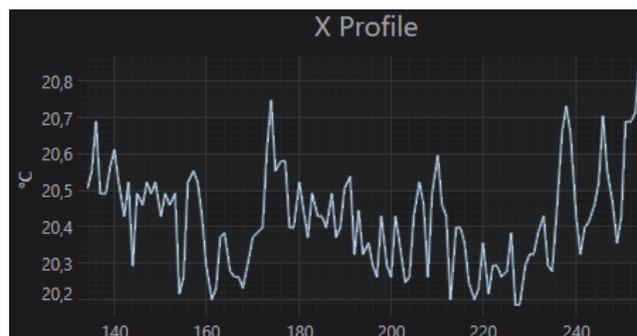
Análisis térmico sección B (CR2- 33%)



Nota. La figura muestra la temperatura promedio existente en la sección B una vez que las celdas se encuentran al 33% de su tensión nominal, el valor estimado es de 20,40°C.

Figura 108

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



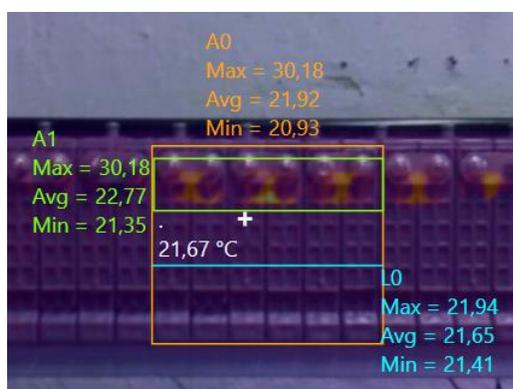
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección B.

Interpretando la imagen termográfica y la gráfica de tendencia que es proporcionada por L0 se deduce; la celda con mayor temperatura corresponde al número 20, cuyo valor se encuentra aproximadamente por 20.87°C siguiéndola muy cerca la celda 16 con un valor de 20,7°C.

4.8.3 Proceso de carga sección C (CR2- 33%)

Figura 109

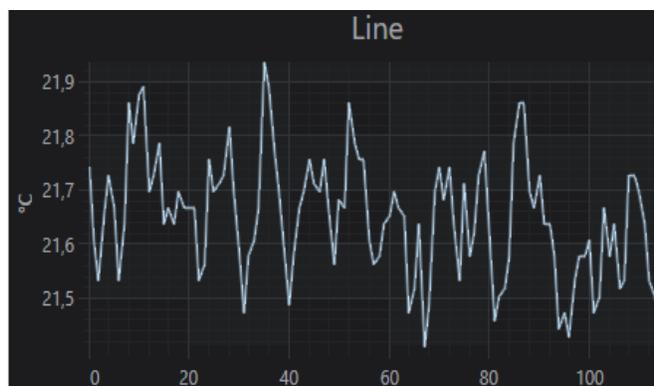
Análisis térmico sección C (CR2- 33%)



Nota. La figura revela la temperatura promedio existente en la sección C una vez que las celdas se encuentran al 33% de su tensión nominal, el valor estimado es de 21,67°C.

Figura 110

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



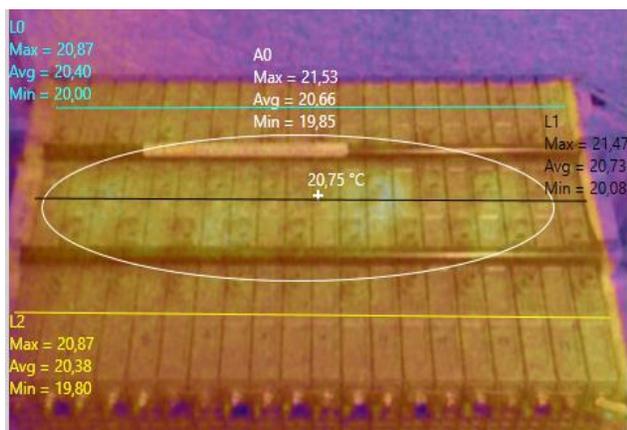
Nota. La gráfica nos indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección C.

El diagrama lineal nos representa la variación de temperatura desde la celda 8 hasta la 13, estimando un valor promedio de 21,65°C, mientras que la temperatura máxima se encuentra en la celda 8 y 10 con temperaturas que superan los 21,7°C.

4.8.4 Proceso de carga sección superior (CR2- 33%)

Figura 111

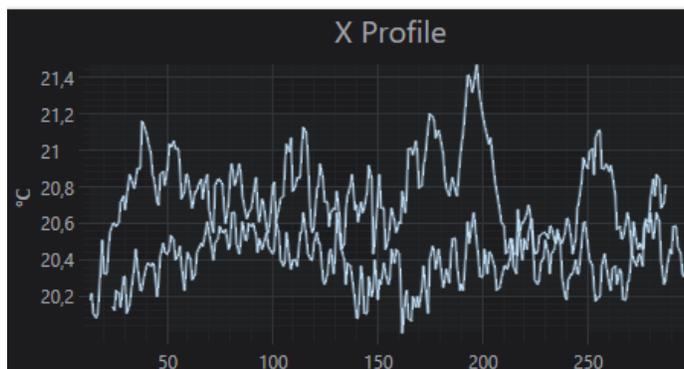
Análisis térmico sección A (CR2- 33%)



Nota. La figura muestra la temperatura promedio existente en la sección A una vez que las celdas se encuentran al 33% de su tensión nominal, el valor estimado es de 20,75°C.

Figura 112

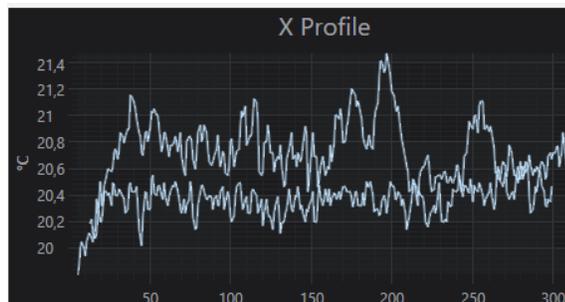
Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L0-L1)



Nota. La gráfica indica la variación de temperaturas existentes en las rectas L0 y L1 con respecto a la sección superior.

Figura 113

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X (L1-L2)



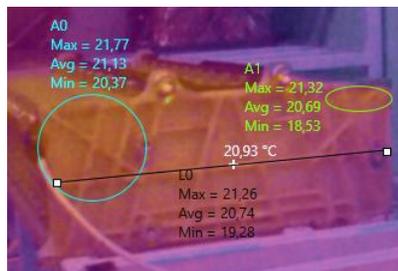
Nota. La gráfica nos indica la variación de temperaturas existentes en las rectas L0 y L1 con respecto a la sección superior.

Para analizar esta superficie se marcó en A0 los lugares más calientes sobre la sección superior, además para el diagrama lineal las rectas están representadas por L0, L1, L2. Por consiguiente, se obtuvo que el foco más caliente se encuentra en la fracción central desde la celda 2-18 obteniendo el valor más alto en las celdas 10y11 con una temperatura de 21,47°C, sin embargo, también se puede constatar a simple vista que en la esquina izquierda inferior la temperatura llega a los 21°C.

4.8.5 Proceso de carga sección Lateral (CR2- 33%)

Figura 114

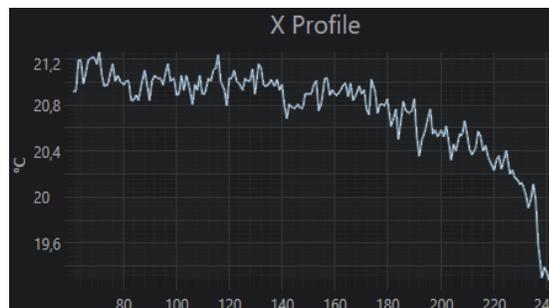
Análisis térmico sección lateral (CR2- 33%)



Nota. La figura nos indica la temperatura promedio existente en la sección lateral una vez que las celdas se encuentran al 33% de su tensión nominal, el valor estimado es de 20,93°C.

Figura 115

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



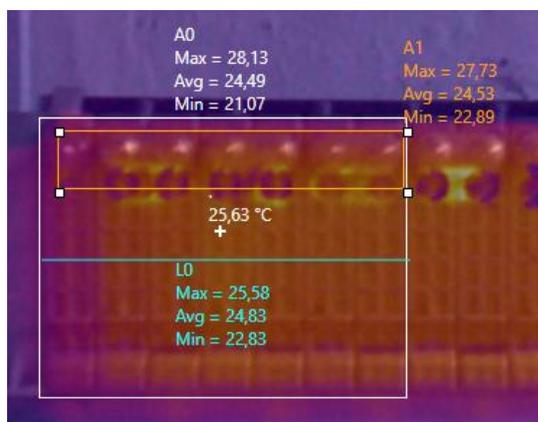
Nota. La gráfica deja ver la variación de temperatura existente en la recta L0.

Para el análisis de esta sección se marcó en A0 el lugar con mayor temperatura obteniendo un valor de 21,77°C, mismo que se ve reflejado en el diagrama lineal el cual muestra como la temperatura va descendiendo de derecha a izquierda.

4.8.6 Proceso de carga sección A (CR2- 120%)

Figura 116

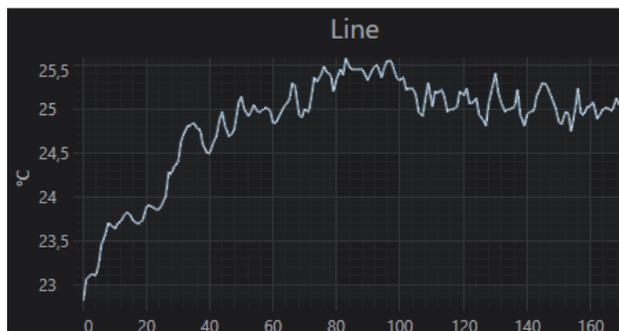
Análisis térmico sección A (CR2- 120%)



Nota. La figura marca la temperatura promedio existente en la sección A una vez que las celdas se encuentran al 120% de su tensión nominal, el valor estimado es de 25,63°C.

Figura 117

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



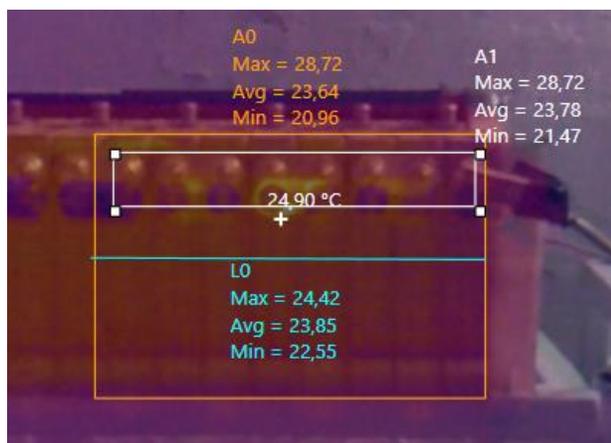
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0.

Al analizar la gráfica lineal es muy notorio como la temperatura se va incrementando progresivamente hasta alcanzar su valor más alto en la celda 4 con 25,58°C, seguidamente la gráfica nos muestra una pequeña estabilización esto ocurre en la celda 5 y 6 con temperaturas de 25,1°C Y 25,08°C correspondientemente.

4.8.7 Proceso de carga sección B (CR2- 120%)

Figura 118

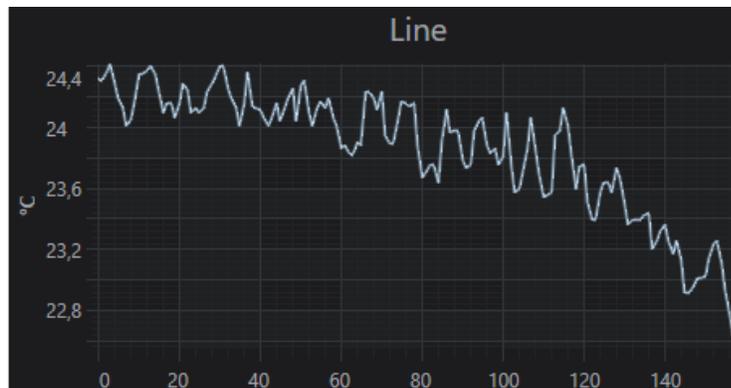
Análisis térmico sección B (CR2- 120%)



Nota. La figura muestra la temperatura promedio existente en la sección B una vez que las celdas se encuentran al 120% de su tensión nominal, el valor estimado es de 24,90°C.

Figura 119

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



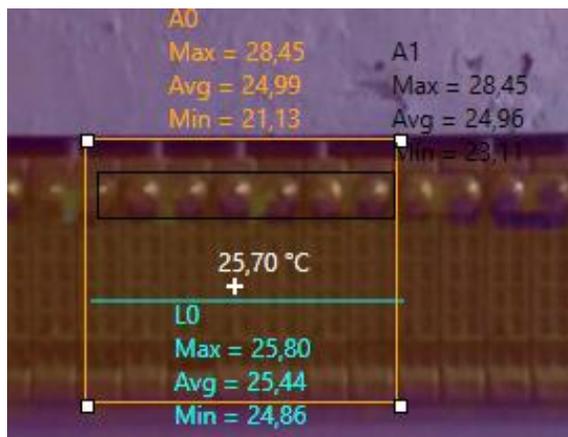
Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección B.

Interpretando la gráfica lineal se aprecia como la temperatura disminuye paulatinamente, mientras en la celda 13y14 esta se mantiene casi constante con un valor de 24,4°C mientras que en la celda 20 la temperatura es de 22,55°C

4.8.8 Proceso de carga sección C (CR2- 120%)

Figura 120

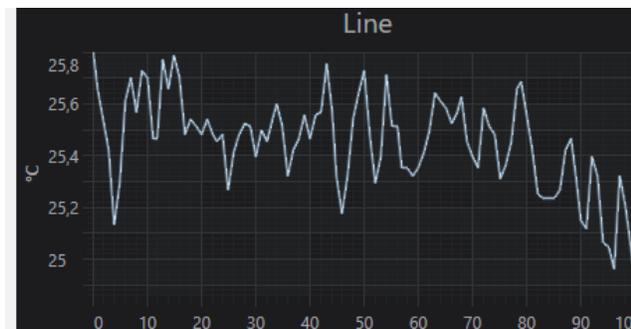
Análisis térmico sección C (CR2- 120%)



Nota. Esta figura revela la temperatura promedio existente en la sección C una vez que las celdas se encuentran al 120% de su tensión nominal, el valor estimado es de 25,70°C.

Figura 121

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



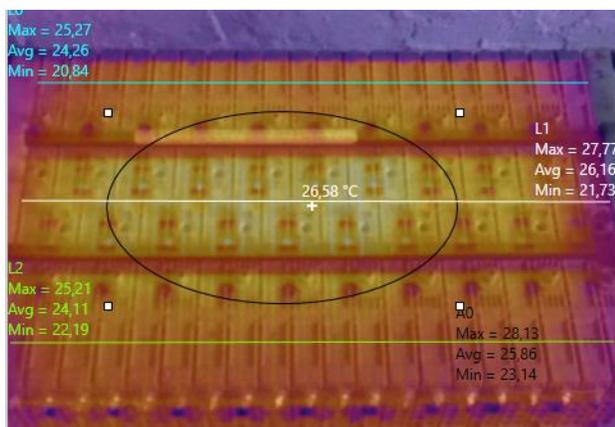
Nota. La gráfica nos indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección C.

Analizando la gráfica lineal se determina que la celda 8 es aquella que irradia mayor temperatura con un valor de 25,63°C, mientras que en las celdas 12 y 13 el valor de temperatura es similar a 25,48°C.

4.8.9 Proceso de carga sección superior (CR2- 120%)

Figura 122

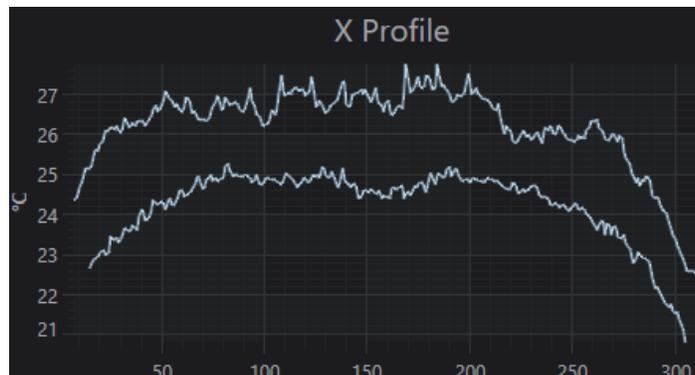
Análisis térmico sección superior (CR2- 120%)



Nota. La figura establece que la temperatura promedio existente en la sección superior una vez que las celdas se encuentran al 120% de su tensión nominal, el valor estimado es de 26,58°C.

Figura 123

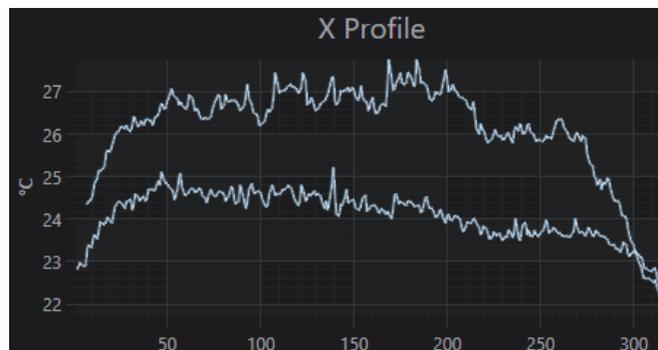
Curvas del comportamiento termográfico en el eje X L0 y L1



Nota. La gráfica indica la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección C.

Figura 124

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X L1 y L2



Nota. La gráfica muestra la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección C.

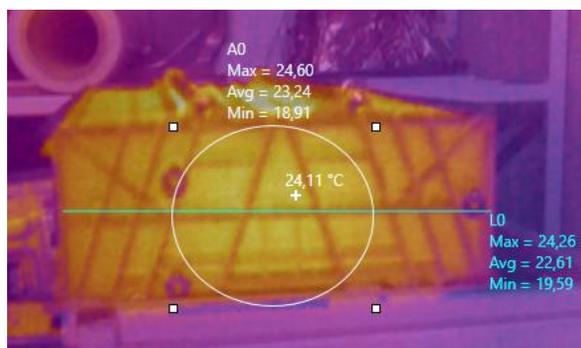
Para analizar esta superficie se marcó en A0 los lugares más calientes sobre la sección superior, además para el diagrama lineal las rectas están representadas por L0, L1, L2. Por consiguiente, se obtuvo que el foco más caliente se encuentra en la fracción central desde la celda 4-15 obteniendo el valor más alto en las celdas 10y11 con una

temperatura de 27,7°C, sin embargo, también se puede constatar a simple vista que en los extremos la temperatura desciende levemente.

4.8.10 Proceso de carga sección lateral (CR2- 120%)

Figura 125

Análisis térmico sección lateral (CR2- 120%)

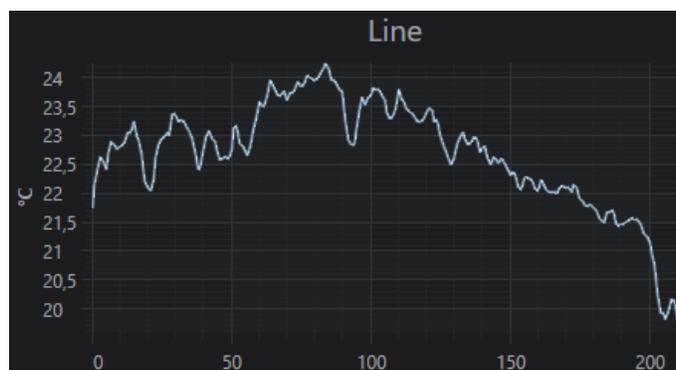


Nota. La figura indica la temperatura promedio existente en la sección lateral una vez que las celdas se encuentran al 120% de su tensión nominal, el valor estimado es de 24,11°C.

4.8.11 Proceso de carga sección lateral (120%)

Figura 126

Curvas del comportamiento termográfico en el eje X



Nota. La gráfica muestra la variación de temperatura existente en la recta L0 con respecto a la sección lateral.

Para el análisis de esta sección se marca en A0 el lugar con mayor temperatura obteniendo un valor de 24,60°C, mismo que se ve reflejado en el diagrama lineal el cual muestra como la temperatura va ascendiendo de izquierda a derecha y posteriormente comienza a declinar.

4.8.12 Análisis al finalizar el proceso de carga

Concluido el proceso de carga e interpretadas las imágenes obtenidas con la cámara termográfica se establece una tabla y gráficos de barras con los valores promedio de voltaje y temperatura en cada porcentaje de descarga establecido.

Tabla 25

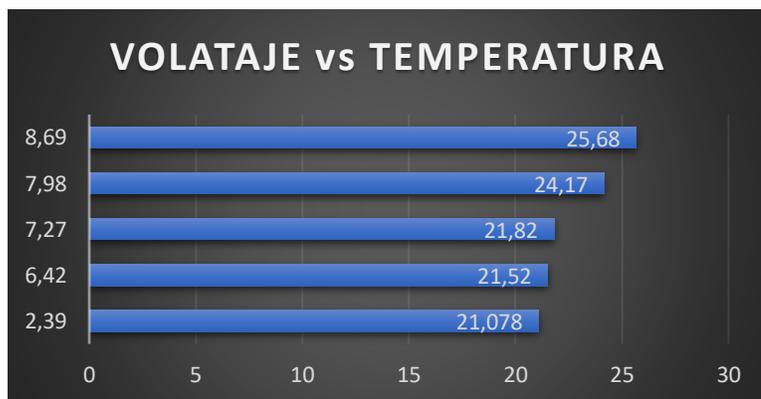
Valores de voltaje y temperatura al culminar el proceso de carga (CR2)

%	Voltaje (V)	Temperatura (°C)
33%	2,39	21,078
90%	6,42	21,52
100%	7,27	21,82
110%	7,98	24,17
120%	8,69	25,68

Nota. La tabla representa los valores promedio al terminar el primer ciclo de carga.

Figura 127

Diagrama de barras voltaje vs temperatura (CR-2)



Nota. La gráfica compara los valores promedio al terminar el segundo ciclo de carga.

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.

Con la finalidad de obtener datos más exactos en cuanto a valores de temperatura y voltaje se analizó celda por celda estos parámetros, mismos que se comparan con la ayuda de un diagrama de columnas.

Tabla 26

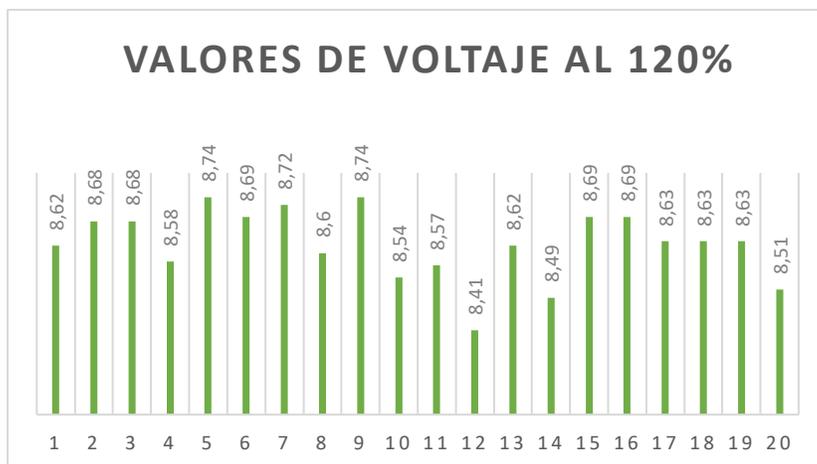
Valores de voltaje al 120%

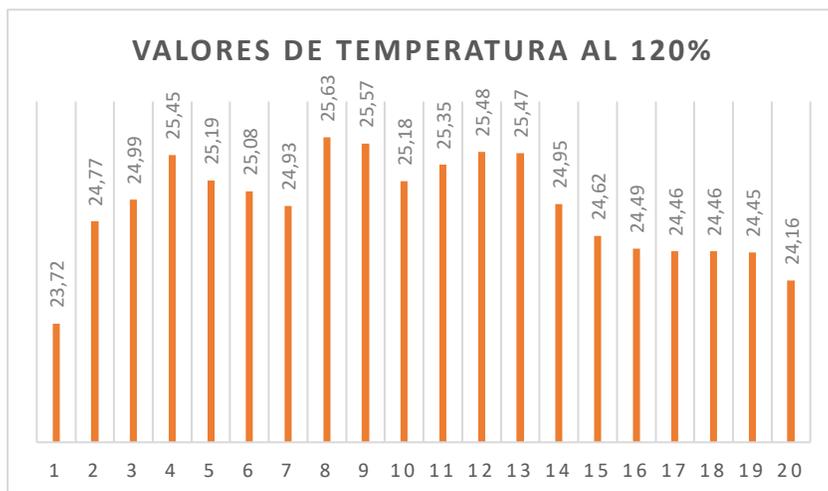
Celda	Voltaje (V)	Temperatura (°C)	Celda	Voltaje (V)	Temperatura (°C)
1	8,62	23,72	11	8,57	25,35
2	8,68	24,77	12	8,41	25,48
3	8,68	24,99	13	8,62	25,47
4	8,58	25,45	14	8,49	24,95
5	8,74	25,19	15	8,69	24,62
6	8,69	25,08	16	8,69	24,49
7	8,72	24,93	17	8,63	24,46
8	8,6	25,63	18	8,63	24,46
9	8,74	25,57	19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

Nota. La tabla muestra los valores de voltaje y temperatura una vez que las celdas alcanzaron el 120% de su tensión nominal.

Figura 128

Diagrama de barras voltaje y temperatura (CR2-120%)





Nota. En el diagrama de columna muestra el comportamiento de voltaje y temperatura por partes separadas cuando las celdas alcanzaron el 120% de su tensión nominal.

Una vez culminada la fase final de carga y realizado el monitoreo termográfico a diferentes porcentajes y en diferentes secciones se puede concluir que las siguientes celdas 4-8-10-11-12-14 son las que más tienden a elevar su temperatura por consiguiente en la tabla anterior se muestra los valores de voltaje con la finalidad de poder evaluar qué sucede con este valor en las celdas anteriormente descritas.

Los valores de intensidad de estas celdas en comparación con el resto, tienen una ligera variación de como máximo 0,22 V, sin embargo, es necesario esperar la fase de comprobación de fugas el tiempo para conocer con mayor precisión su voltaje final.

Realizando un breve resumen del proceso de carga se observó incrementaron de manera muy rápida de manera que en tan solo 20 minutos alcanzaron el 100% de su tensión nominal, mientras que para llegar al 120 por ciento su incremento fue muy tardado necesitando 160 minutos para alcanzar este valor.

Tabla 27

Valores de V y T en el segundo proceso de carga

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

Nota. La tabla muestra los valores temperatura y voltaje en el proceso de carga empleando una corriente de 1,7 A tomando como referencia los porcentajes de la tensión nominal de cada celda.

4.9 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.

Tabla 28

Valores de voltaje en el proceso de comparación de fugas

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

Nota. La tabla muestra los valores de voltaje al realizar el proceso de comprobación de fugas.

De igual manera se tomó datos en las secciones analizadas durante el protocolo de pruebas para obtener así un valor de referencia.

Tabla 29

Valores de temperatura en el proceso de comparación de fugas

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

Nota. La tabla muestra los valores de temperatura al realizar el proceso de comprobación de fugas.

4.10 Aplicación del modelo matemático

Este modelo incorpora datos de temperatura y los relaciona con la corriente con la finalidad de establecer la capacidad instantánea de la batería; las constantes y los parámetros que se utilizan dentro de este modelo se encuentran detalladas en el capítulo dos y tres de la investigación.

De igual manera se aplica las ecuaciones mencionadas en el capítulo dos para el cálculo del estado de carga de la batería de alta tensión.

PROCESO DE PRECARGA Y CARGA

$$\alpha_c := 0.018 \text{ } ^\circ\text{C} \quad A_{CAP} := 3 \quad C_{nominal} := 6.5 \text{ A} \cdot \text{hr} \quad I_{re1} := 0.5 \text{ A} \quad T_1 := 19.19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

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

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

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

ESTADO DE CARGA

$$Carga1 := I_{re1} \cdot n_1 = 0.125 \text{ A} \cdot \text{hr}$$

$$carga2 := I_{re} \cdot n = 4.533 \text{ A} \cdot \text{hr}$$

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

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

CAPACIDAD INSTANTÁNEA DE LA BATERÍA

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

El proceso de precarga y carga da lugar a que se obtenga dos estados de carga (SOC) esto a que se realizó la precarga con una corriente de 0,5 A durante un tiempo de 15 minutos el cual nos permitió alcanzar el 100% de su tensión nominal, seguidamente en el banco de pruebas se varía la corriente de carga a 1,6 A el tiempo que demoró la batería en alcanzar el 120% de la tensión nominal fue de 170 minutos. Con esta aclaración y la información que se encuentra en libros y documentos electrónicos 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

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

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

CAPACIDAD INSTANTÁNEA DE LA BATERÍA

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

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

CAPÍTULO VI

MARCO ADMINISTRATIVO

Para el desarrollo de la presente investigación fue de suma importancia contar con recursos y financiamiento, estos aspectos llevaron a su culminación exitosa, de tal manera que en este capítulo se analizan los aspectos de la factibilidad de la investigación y la optimización de los recursos humanos, materiales y tecnológicos.

5 RECURSOS

Para la realización de la investigación fueron necesarios recursos humanos, materiales y tecnológicos que se detallan a continuación.

5.1 Recursos Humanos

El recurso humano que intervino en el desarrollo de la investigación “ANÁLISIS TÉRMICO DE LOS PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA CONTROLADO EN BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS MEDIANTE TÉCNICA INFRARROJA PREDICTIVA”, se detalla a continuación.

Tabla 30

Recursos Humanos

Orden	Descripción	Cantidad	Función
1.	Ricardo Asimbaya	1	Investigador
3.	Ing. Germán Erazo	1	Director
4.	Ing. Leonidas Quiroz	1	Colaborador científico

5.2 Recursos Materiales

Para el desarrollo de la investigación es necesario establecer los materiales principales a utilizar, los cuales se detallan en la Tabla 31.

Tabla 31*Recursos Materiales*

Orden	Nombre
1	Packs de batería de Níquel hidruro metálico
2	Vehículo Toyota Highlander
3	Alicate
4	Pinzas tipo lagarto
5	Destornillador
6	Cable flexible N° 12 ,14 y 8
7	Leds de alto brillo
8	Taype
9	Juego de dados
11	Banco de pruebas

5.3 Recursos tecnológicos

Para la realización correcta de la investigación es necesario contar con equipos tecnológicos que se mencionan a continuación:

Tabla 32*Recursos tecnológicos*

Orden	Nombre
1.	Computador personal
2.	Multímetro
3.	Cámara fotográfica
4.	Celular inteligente
7.	Conexión a internet
8.	Impresora
9.	Software SmartView
10.	Software Fluke Connect
11.	Software Word
12.	Software Excel

5.4 Financiamiento

El financiamiento del proyecto de investigación se realizó con recursos propios, con un costo total de \$1350, los cuales se detallarán a continuación.

5.5 Gastos

Para el desarrollo de la investigación es necesario contar con un presupuesto, para conocer si la investigación es factible o no, por lo cual se muestra a continuación los gastos realizados y divididos en;

Tabla 33

Gastos recursos materiales

Ord.	Detalle	Cantidad	Costo
1	Packs de batería de Níquel hidruro metálico	1	\$ 400.00
2.	Vehículo Toyota Highlander	1	\$ 25.00
3.	Alicate	1	\$ 8.00
4.	Pinzas tipo lagarto	2	\$ 5.00
5.	Destornilladores	2	\$5.00
6.	Cable flexible N° 12 ,14 y 8	1	\$10.00
10.	Taípe	1	\$1.00
11.	Juego de dados	1	\$70.00
12	Banco de pruebas	1	\$300.00
TOTAL			\$ 824.00

Tabla 34

Gastos Recursos Tecnológicos

Ord.	Detalle	Cantidad	Costo
1	Internet	1	\$20.00
2.	Computador personal	1	\$100.00
3.	Calibración Cámara Termográfica	1	\$200.00
6.	Scanner Automotriz	1	\$200.00
7.	Multímetro Automotriz	1	\$100.00
10.	Normativa ASTM E 1933-999	1	\$42.00
11.	Normativa ASTM E1213 - 14 (2018)	1	\$30.00
12.	Normativa ASTM E1934 - 99a (2018)	1	\$38.00
13.	Accesorios de medición térmica	1	\$40.00
TOTAL			\$ 770.00

5.6 Costo neto de la investigación

Conjuntamente con los costos anteriormente expuestos, se integran gastos extras en el ámbito de movilidad.

Tabla 35

Costo Neto de la investigación

Descripción	Costo total USD
Recursos materiales	\$824.00
Recursos tecnológicos	\$770.00
Movilidad	\$55.00
TOTAL	\$1,649.00

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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artes, D. (14 de Marzo de 2012). *Diario motor tecnovia*. Recuperado el 3 de Febrero de 2020, de <https://www.diariomotor.com/tecmovvia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>
- ASTM, S. A. (24 de Febrero de 2018). *astm.org*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de https://www.astm.org/america_latina/sp/index.html?fbclid=IwAR38HtxO6J_OyEFTRbRE3d4QSPSrrloKoi0kUuHSzHWXRuKavXooXecLnj0
- Augeri, F. (2013). *Repositorio Institucional de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/8294>
- Botero, M. (2011). Aplicación de la termografía en el mantenimiento preventivo. *Scientia Et Technica*.
- Burgos, C. (03 de Septiembre de 2013). Estimación del estado de carga para un banco de baterías basadas en modelación difusa y filtro extendido de kalman. Santiago, Chile.
- Calderón, E. (14 de Septiembre de 2015). *fluke*. Recuperado el 29 de Marzo de 2020, de <https://www.fluke.com/es-ec/producto/camaras-termicas/tis60plus?fbclid=IwAR0FPrECPUHtXcVfIUOKVuoRL4x9cS8ymhNam87V5iOda8r9RhihGno-uGU>
- Carrión, E. (2010). *Termoquímica 1 Temas de Química física para ingenieros*. Valencia: Publicacions de la Universidad de Valencia.
- Cengel, Y. (2011). *Termodinámica*. México, D.F: The McGraw-Hill.
- Cengel, Yunus. (2007). *Transferencia de calor y masa un enfoque práctico*. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Chele, D. (27 de Diciembre de 2017). *Repositorio Digital UIDE*. Recuperado el 19 de Octubre de 2019, de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3615>

Chuquimarca , S. (11 de Noviembre de 2017). *Diseño y desarrollo de una batería de alto voltaje para un vehículo de competencia tipo formula SAE eléctrico*. Recuperado el 17 de Junio de 2020, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14908/1/UPS-CT007327.pdf>

Cisneros, D. (2015). *Scielo*. Recuperado el 12 de Marzo de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000300005&lng=es&tIng=es.

Contreras, R. (Marzo de 2008). *Análisis del funcionamiento del charger research*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2521/3/T-UIDE-178.pdf>

Edeingenieros. (2019). *EDE INGENIEROS*. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de <https://www.ede-ingenieros.com/termografia-infrarroja-para-un-mantenimiento-predictivo-eficaz/>

El Telégrafo. (29 de Enero de 2018). Venta de autos hibridos crecio un 197% en 2017. Ecuador.

ElectronicaCar. (15 de Noviembre de 2019). *ElectronicaCar*. Recuperado el 8 de Mayo de 2020, de <https://electronicacar.es/servicios1/reparaci%C3%B3n-bater%C3%ADas-h%C3%ADbridos>

Espinoza, J., & Guamushig, W. (18 de Julio de 2019). Investigación de la durabilidad y tiempo de vida útil de las baterías de alta tensión de vehículos híbridos y eléctricos a través de la programación automatizada de procesos de carga y descarga. *[Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]*. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga. Recuperado el 12 de Noviembre de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20728>

Fluke. (2019). Recuperado el 29 de Marzo de 2020, de <https://www.fluke.com/es-es/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-mediciones/termografia/que-es-la-termografia-infrarroja>

- FLUKE. (2019). Recuperado el 20 de Junio de 2020, de <https://www.fluke.com/es-mx/producto/camaras-termicas/tis60>
- Fluke. (2020). *Fluke*. Recuperado el 29 de Marzo de 2020, de <https://www.fluke.com/es-ec/producto/camaras-termicas/tis60plus?fbclid=IwAR0FPrECPUHtXcVfIUOKVuoR>
- Fuerzalida, S. (26 de Abril de 2014). *semanticsscholar.org*. Recuperado el 18 de Marzo de 2020, de https://pdfs.semanticscholar.org/3ae0/f946e9be5173a5db7ad603b4020cab1b394a.pdf?fbclid=IwAR3NxGkoRxsul4YvURCwURbrnu1j8YezViwuQAb9yW-FJ_7uH4Nzr5u3_CM
- Guasch, D. (2003). Modelado y analisis de sistemas fotovoltaicos . 38-44.
- Jaume, D. (Abril de 2017). Recuperado el 20 de Enero de 2020, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/104855/TFG_Jaume_Martinez_Metodos_de_estimacion_del_estado_de_carga_de_baterias_electroquimicas.pdf
- Lea. (Septiembre de 2015). *Leza, Escriña & asociados SA*. Recuperado el 2 de Agosto de 2020, de https://www.lea-global.com/uploads/circulares/2015/09/1_inspeccion_de_instalaciones_electricas_con_termografias_infrarrojas1.pdf
- Lenntech. (2020). *Lenntech*. Recuperado el 14 de Octubre de 2020, de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm>
- Martínez, J. (Mayo de 2011). *Autos Híbridos*. Recuperado el 16 de Junio de 2020, de http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos_Hibridos.pdf
- Mecánica, A. a. (2014). *Aficionados a la Mecánica*. Recuperado el 17 de Abril de 2020, de <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>
- Morente, C. (10 de Febrero de 2015). *Universidad Carlos III de Madrid biblioteca*. Recuperado el 12 de Abril de 2020, de <https://e->

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23050/TFG_Carolina_Morente_Fernandez.pdf

Moyano, A. G., & Pantoja, D. A. (2019). Investigación de parámetros de desempeño de baterías de alta tensión de vehículos híbridos y eléctricos al aplicar un sistema de mantenimiento controlado para un diagnóstico eficiente. *[tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]*. Repositorio Institucional. Recuperado el 12 de Noviembre de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20724>

Muñoz, A. (2009). Análisis Termográfico Para La Determinación De Puntos. *Bistua*.

Neita , L., & Peña, E. (16 de Octubre de 2014). Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo. *[Monografía, Universidad Pontificia Bolivariana]*. Repositorio Institucional UPB. Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de <https://es.slideshare.net/niltoncoruroacero/termografia-54041748>

Palma, P. (2015). Aplicación de la termografía en auditorías energéticas de edificios. . *Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante*, 50.

Pirobloc, S. (21 de DICIEMBRE de 2016). *Blog de ingeniería térmica*. Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de <https://www.pirobloc.com/blog-es/adveccion-dentro-de-la-hidraulica-termica/>

Racz, A. (2015). *ScienceDirect*. Recuperado el 19 de Marzo de 2020, de <https://pdf.sciencedirectassets.com/282073/1-s2.0-S2212017315X00028/1-s2.0-S2212017315000638/main.pdf?X-Amz-Security-Token=AgoJb3JpZ2luX2VjEBIaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIAScGEdBul1AOvlfh5V0BjzitOpAYNfg4bspIQD6PG8AiEA9JBqglF%2FHI8OG7zdWwMMkcVjQRkLdO4U6M%2Fo%2B4>

Rodriguez, I. (2004). *Un procedimiento para la superposición de texturas a modelos tridimensionales*. Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de

<http://intranet.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXV/documentos/11osfernaial.pdf>

Romero, K. (03 de Diciembre de 2018). *tobmachinery*. Recuperado el 22 de Abril de 2020, de <http://www.tobmachinery.com/news/nmc-linimncoo2-powder-for-lithium-battery-19595837.html>

Termografía, B. (2014). *Blog termografía*. Recuperado el 18 de Marzo de 2020, de <http://blog.meteoclim.com/fenomenos-opticos-atmosfericos>

Termogram. (2019). *Termogram*. Recuperado el 22 de Abril de 2020, de <https://termogram.com/termografia-infrarroja-para-mantenimiento-predictivo>

Termoycalor.blogs. (3 de Diciembre de 2015). Obtenido de <http://termoycalor.blogspot.com/2015/12/mecanismos-de-transferencia-de-calor.html>

Testo SE. (Diciembre de 2017). *Termografía, guía de bolsillo*. Recuperado el 18 de Marzo de 2020, de Testo Be Sure: <https://static-int.testo.com/media/fa/0e/49bd6f50d6cb/Pocket-Guide-Thermography-ES.pdf>

Tobmachinery. (03 de Diciembre de 2018). *Tobmachinery*. Recuperado el 3 de Febrero de 2020, de <http://www.tobmachinery.com/news/nmc-linimncoo2-powder-for-lithium-battery-19595837.html>

Torres, A. (26 de Marzo de 2016). *lenntech*. Recuperado el 3 de Junio de 2020, de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm>

Viera, J. C. (Abril de 2003). *Repositorio institucional universidad de Oviedo*. Recuperado el 15 de Febrero de 2020, de <http://hdl.handle.net/10651/16249>

Zúñiga, V. (Octubre de 2014). *Repositorio Pontificia Universidad Católica del Perú*. Recuperado el 20 de Junio de 2020, de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5767/ZU%C3%91IGA_VICTOR_VEHICULO_ELECTRICO_PRIVADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS