UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"Desarrollo de una Powerwall alimentada por energía eólica y fotovoltaica para la carga de vehículos eléctricos de la carrera de electricidad"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR:

Jefferson Mauricio Tirira Suárez

DIRECTOR:

Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo MSc.

Ibarra – Ecuador

2025

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401927082		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Tirira Suárez Jefferson Mauricio		
DIRECCIÓN:	Ibarra		
EMAIL:	jmtiriras@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		**TELÉFONO MÓVIL:**	0979788425

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Desarrollo de una PowerWall alimentada por energía eólica y fotovoltaica para la carga de vehículos eléctricos de la carrera de electricidad
AUTOR (ES):	Tirira Suárez Jefferson Mauricio
FECHA: DD/MM/AAAA	05/06/2025
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
DIRECTOR /ASESOR:	Ing. Francisco Naranjo MSc. / Ing. Gerardo Collaguazo PHD.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de junio de 2025

EL AUTOR:

.....
Nombre: Tirira Suárez Jefferson Mauricio

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Francisco Roberto Naranjo Cobo, en calidad de director del señor estudiante Jefferson Mauricio Tirira Suárez certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: Desarrollo de una PowerWall alimentada por energía eólica y fotovoltaica para la carga de vehículos eléctricos de la carrera de electricidad.

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo MSc.
DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a los dos pilares primordiales de mi vida, mi padre Raúl Tirira y mi madre Elena Suárez. Quienes con su esfuerzo y su amor incondicional supieron apoyarme y no dejarme caer en ningún momento, con manos cansadas y corazones inquebrantables labraron el camino que hoy recorro; sus sacrificios silenciosos florecen en estas páginas como testimonio de un amor que trasciende toda distancia.

A mis hermanos y sobrino. Santiago, Mayra y Aaron que con su ejemplo de perseverancia me enseñaron a no rendirme ante las adversidades, cuya sabiduría y cariño incondicional iluminaron mis noches de estudio. Han sido mi refugio en momentos de duda y mi mayor inspiración cuando el camino se tornaba difícil.

A Gaby, quien con paciencia infinita ha sostenido mis sueños como propios, celebrando cada logro y consolando cada tropiezo; a mi amigo Andrés y compañeros de aula, quienes transformaron esta travesía académica en una experiencia llena de aprendizajes compartidos y recuerdos inolvidables.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia y pareja, cuyo apoyo incondicional y palabras de aliento han sido fundamentales durante todo mi recorrido académico. Su presencia constante me ha brindado la fortaleza necesaria para superar cada obstáculo.

Extiendo mi sincera gratitud a la Universidad Técnica del Norte, a los docentes de la carrera de Electricidad. Sus enseñanzas y dedicación han sido pilares esenciales en mi formación profesional, proporcionándome las herramientas y conocimientos necesarios para alcanzar mis metas.

Agradezco a mi director de Trabajo de Grado, el Ing. Francisco Naranjo, MSc. Su orientación, paciencia y experiencia han guiado cada etapa de esta investigación. Su compromiso con la excelencia académica y sus valiosos consejos han enriquecido enormemente este proyecto y mi desarrollo como profesional.

A todos los compañeros y amigos que compartieron este camino conmigo, ofreciendo su colaboración y apoyo en los momentos más necesarios, mi sincero agradecimiento.

A cada persona que contribuyó directa o indirectamente en este proceso, muchas gracias.

INDICE GENERAL

CAPITULO I 23
INTRODUCCIÓN 23
1.1 Planteamiento del problema 23
1.1.1. Objetivo general 24
1.1.2. Objetivos específicos 24
1.2. Alcance y delimitación 24
1.3. Justificación 25
1.4. Antecedentes 26
CAPITULO II 31
INTRODUCCIÓN 31
2.1. Vehículos eléctricos 31
2.1.1. Tipos: scooters, bicicletas eléctricas, motos eléctricas 31
2.1.2. Tendencias de mercado y adopción en Ecuador 32
2.1.3. Carga de vehículos eléctricos 33
2.2. Normativas y estándares 33
2.2.1. Regulaciones para sistemas de almacenamiento de energía 33
2.2.2. Normas para la integración de energías renovables 34
2.3. Funcionamiento, gestión y control de la POWERWALL 34
2.3.1. Principios de Funcionamiento 34
2.3.2. Descripción general de componentes 35
2.3.3. Banco de Baterías 35
2.3.4. Controlador – Regulador de carga 35
2.3.5. Sistema Inversor 36
2.3.6. Sistema de gestión térmica 36
2.3.7. Gateway de Tesla 37

2.3.8. Gráfico de bloques de componentes 38
2.4. Sistema de almacenamiento de energía 38
2.5. Baterías 39
2.5.1. Tipos de baterías y características 40
2.5.2. Curva de carga de descarga de las baterías 40
2.5.3. Análisis de densidad energética de cada una de las baterías 41
2.5.4. Dimensionamiento del almacenamiento de las baterías para sistemas fotovoltaicos 41
2.5.5. Días de autonomía de las baterías 41
2.6. Energías renovables para carga de vehículos eléctricos 41
2.6.1 Energía eólica: componentes, funcionamiento 42
2.6.2 Energía fotovoltaica: tipos de paneles, rendimiento y factores ambientales 42
2.6.3 Integración de sistemas eólicos y fotovoltaicos y el manejo de un sistema híbrido 42
2.6.4 Variabilidad de la energía solar y eólica 42
2.6.5 Contribución de los vehículos eléctricos para reducción de emisiones de gases de efecto invernadero utilizando energía proveniente de fuentes de energía renovable. 43
2.7 Impacto ambiental y socioeconómico 44
2.8 Infraestructura de carga para vehículos eléctricos 44
2.8.1 Electrolineras y sistemas de carga 44
2.8.2 Adaptación de redes existentes 44
2.8.3 Desafíos técnicos y soluciones innovadoras 45
2.8 Casos de estudio y experiencias previas 45
2.8.1 Implementaciones de Powerwall en diferentes contextos 45
2.8.2 Antecedentes a nivel mundial 45
CAPITULO III 47
METODOS Y MATERIALES 47
3.1. Metodología 47

3.2. Descripción del área de estudio. 48
3.3. Tipo de investigación 49
3.3.1. Métodos 49
3.3.1.1. Enfoque 50
3.3.1.2. Técnicas 50
3.3.1.3. Herramientas 51
3.4. Materiales 51
3.4.1 Sistema de paneles solares 52
3.4.2 Sistema de micro generación eólica – turbina blanca 53
3.4.3 Sistema de micro generación eólica – turbina azul 53
3.4.4 Controlador de carga Híbrido MPPT Solar Eólico 54
3.4.5 Batería 56
3.4.6 Inversor de voltaje 60
3.4.7 Arduino Mega 2560 62
3.4.7 Medidor multifunción modelo PZEM-004T 63
3.4.8 Medidor multifunción modelo PZEM-017 66
3.4.9 Sensor de temperatura DTH22 68
3.4.10 Sensor de temperatura BMP280 69
3.4.11 Pantalla NEXTION 5 pulgadas 70
3.5 Sistema de Protecciones 72
3.5.1 Protección Sistema fotovoltaico - Controlador de carga 72
3.5.2 Protección Sistema eólico – Controlador de Carga 72
3.5.3 Protección Banco de baterías – (Inversor de voltaje, Controlador de carga) 73
3.5.4 Protección termomagnética Inversor – Barras Ac 74
3.5.5 Protección diferencial Inversor – Barras Ac 74
3.6 Dimensionamiento de Conductores 75

3.6.1 Cálculo de las secciones de las líneas de corriente continua..... 75
3.6.2 Cálculo de las secciones de las líneas de corriente alterna. 76
3.7 Procedimiento 77
CAPITULO IV..... 79
RESULTADOS 79
4.1 Simulación del sistema Powerwall 82
4.2 Cálculos de dimensionamiento 83
4.2.1 Cálculos de dimensionamiento del Controlador de carga 83
4.2.2 Cálculo de dimensionamiento del banco de baterías. 83
4.2.3 Cálculo de dimensionamiento del inversor de voltaje 85
4.2.4 Cálculos de dimensionamiento para protecciones 85
4.2.5 Cálculos de dimensionamiento para conductores 87
4.3 Recepción e inspección de los equipos y materiales usados..... 92
4.4 Impresión de marco 3d para pantalla de interfaz de usuario..... 93
4.5 Construcción del circuito de potencia..... 94
4.5.1 Circuito de conexiones..... 95
4.5.2 Ubicación y conexión de los equipos..... 97
4.6 Ubicación y conexión de protecciones en DC 104
4.7 Ubicación y conexión de protecciones en AC 105
4.8 Construcción del circuito de monitoreo..... 108
4.8.1 Circuito de conexiones..... 109
4.8.2 Flujograma del código de programación..... 110
4.8.3 Creación de la interfaz en la Pantalla Nextion 5.0 111
4.8.4 Ubicación y conexión del sistema de monitoreo..... 115
4.9 Pruebas del sistema Powerwall..... 123
4.9.1 Datos sin cargas externas 123

4.9.1.1 Datos sin cargas externas - Sistema de monitoreo 123
4.9.1.2 Datos sin cargas externas – Pinza Amperimétrica 124
4.9.1.3 Análisis del sistema sin cargas externas 125
4.9.2 Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo 125
4.9.2.1 Pruebas con 3 focos incandescentes de 150W en paralelo – Sistema de monitoreo 125
4.9.2.2 Pruebas con 3 focos incandescentes de 150W en paralelo – Pinza Amperimétrica 127
4.9.2.3 Análisis de prueba de 3 focos incandescentes de 150W en paralelo 129
4.9.3 Pruebas con una tostadora de 750 W 137
4.9.3.1 Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema de monitoreo 137
4.9.3.2 Pruebas con una tostadora de 750 W – Pinza Amperimétrica 138
4.9.3.3 Análisis de prueba con una tostadora de 750W 140
4.9.4 Prueba 1 con un Scooter de 500 W 148
4.9.4.1 Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema de monitoreo 148
4.9.4.2 Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Pinza Amperimétrica 150
4.9.4.3 Análisis de prueba 1 con Scooter de 500 W 152
4.8.5 Prueba 2 con un Scooter de 500 W 161
4.8.5.1 Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema de monitoreo 161
4.8.5.2 Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Pinza Amperimétrica 163
4.8.5.3 Análisis de prueba 2 con Scooter de 500 W 165
4.8.6 Prueba 3 con un Scooter de 500 W 175
4.8.6.1 Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema de monitoreo 175
4.8.6.2 Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Pinza Amperimétrica 177
4.8.6.3 Análisis de prueba 3 con Scooter de 500 W 179
4.8.7 Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W 187
4.8.7.1 Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema de monitoreo 187
4.8.7.2 - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Pinza Amperimétrica 189
4.8.7.3 Análisis de prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500W 192
CONCLUSIONES 202
RECOMENDACIONES 203
BIBLIOGRAFÍA 204
ANEXOS 211

INDICE DE TABLAS

Tabla comparativa de tipos de baterías [39, 40, 41, 42, 43] 40
Tabla 2 Especificaciones eléctricas del panel seleccionado [76]. 52
Tabla 3 Especificaciones eléctricas del sistema de paneles solares [76]. 52
Tabla 4 Especificaciones eléctricas del sistema de micro generación eólica – turbina blanca [77].. 53
Tabla 5 Especificaciones eléctricas del sistema de micro generación eólica – turbina azul [78]. 54
Tabla 6 Especificaciones eléctricas de los controladores híbridos encontrados 54
Tabla 7 Especificaciones de los vehículos eléctricos 56
Tabla 8 Especificaciones eléctricas de las baterías encontradas 59
Tabla 9 Especificaciones eléctricas de los inversores de voltaje encontrados 60
Tabla 10 Especificaciones del Arduino Mega 2560 62
Tabla 11 Especificaciones del medidor multifunción PZEM-004T 64
Tabla 12 Especificaciones de los transformadores de corriente para el PZEM-004T 64
Tabla 13 Especificaciones del medidor multifunción PZEM-017 66
Tabla 14 Especificaciones de los SHUNT del medidor multifunción PZEM0-17 67
Tabla 15 Especificaciones del sensor de temperatura DTH22 68
Tabla 16 Especificaciones del sensor de temperatura BMP280 70
Tabla 17 Especificaciones de la pantalla Nextion 71
Tabla 18 Caídas de tensión en los conductores 90
Tabla 19 Inversor de voltaje - Datos sin cargas externas – S.M 123
Tabla 20 Sistemas de generación - Datos sin cargas externas – S.M 123
Tabla 21 Banco de baterías - Datos sin cargas externas – S.M 124
Tabla 22 Mediciones de temperatura - Datos sin cargas externas – S.M 124
Tabla 23 Porcentaje del banco de baterías - Datos sin cargas externas – S.M 124
Tabla 24 Inversor de voltaje - Datos sin cargas externas – P.A 124
Tabla 26 Banco de baterías - Datos sin cargas externas – P.A 124
Tabla 27 Mediciones de temperatura - Datos sin cargas externas – P.A 125
Tabla 28 Porcentaje del banco de baterías - Datos sin cargas externas – P.A 125
Tabla 29 Inversor de voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – S.M ... 125
Tabla 30 Sistemas de generación - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – S.M 126
Tabla 31 Banco de baterías - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – S.M 126

Tabla 32 Mediciones de temperatura - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – S.M 126

Tabla 33 Porcentaje del banco de baterías - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – S.M 127

Tabla 34 Inversor de voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – P.A..... 127

Tabla 35 Sistemas de generación - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – P.A 127

Tabla 36 Banco de baterías - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – P.A 128

Tabla 37 Mediciones de temperatura - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – P.A 128

Tabla 38 Porcentaje del banco de baterías - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – P.A 128

Tabla 39 Inversor de voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – S.M..... 137

Tabla 40 Sistemas de generación - Pruebas con una tostadora de 750 W – S.M 137

Tabla 41 Banco de baterías - Pruebas con una tostadora de 750 W – S.M 138

Tabla 42 Mediciones de temperatura - Pruebas con una tostadora de 750 W – S.M 138

Tabla 43 Porcentaje del banco de baterías - Pruebas con una tostadora de 750 W – S.M 138

Tabla 44 Inversor de voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – P.A..... 138

Tabla 45 Sistemas de generación - Pruebas con una tostadora de 750 W – P.A 139

Tabla 46 Banco de baterías - Pruebas con una tostadora de 750 W – P.A 139

Tabla 47 Mediciones de temperatura - Pruebas con una tostadora de 750 W – P.A 139

Tabla 48 Porcentaje del banco de baterías - Pruebas con una tostadora de 750 W – P.A 140

Tabla 49 Inversor de voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – S.M 148

Tabla 50 Sistemas de generación - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – S.M..... 148

Tabla 51 Banco de baterías - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – S.M..... 149

Tabla 52 Mediciones de temperatura - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – S.M..... 149

Tabla 53 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – S.M..... 150

Tabla 54 Inversor de voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – P.A..... 150

Tabla 55 Sistemas de generación - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – P.A 151

Tabla 56 Banco de baterías - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – P.A 151

Tabla 57 Mediciones de temperatura - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – P.A 151

Tabla 58 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – P.A 152

Tabla 59 Inversor de voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – S.M 161

Tabla 60 Sistemas de generación - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – S.M 161
Tabla 61 Banco de baterías - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – S.M 162
Tabla 62 Mediciones de temperatura - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – S.M 162
Tabla 63 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – S.M 163
Tabla 64 Inversor de voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – P.A 163
Tabla 65 Sistemas de generación - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – P.A 163
Tabla 66 Banco de baterías - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – P.A 164
Tabla 67 Mediciones de temperatura - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – P.A 164
Tabla 68 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – P.A 165
Tabla 69 Inversor de voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – S.M 175
Tabla 70 Sistemas de generación - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – S.M 175
Tabla 71 Banco de baterías - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – S.M 176
Tabla 72 Mediciones de temperatura - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – S.M 176
Tabla 73 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – S.M 176
Tabla 74 Inversor de voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – P.A 177
Tabla 75 Sistemas de generación - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – P.A 177
Tabla 76 Banco de baterías - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – P.A 178
Tabla 77 Mediciones de temperatura - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – P.A 178
Tabla 78 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – P.A 179
Tabla 69 Inversor de voltaje - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – S.M 187
Tabla 70 Sistemas de generación - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – S.M 187
Tabla 71 Banco de baterías - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – S.M 188
Tabla 72 Mediciones de temperatura - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – S.M . 188
Tabla 73 Porcentaje del banco de baterías - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – S.M 189
Tabla 74 Inversor de voltaje - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – P.A 189
Tabla 75 Sistemas de generación - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – P.A 189
Tabla 76 Banco de baterías - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – P.A 190
Tabla 77 Mediciones de temperatura - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – P.A .. 190
Tabla 78 Porcentaje del banco de baterías - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – P.A 191

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de componentes de sistema PowerWall de TESLA 38
Figura 2. Método Espiral Modificado 47
Figura 3. Punto de ubicación donde se va a implementar el proyecto [75]. 48
Figura 4. Diagrama de flujo para identificar y evaluar los diferentes elementos 49
Figura 5. Sistema de paneles solares desarrollado en la carrera de Electricidad [76]. 52
Figura 6. Sistema de micro generación eólica – turbina blanca [77] 53
Figura 7. Sistema de micro generación eólica – turbina azul [78]. 54
Figura 8. Controlador de carga híbrido seleccionado [79]. 56
Figura 9. Batería seleccionada [80]. 60
Figura 10. Inversor seleccionado [81]. 62
Figura 11. Arduino Mega 2560 [82] 62
Figura 12. Medidor multifunción PZEM-004T [83]. 63
Figura 13. Medidor multifunción PZEM-017 [84] 66
Figura 14. Sensor de temperatura DTH22 [85] 68
Figura 15. Sensor de temperatura BMP280 [86] 69
Figura 16. Pantalla Nextion [87]. 71
Figura 17. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema Powerwall 77
Figura 18. Esquema simplificado del circuito de potencia 79
Figura 19. Esquema simplificado del sistema de protecciones 80
Figura 20. Esquema simplificado del sistema de monitoreo 81
Figura 21. Simulación en Simulink 82
Figura 22. Equipos de China 92
Figura 23. Equipo de Estados Unidos 93
Figura 24. Modelo 3D del soporte y marco para la pantalla de interfaz de usuario. 93
Figura 25. Diseño general y dimensiones del tablero eléctrico 94
Figura 26. Construcción del tablero 95
Figura 27. Esquemático del circuito 96
Figura 28. Ubicación de los equipos 97
Figura 29. Conexión del controlador de carga en el circuito de potencia 98
Figura 30. Cableado de carga de descarga 98

Figura 31. Cableado de carga 99
Figura 32. Cableado del banco de baterías 99
Figura 33. Cableado del sistema fotovoltaico 100
Figura 34. Cableado del sistema eólico 100
Figura 35. Cableado del banco de baterías 101
Figura 36. Cableado del inversor de voltaje 101
Figura 37. Barras AC 102
Figura 38. Control de encendido y apagado 102
Figura 39. Esquema de conexión del sistema de control 103
Figura 40. Fusible 25 A sistema fotovoltaico 104
Figura 41. Disyuntor DC 300 A banco de baterías 105
Figura 42. Interruptor termomagnético 1 x 16 A - Sistema de aerogeneradores 106
Figura 43. Interruptor termomagnético 1 x 50 A – Inversor de voltaje 107
Figura 44. Interruptor diferencial 1 x 63 A – Barras AC 107
Figura 45. Esquema de navegación 111
Figura 46. Pestaña de carga de la interfaz 112
Figura 47. Pestaña de portada 112
Figura 48. Pestaña de datos principales 113
Figura 49. Pestaña de parámetros eléctricos del sistema Powerwall 113
Figura 50. Pestaña de sistemas de generación 114
Figura 51. Pestaña de banco de baterías 114
Figura 52. Pestaña de la salida del inversor 115
Figura 53. Construcción de la caja para el sistema de monitoreo 115
Figura 54. Ubicación de los materiales 116
Figura 55. Conexión del PZEM 004T AC del sistema de generación eólica 117
Figura 56. Conexión del PZEM 017 DC del sistema de generación fotovoltaica 118
Figura 57. Conexión del PZEM 004T AC del inversor de voltaje 119
Figura 58. Conexión del PZEM 017 DC del banco de baterías 120
Figura 59. Sensor de temperatura DTH22 – Sensor del tablero general 121
Figura 60. Sensores de temperatura BMP280 de cada batería 121
Figura 61. Conexión de la pantalla Nextion 5.0 122

Figura 62. Análisis de Voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Inversor de voltaje 129

Figura 63. Análisis de Corriente - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Inversor de voltaje 130

Figura 64. Análisis de Potencia - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Inversor de voltaje 130

Figura 65. Análisis de voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema fotovoltaico 131

Figura 66. . Análisis de Corriente - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema fotovoltaico 131

Figura 67. Análisis de Potencia - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema fotovoltaico 132

Figura 68. Análisis de Voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema eólico 132

Figura 69. Análisis de Corriente - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema eólico 133

Figura 70. Análisis de Potencia - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema eólico 133

Figura 71. Análisis de Voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Banco de baterías 134

Figura 72. Análisis de Corriente - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Banco de baterías 134

Figura 73. Análisis de Potencia - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Banco de baterías 135

Figura 74. Mediciones de Temperatura - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo 136

Figura 75. Porcentaje de batería- Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo..... 136

Figura 76. Análisis de Voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – Inversor de voltaje 140

Figura 77. Análisis de Corriente - Pruebas con una tostadora de 750 W – Inversor de voltaje ... 141

Figura 78. Análisis de Potencia - Pruebas con una tostadora de 750 W – Inversor de voltaje..... 141

Figura 79. Análisis de Voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema fotovoltaico 142

Figura 80. Análisis de Corriente - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema fotovoltaico 142

Figura 81. Análisis de Potencia - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema fotovoltaico.. 143

Figura 82. Análisis de Voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema eólico 143

Figura 83. Análisis de Corriente - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema eólico 144

Figura 84. Análisis de Potencia - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema eólico 144
Figura 85. Análisis de Voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – Banco de baterías 145
Figura 86. Análisis de Corriente - Pruebas con una tostadora de 750 W – Banco de baterías 145
Figura 87. Análisis de Potencia - Pruebas con una tostadora de 750 W – Banco de baterías 146
Figura 88. Mediciones de Temperatura - Pruebas con una tostadora de 750 W –..... 146
Figura 89. Porcentaje de batería - Pruebas con una tostadora de 750 W..... 147
Figura 90. Análisis de Voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje 152
Figura 91. Análisis de Corriente - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje 153
Figura 92. Análisis de Potencia - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje 153
Figura 93. Análisis de Voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico 154
Figura 94. Análisis de Corriente - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico ... 154
Figura 95. Análisis de Potencia - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico 155
Figura 96. Análisis de Voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico..... 156
Figura 97. Análisis de Corriente - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico..... 156
Figura 98. Análisis de Potencia - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico 157
Figura 99. Análisis de Voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías..... 158
Figura 100. Análisis de Corriente - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías..... 158
Figura 101. Análisis de Potencia - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías 159
Figura 102. Mediciones de temperatura - Prueba 1 con un Scooter de 500 W 160
Figura 103. Porcentaje de batería - Prueba 1 con un Scooter de 500 W 160
Figura 104. Análisis de Voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje 165
Figura 105. Análisis de Corriente - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje 166
Figura 106. Análisis de Potencia - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje 166
Figura 107. Análisis de Voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico 167
Figura 108. Análisis de Corriente - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico ... 168
Figura 109. Análisis de Potencia - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico 168
Figura 110. Análisis de Voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico..... 169
Figura 111. Análisis de Corriente - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico..... 170
Figura 112. Análisis de Potencia - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico 170
Figura 113. Análisis de Voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías..... 171
Figura 114. Análisis de Corriente - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías..... 172

Figura 115. Análisis de Potencia - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías 172
Figura 116. Mediciones de temperatura - Prueba 2 con un Scooter de 500 W 173
Figura 117. Porcentaje de batería - Prueba 2 con un Scooter de 500 W 174
Figura 118. Análisis de Voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje 179
Figura 119. Análisis de Corriente - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje 180
Figura 120. Análisis de Potencia - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje 180
Figura 121. Análisis de Voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico 181
Figura 122. Análisis de Corriente - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico ... 181
Figura 123. Análisis de Potencia - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico 182
Figura 124. Análisis de Voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico..... 182
Figura 125. Análisis de Corriente - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico..... 183
Figura 126. Análisis de Potencia - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico 183
Figura 127. Análisis de Voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías..... 184
Figura 128. Análisis de Corriente - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías..... 184
Figura 129. Análisis de Potencia - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías 185
Figura 130. Mediciones de temperatura - Prueba 3 con un Scooter de 500 W 185
Figura 131. Porcentaje de batería - Prueba 3 con un Scooter de 500 W 186
Figura 132. Análisis de Voltaje - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Inversor de voltaje 192
Figura 133. Análisis de Corriente - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Inversor de voltaje 192
Figura 134. Análisis de Potencia - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Inversor de voltaje 193
Figura 135. Análisis de Voltaje - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema fotovoltaico 194
Figura 136. Análisis de Corriente - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema fotovoltaico 194
Figura 137. Análisis de Potencia - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema fotovoltaico 195
Figura 138. Análisis de Voltaje – Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema eólico 196
Figura 139. Análisis de Corriente - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema eólico 196

Figura 140. Análisis de Potencia - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema eólico 197

Figura 141. Análisis de Voltaje - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Banco de baterías 198

Figura 142. Análisis de Corriente - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Banco de baterías 198

Figura 143. Análisis de Potencia - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Banco de baterías 199

Figura 144. Mediciones de temperatura - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W 200

Figura 145. Porcentaje de batería - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W 200

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación de la potencia total de los sistemas de generación 55
Ecuación para la corriente del controlador de carga 55
Ecuación de potencia de cada cargador de los vehículos eléctrico 57
Ecuación de la potencia total de los vehículos eléctricos 57
Ecuación de la capacidad de la batería..... 58
Ecuación para el tiempo de carga de la baterías 58
Ecuación de la potencia de la batería 58
Ecuación de la potencia con la que se alimenta la batería 59
Ecuación de la potencia útil de la batería..... 60
Ecuación de la potencia adecuación del inversor..... 61
Ecuación de la protección Sistema fotovoltaico - Controlador de carga 72
Ecuación de la protección Sistema eólico – Controlador de Carga 73
Ecuación de la protección Banco de baterías – (Inversor de voltaje, Controlador de carga)..... 73
Ecuación de la protección termomagnética Inversor – Barras Ac 74
Regla de desigualdad matemática 74
Ecuación de caída de tensión 75
Ecuación del porcentaje de caída de tensión..... 75
Ecuación de dimensionamiento de conductor de la sección Banco de baterías – Inversor..... 76
Ecuación de dimensionamiento del conductor de la sección Inversor - Interruptor termo magnético AC 16 A 76

RESUMEN

El crecimiento acelerado de vehículos eléctricos en Ecuador, evidenciado por el aumento de importaciones de motos eléctricas enfrenta obstáculos críticos: infraestructura de carga limitada, sistemas eléctricos inadecuados y vulnerabilidad ante cortes energéticos, exigiendo soluciones técnicas innovadoras para una movilidad sostenible. Este estudio desarrolla una Powerwall híbrida con energía fotovoltaica y eólica para cargar vehículos eléctricos en la Universidad Técnica del Norte. Su propósito es integrar energías renovables en la movilidad sostenible, reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir emisiones contaminantes, demostrando soluciones prácticas ante la creciente demanda energética. Se implementó la metodología Espiral Modificada de Boehm, adaptada a cuatro fases: Análisis (método documental y entrevistas), Diseño (cálculos técnicos y dimensionamiento), Implementación (método experimental con prototipos) y Pruebas (verificación de mediciones eléctricas). Este ciclo iterativo permitió optimizar progresivamente el sistema Powerwall desarrollado. Las pruebas confirmaron que la Powerwall opera eficientemente en la carga de vehículos eléctricos de la carrera de Electricidad. La simulación con carga resistiva de 5500W, equivalente a tres vehículos conectados simultáneamente, demostró un funcionamiento óptimo del sistema, cumpliendo con los parámetros eléctricos requeridos. Este sistema Powerwall demuestra ser la solución óptima por su relación costo-beneficio y compatibilidad con generación híbrida solar-eólica. Los parámetros de voltaje, corriente y potencia fueron determinantes en su diseño, logrando abastecer eficientemente los tres vehículos eléctricos de la carrera de Electricidad.

Palabras clave: Powerwall, energía renovable, movilidad eléctrica, sostenibilidad, almacenamiento.

ABSTRACT

The accelerated growth of electric vehicles in Ecuador, evidenced by the increase in imports of electric motorcycles, faces critical obstacles: limited charging infrastructure, inadequate electrical systems, and vulnerability to power outages, requiring innovative technical solutions for sustainable mobility. This study develops a hybrid Powerwall with photovoltaic and wind energy to charge electric vehicles at the Universidad Técnica del Norte. Its purpose is to integrate renewable energies in sustainable mobility, reduce dependence on fossil fuels and reduce polluting emissions, demonstrating practical solutions to the growing energy demand. Boehm's Modified Spiral methodology was implemented, adapted to four phases: Analysis (documentary method and interviews), Design (technical calculations and sizing), Implementation (experimental method with prototypes) and Testing (verification of electrical measurements). This iterative cycle allowed to progressively optimize the developed Powerwall system. The tests confirmed that the Powerwall operates efficiently in the charging of electric vehicles of the Electricity course. The simulation with resistive load of 5500W, equivalent to three vehicles connected simultaneously, showed an optimal operation of the system, complying with the required electrical parameters. This Powerwall system proves to be the optimal solution due to its cost-benefit ratio and compatibility with solar-wind hybrid generation. The voltage, current and power parameters were decisive in its design, managing to efficiently supply the three electric vehicles of the Electricity course.

Keywords: Powerwall, renewable energy, electric mobility, sustainability, storage.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El Capítulo 1 de este trabajo de grado proporciona el marco inicial para el desarrollo de una Powerwall alimentada por energía eólica y fotovoltaica, diseñada específicamente para la carga de vehículos eléctricos en la carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte. Este capítulo introduce el contexto actual de la movilidad eléctrica en Ecuador, destacando el notable incremento en la importación y uso de vehículos eléctricos, particularmente motos eléctricas y scooters, como respuesta a los desafíos planteados por la pandemia y la creciente conciencia ambiental.

A lo largo de esta sección, se delinean los objetivos fundamentales del proyecto, que abarcan desde el estudio de tecnologías de almacenamiento de energía hasta la implementación práctica de la Powerwall. Se expone el alcance del trabajo, que incluye un análisis detallado de la demanda energética de los vehículos eléctricos en la carrera de electricidad y el diseño de un sistema de almacenamiento capaz de satisfacer estas necesidades. Además, se justifica la relevancia del proyecto, destacando su potencial para promover la sostenibilidad, disminuir nuestra relación con los combustibles tradicionales y aportar al progreso de las tecnologías limpias en energía sostenible y transporte eléctrico

1.1 Planteamiento del problema

El imparable impulso hacia una movilidad más sostenible y la urgente necesidad de acoplar fuentes de energía limpia plantean retos monumentales. Durante la pandemia, en Ecuador se ha notado un crecimiento considerable en la utilización de motos eléctricas y scooters tipo motocicletas. Según la Cámara de Comercio de Quito (CCQ), entre enero y julio de 2021, la importación de estos vehículos en el país se duplicó en comparación con el mismo período en 2020, pasando de 1,594 a 3,554 unidades. Esta cifra representa un aumento considerable en comparación con el mismo período en 2019, cuando solo se importaron 270 unidades [1]. Aunque contamos con tecnologías avanzadas como la energía solar o la energía eólica y las baterías de almacenamiento, aún persisten obstáculos cruciales en el camino hacia una implementación efectiva de sistemas de carga para vehículos eléctricos como la incorporación a nivel de infraestructura de cargadores o electrolineras y readecuación de los sistemas eléctricos de potencia, esto radica en que se puede incrementar el sistema eléctrico de potencia en el mismo porcentaje que se incrementa la demanda por vehículos eléctricos ya que es costoso.

Además, dentro de la movilidad en el Ecuador se experimentan interrupciones en los servicios o incluso la detención por completo de los sistemas de carga de vehículos eléctricos durante los cortes de energía. Nos enfrentamos a la encrucijada de la creciente demanda de vehículos eléctricos y la

imperiosa tarea de construir una infraestructura de carga que esté a la altura. Estos desafíos no se limitan únicamente a lo técnico y lo ingenieril, sino que se ramifican en consideraciones que exigen soluciones creativas y comprometidas.

1.1.1. Objetivo general

Desarrollar una Powerwall para la carga de vehículos eléctricos mediante el uso de energías eólica y fotovoltaica dentro de la carrera de Electricidad.

1.1.2. Objetivos específicos

- Estudio de las tecnologías y sistemas de almacenamiento de energía alimentadas por fuentes no renovables orientado al desarrollo de la Powerwall
- Identificar los parámetros clave necesarios para el diseño y desarrollo de una Powerwall como sistema de almacenamiento de energía alimentada por fuentes renovables, centrándose en la integración de energía solar y eólica.
- Implementar la Powerwall basado en energía eólica y fotovoltaica

1.2. Alcance y delimitación

Para el desarrollo del sistema de almacenamiento Powerwall se comenzará con una exploración de las tecnologías disponibles para el almacenamiento de energía, se destacará la Powerwall como un sistema clave en este contexto. Además, se describirán los principios de funcionamiento y los parámetros técnicos de los sistemas de generación eólica y fotovoltaica, incluyendo la integración de sus componentes clave con el sistema de almacenamiento.

Posteriormente, se llevará a cabo un análisis de la demanda energética de los vehículos eléctricos en la carrera de Electricidad (Scooter, scooter tipo moto, bicicleta). Este análisis proporcionará información crucial para dimensionar la capacidad de almacenamiento de energía necesaria para complacer las necesidades de carga de los VE.

Los 3 vehículos eléctricos se conectan a una fuente de 120 V en AC y un voltaje de operación de 48 V [2], [3], [4].

Con base en los datos recopilados en el estudio de demanda energética y el sistema de generación eólica y fotovoltaica se procederá al diseño de la Powerwall para cubrir las necesidades de carga de los vehículos eléctricos. Durante este proceso, se establecerán los parámetros técnicos y de rendimiento necesarios para garantizar la fiabilidad del sistema.

La validación del funcionamiento de la Powerwall se realizará mediante pruebas y análisis de rendimiento, mientras que la adquisición de información básica se llevará a cabo a través de fuentes académicas, tecnológicas y normativas pertinentes. Esta información servirá como base teórica para fundamentar las decisiones de diseño y validar los resultados obtenidos. El lugar donde se implementará este sistema de almacenamiento de energía será en los laboratorios de la carrera de Electricidad

1.3. Justificación

El desarrollo de una Powerwall alimentada por energías renovables para la carga de vehículos eléctricos en la carrera de Electricidad representa una respuesta esencial a la creciente demanda de movilidad sostenible y a la necesidad imperativa de adoptar fuentes de energía verde en el sector del transporte.

La factibilidad de adopción de las energías renovables como la eólica y la fotovoltaica para la carga de vehículos eléctricos desde la perspectiva económica representa un ahorro significativo a largo plazo en comparación con los combustibles fósiles tradicionales. Aunque la inversión inicial puede ser alta, los costos operativos son menores debido a la gratuidad de la fuente de energía renovable y la amortización de la inversión se vuelve más rápida con el tiempo. Desde una perspectiva documental mediante investigaciones previas se respalda la viabilidad técnica y económica de las energías renovables y los sistemas de almacenamiento de energía como la Powerwall. Experimentalmente la realización de pruebas piloto y experimentos en entornos controlados proporciona datos concretos sobre el rendimiento de la Powerwall. Estos datos son fundamentales para validar el diseño y optimizar el funcionamiento del sistema, el aprovechamiento de recursos locales y uso de paneles solares y turbinas eólicas permiten maximizar la producción de energía renovable y reducir la dependencia de fuentes de energía no renovable.

Su impacto en la sociedad referente a la adopción de energías renovables contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, además fomenta una movilidad más limpia, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. El desarrollo de la Powerwall tiene un impacto positivo al reducir emisiones e impulsar el progreso tecnológico. La sociedad es directamente beneficiaria ya que se brinda una tecnología en base a energía renovable de uso general.

La tecnología de almacenamiento de energía, representada por la Powerwall, complementa perfectamente estas fuentes de energía intermitente al permitir el almacenamiento y la distribución controlada de la energía generada. Esto garantiza un suministro continuo y estable de energía para la carga de vehículos eléctricos, superando así uno de los principales desafíos asociados con la

intermitencia de las energías renovables ya que es una propuesta viable y prometedora que combina la disponibilidad de fuentes de energía renovable, aprovechar las ventajas de almacenamiento de energía y la creciente demanda de movilidad eléctrica para crear un impacto positivo tanto en el ámbito académico como en el práctico.

1.4. Antecedentes

Los sistemas de almacenamiento de energía son cruciales para abordar los desafíos tecnológicos y económicos globales. La demanda de sistemas de almacenamiento de energía con almacenamiento basado en energías renovables se destaca por su alta potencia, así como su resistencia a temperaturas extremas y su larga durabilidad.

Un estudio realizado y subido a Science Direct para la revisión de tecnologías y aplicaciones en sistemas versátiles de almacenamiento de energía menciona que la cuestión de la energía ha sido una constante preocupación a nivel mundial y ha desempeñado un papel crucial en el progreso global. El creciente problema del calentamiento global también está ganando relevancia como un tema crítico que no puede pasarse por alto. En los últimos 120 años, la temperatura global ha aumentado en 0.8 °C debido a la influencia de las actividades humanas. Además, este estudio indica que el panorama energético mundial atraviesa una profunda transformación debido al agotamiento de combustibles fósiles y la crisis climática. Las energías renovables emergen como alternativa esencial, pero su naturaleza intermitente requiere sistemas de almacenamiento energético (ESS) para garantizar estabilidad. Los sistemas híbridos responden a necesidades complejas del mercado por lo que se explora su implementación en toda la cadena energética, desde la generación hasta el consumo final [5].

Según los datos proporcionados por la Agencia Internacional de Energía (AIE) [2], el suministro total de energía (TES) alcanzó aproximadamente 14,279 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), con las energías renovables, como la biomasa, hidrógeno, solar, eólica, entre otras, representando alrededor de 2,682.7 Mtep, lo que equivale al 18.78% del total. A pesar del continuo aumento en el suministro global de energía, la proporción de combustibles fósiles disminuye cada año, reflejando una creciente preocupación por la reducción de emisiones.

Este cambio en la matriz energética global marca una tendencia significativa hacia la descarbonización. Los análisis de la AIE indican que mientras la demanda energética mundial crece a un ritmo aproximado del 1.3% anual, las fuentes renovables experimentan un incremento superior al 6% cada año. Particularmente, la energía solar fotovoltaica y eólica han registrado tasas de crecimiento exponencial, duplicando su capacidad instalada cada cinco años en muchas regiones. Este fenómeno

responde no solo a políticas gubernamentales orientadas a mitigar el cambio climático, sino también a la creciente competitividad económica de las tecnologías limpias. Los costos de generación renovable han caído drásticamente, haciendo que en numerosos mercados sean ya la opción más económica para nueva capacidad, acelerando así la transición hacia un modelo energético bajo en carbono y más sostenible a largo plazo.

Debido a objetivos ambientales, la tendencia hacia la reducción de emisiones de dióxido de carbono, el aumento de los precios del petróleo y el consumo de energía fósil, se espera que las energías renovables reemplacen en gran medida a las fuentes de energía fósil tradicionales en el futuro [6].

Esta transición energética representa uno de los mayores desafíos y oportunidades del siglo XXI. Los compromisos internacionales establecidos en el Acuerdo de París y reforzados en subsiguientes cumbres climáticas han acelerado la implementación de políticas nacionales orientadas a la descarbonización. Diversos estudios de proyección energética estiman que para 2050, las energías renovables podrían constituir entre el 60% y 85% de la matriz energética global, dependiendo de la ambición de las políticas aplicadas y el ritmo de innovación tecnológica.

La creciente competitividad económica de las tecnologías limpias ha sido un factor determinante en esta evolución. En la última década, los costos de la energía solar fotovoltaica han disminuido aproximadamente un 85%, mientras que los de la energía eólica terrestre se han reducido en más de un 55%. Esta tendencia ha convertido a las renovables en la opción más económica para nueva capacidad de generación en más del 75% de los mercados mundiales, superando incluso a las centrales de carbón y gas natural sin necesidad de subsidios.

La CSEE Journal of Power and Energy Systems (Revista de Sistemas de Potencia y Energía) menciona que, en los últimos años, con el rápido desarrollo de la industria del almacenamiento de energía en baterías, su tecnología ha mostrado las características y tendencias para la integración a gran escala y las aplicaciones distribuidas con colaboración multiobjetivo [7].

Esta evolución representa una transformación fundamental en los sistemas energéticos actuales. Los avances en química de materiales e ingeniería han reducido costos de producción en un 87% durante la última década, permitiendo implementaciones masivas con capacidades multiobjetivo que simultáneamente proveen regulación de frecuencia, gestión de congestión, arbitraje energético y respaldo de emergencia, multiplicando el valor de inversión mediante la agregación de diversos servicios al sistema.

La convergencia entre proyectos de gran escala (superiores a 100 MWh) y aplicaciones distribuidas está creando un nuevo paradigma energético, potenciado por la digitalización avanzada e inteligencia artificial. Estos sistemas optimizan ciclos de carga/descarga, extienden vida útil y maximizan eficiencia operativa, incrementando hasta un 30% el valor económico sin inversiones adicionales en hardware, acelerando la transición hacia un modelo energético descarbonizado, distribuido y digitalizado que redefine fundamentalmente la relación entre generación y consumo eléctrico.

Según el Instituto de Energía Sostenible (ISE) junto con la Universidad Nacional de Tenaga la notable expansión en la adopción de los (VE) ha producido una fuerte alza en la demanda de energía eléctrica a nivel global. El mercado mundial de VE ha experimentado un incremento considerable, pasando de unos pocos cientos en 2010 a alrededor de tres millones en 2017, y aproximadamente seis millones a principios de 2019. Los VE representan un cambio emocionante a los vehículos comúnmente usados. Al operar sin emisiones de carbono, los EV tienen el potencial de disminuir de manera importante el impacto climático total y las emisiones contaminantes [8].

Esta revolución en el transporte continúa acelerándose a un ritmo sin precedentes. Según las proyecciones más recientes, para 2025 se espera que la flota global de VE supere los 50 millones de unidades, siendo aproximadamente el 10% del despacho total de vehículos nuevos en los principales mercados. Este crecimiento exponencial está siendo impulsado por una combinación de factores convergentes: la reducción sostenida en los costos de las baterías (que han disminuido más del 85% desde 2010), el aumento en la autonomía de los vehículos (que ahora supera los 600 km en modelos premium), el incremento de la infraestructura de recarga (con más de 1.3 millones de puntos de carga públicos a nivel mundial) y poner en práctica de políticas gubernamentales favorables, incluyendo prohibiciones futuras de vehículos de combustión interna en numerosos países.

Los análisis del ISE indican que este cambio paradigmático en la movilidad tendrá profundas implicaciones para los sistemas energéticos, requiriendo una capacidad adicional estimada de 525 TWh de generación eléctrica anual para 2030, equivalente aproximadamente al consumo total actual de Francia. Sin embargo, esta integración también presenta oportunidades significativas para la gestión de redes mediante tecnologías vehicle-to-grid (V2G), donde las flotas de vehículos eléctricos podrían actuar como sistemas de almacenamiento distribuido con una capacidad potencial de más de 15 TWh para 2030, contribuyendo a equilibrar la intermitencia de las energías renovables y aportando flexibilidad adicional al sistema eléctrico [8].

En la última década, el ámbito de las energías limpias ha gozado de un auge importante, sobre todo en tecnologías solares y de viento, estas fuentes de energía limpia son opciones excelentes para sustituir los combustibles fósiles, ofreciendo soluciones energéticas sostenibles y también limpias. Una clara ventaja es su vasta disponibilidad global, sobre todo en zonas donde las carencias infraestructurales causan constantes cortes de luz.

Sin embargo, según se recalca en la investigación, el carácter irregular propio de las energías solar y de viento supone un freno para su uso como fuentes energéticas autónomas y fiables en microrredes. En este marco, los Sistemas de Resguardo de Energía con Baterías (BESS) se alzan como elementos clave para certificar un suministro eléctrico ininterrumpido y de gran calidad.

Según se detalla en la revista Science Magazine [9], los BESS realizan la labor esencial de guardar la energía renovable irregular, permitiendo así la creación de microrredes fiables que operan sin pausa y reparten electricidad con eficiencia por medio del equilibrio entre oferta y demanda energética. En el estudio [10] se constata que las tecnologías de resguardo energético actuales abarcan diversas opciones como sistemas hidroeléctricos, baterías, supercondensadores, resguardo térmico y volantes de inercia, entre otras opciones.

Si bien la tecnología hidroeléctrica de bombeo ha logrado el mayor desarrollo hasta la fecha, su puesta en práctica se ve limitada por exigencias geográficas concretas. El documento científico consultado reduce a tres las principales opciones para soluciones ampliables con potencial de desarrollo masivo, resaltando las baterías de iones de litio por su elevada densidad energética y menor coste por capacidad, pese a mostrar una densidad energética mucho menor y costes altos por capacidad energética.

Estas propiedades explican, según el análisis presentado en el estudio, su predominio en usos que precisan altas capacidades energéticas con limitaciones de peso, como los sectores del automóvil y de electrónica de consumo. En la investigación publicada por la revista Journal of Applied Physics [11] se prevé que, tras 2030, las baterías de iones de litio se extenderán a usos en locomotoras y sistemas de pulsación de potencia.

Según el artículo publicado [12], al igual que en la publicación científica [10], los BESS se perfilan como una vía prometedora para el almacenamiento de energía en el futuro. La investigación [13] examina diversos ángulos de indagación vinculados a estos sistemas.

Esta disposición sitúa a los BESS como opciones muy buenas para la regulación de redes eléctricas, lo que ayuda a mejorar la eficacia distributiva y a dar estabilidad a la producción energética

que proviene de fuentes renovables como parques eólicos y solares. Asimismo, gracias a su elevada densidad de potencia y ágil capacidad de reacción, las aplicaciones frecuentes de los BESS abarcan servicios de alimentación continua (SAI), sistemas híbridos y sistemas para el control de la temperatura, lo cual expande de manera notable su posible implementación en distintos panoramas [14].

En el Análisis del uso de Powerwalls en Portugal y Estados Unidos realizado por [15] la solución de batería Powerwall de Tesla ofrece al usuario controlar el uso de la energía almacenada desde paneles solares o la red eléctrica, aprovechando los momentos de tarifas más bajas para ahorrar dinero en las facturas y acelerar la recuperación de la inversión en paneles solares. Se evaluaron tres escenarios para determinar la viabilidad de la inversión: uno con paneles solares conectados a la red y Powerwall sin incentivos de inyección de red, otro con paneles solares desconectados de la red y Powerwall, y el último solo con Powerwall sin paneles solares. Se analizaron varios lugares, incluidos California, Hawái, Alabama y Aljustrel (Portugal), considerando sus diferentes esquemas de facturación e inyección a la red. Los resultados muestran que, en un período de 25 años, una solución desconectada en Hawái puede triplicar la inversión, mientras que, en California, Powerwall sin paneles solares puede duplicarla, haciendo que los otros escenarios sean inviables.

En este capítulo se presenta una inmersión al desarrollo de una Powerwall alimentada por energías renovables para cargar vehículos eléctricos, destacando su relevancia en el contexto actual de movilidad sostenible en Ecuador. A través del análisis del problema, objetivos, alcance y antecedentes, se establece un marco teórico que integra el crecimiento de los vehículos eléctricos con la necesidad de infraestructura energética innovadora. Este enfoque refuerza el impacto del proyecto en la sostenibilidad, el avance tecnológico y la reducción de emisiones.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

La transición hacia una movilidad más sostenible está cobrando impulso en Ecuador, impulsada en parte por la pandemia que ha acelerado la adopción de vehículos eléctricos, especialmente motos y scooters. Este cambio refleja una creciente conciencia ambiental y la investigación de alternativas de transporte más limpias. Sin embargo, el rápido aumento en la demanda de VE presenta desafíos significativos para la infraestructura existente, particularmente en términos de sistemas de carga y capacidad de la red eléctrica.

Aunque la inversión inicial en tecnologías de energía renovable y sistemas de almacenamiento como la Powerwall puede ser considerable, los beneficios a largo plazo son sustanciales. La reducción de los costos operativos, la disminución de la dependencia de fuentes de energía fósiles y la significativa reducción de emisiones de gases justifican esta transición. Además, la integración de energías renovables en el sistema de transporte no solo aborda los desafíos de movilidad, sino que también contribuye a los objetivos más amplios de sostenibilidad y disminución del cambio climático, ofreciendo una solución integral a los retos energéticos y ambientales actuales.

2.1. Vehículos eléctricos

2.1.1. Tipos: scooters, bicicletas eléctricas, motos eléctricas

Los vehículos eléctricos (VE) vehículos eléctricos han vivido una expansión considerable en el período reciente, motivado por la urgencia de disminuir los gases contaminantes y la relación con los combustibles tradicionales.

Los scooters eléctricos son vehículos de dos ruedas compactos y livianos, diseñados para desplazamientos cortos en entornos urbanos. Estos vehículos son populares debido a su facilidad de manejo, bajo costo de operación y emisiones cero [16]. Por otro lado, las bicicletas eléctricas, combinan la propulsión eléctrica con el pedaleo tradicional, lo que permite a los usuarios recorrer distancias más largas sin un esfuerzo excesivo [17]. Finalmente, las motos eléctricas son una opción más potente y versátil, capaz de alcanzar velocidades más altas y recorrer distancias más largas, convirtiéndose en una alternativa atractiva para el transporte urbano y los desplazamientos interurbanos [18].

2.1.2. Tendencias de mercado y adopción en Ecuador

El mercado de VE ha experimentado un ascenso exponencial en los últimos años, impulsado por políticas, incentivos y una mayor conciencia ambiental. Según un informe de la Agencia Internacional de Energía (IEA) [19], las ventas globales de VE alcanzaron los 6,6 millones de unidades en 2021, duplicando las ventas de 2020.

En el caso de Ecuador, el mercado de vehículos eléctricos aún se encuentra en una etapa inicial, pero con un potencial de crecimiento significativo. Según un estudio realizado por [20], la adopción de vehículos eléctricos en Ecuador enfrenta desafíos como la ausencia de infraestructura de carga, los altos costos iniciales y la limitada oferta de modelos disponibles. Sin embargo, el gobierno ecuatoriano ha implementado incentivos fiscales y regulaciones para promover la movilidad eléctrica, lo que podría impulsar la acogida de estos vehículos en los próximos años.

Los vehículos eléctricos ligeros como los scooters, motos tipo scooter y bicicletas eléctricas tienen varias ventajas en Ecuador que los hacen factibles y atractivos para los usuarios. Algunas de las principales razones son [21]:

1. No requieren placa ni matrícula: Al ser considerados vehículos de movilidad personal, los scooters eléctricos no necesitan ser registrados ni matriculados como los vehículos convencionales.

2. No es obligatorio el uso de casco: Aunque se recomienda por seguridad, legalmente no es obligatorio el uso de casco para conductores de scooters eléctricos en Ecuador.

3. Mayor facilidad de venta: Al no requerir documentación especial, la compraventa de estos vehículos es más sencilla y directa.

4. Bajo costo de mantenimiento: Los scooters eléctricos tienen menos partes móviles que los vehículos de combustión interna, lo que reduce los costos de mantenimiento.

5. Beneficios ambientales: Al no emitir gases contaminantes durante su uso, contribuyen a mejorar la calidad del aire en las ciudades.

6. Facilidad de estacionamiento: Su tamaño compacto permite estacionarlos en espacios reducidos, lo que es una ventaja en ciudades congestionadas.

7. Menor costo de operación: La electricidad es generalmente más barata que los combustibles fósiles, lo que reduce el costo por kilómetro recorrido.

2.1.3. Carga de vehículos eléctricos

La carga de vehículos eléctricos: Avances y desafíos. Los vehículos eléctricos (VE) están ganando popularidad como un cambio más sostenible a los vehículos comúnmente usados. Sin embargo, uno de los principales desafíos para su adopción masiva es la infraestructura de carga. En los últimos años se han logrado progresos significativos en este sector, tanto en velocidad de carga como en disponibilidad de puntos de recarga.

Un área de desarrollo prometedora es la carga inalámbrica. Esta tecnología permite cargar las baterías de los VE sin necesidad de cables, simplemente estacionando el vehículo sobre una plataforma de carga. Estudios recientes han demostrado la viabilidad de sistemas de carga inalámbrica dinámica, que podrían instalarse en las carreteras para cargar los vehículos mientras circulan [22].

Otro aspecto crucial es la integración de la carga de VE en las redes eléctricas existentes. El incremento de la demanda de electricidad debido a la carga de VE podría suponer un reto para la estabilidad de la red. Sin embargo, los VE también podrían utilizarse como sistemas de almacenamiento distribuido, devolviendo energía a la red en momentos de alta demanda. Este concepto, conocido como "vehicle-to-grid" (V2G), está siendo objeto de numerosas investigaciones y proyectos piloto [23].

2.2. Normativas y estándares

El cumplimiento de las normativas y estándares vigentes es fundamental para garantizar la seguridad, calidad de los sistemas de almacenamiento de energía, como la Powerwall, y su adecuada integración con fuentes de energía renovable. En el contexto ecuatoriano, existen regulaciones y normas específicas que deben ser consideradas.

2.2.1. Regulaciones para sistemas de almacenamiento de energía

En Ecuador, el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR) y la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARC) son los organismos encargados de establecer las regulaciones para los sistemas de almacenamiento de energía. Según [24], se han establecido lineamientos técnicos y legales para la implementación de estas tecnologías, con el objetivo de promover su desarrollo y garantizar su correcta operación.

Por otro lado, el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) ha adoptado normas internacionales como la IEC 62933-5-2:2020 [25], que establece los requisitos de seguridad y operacionales para los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica mediante baterías.

2.2.2. Normas para la integración de energías renovables

En cuanto a la integración de fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, el Ecuador cuenta con una serie de normas y reglamentos que regulan su implementación y conexión a la red eléctrica nacional. La Regulación No. ARCONEL-003/18 [26] establece los requisitos técnicos y procedimientos para la conexión de generadores renovables no convencionales a la red de distribución. Además, el Reglamento para la Regulación No. ARCONEL-003/18 [27] proporciona lineamientos específicos para la integración de sistemas fotovoltaicos y eólicos, incluyendo aspectos de diseño, instalación y operación.

Por otro lado, el Código Eléctrico Ecuatoriano [28] y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-EN 62109-1 [29] establecen requisitos de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética para la integración de sistemas de generación renovable y almacenamiento de energía.

2.3. Funcionamiento, gestión y control de la POWERWALL

La Powerwall de Tesla es un sistema de almacenamiento de energía residencial diseñado para mejorar el consumo de energía solar, proporcionar respaldo de energía y permitir la independencia energética. Desde su introducción en 2015, la Powerwall ha evolucionado para convertirse en una solución integral para la gestión de energía.

2.3.1. Principios de Funcionamiento

La Powerwall de Tesla funciona bajo el principio de almacenamiento de energía en baterías de iones de litio. El sistema está diseñado para integrarse con paneles solares residenciales, la red eléctrica convencional y los sistemas eléctricos del hogar. Los principios clave de funcionamiento incluyen:

a) Almacenamiento de Energía Solar: Durante el día, cuando los paneles solares generan más electricidad de la que se consume, la Powerwall almacena el exceso de energía.

b) Suministro de Energía: En momentos de baja producción solar o alta demanda, la Powerwall proporciona la energía almacenada al hogar.

c) Respaldo de Energía: En caso de cortes de energía, la Powerwall puede actuar como fuente de respaldo, suministrando electricidad a los circuitos esenciales del hogar.

d) Optimización de Tarifas: En regiones con tarifas eléctricas variables, la Powerwall puede cargarse durante períodos de bajo costo y suministrar energía durante períodos de alto costo [30].

2.3.2. Descripción general de componentes

La Powerwall de Tesla consta de varios componentes clave que trabajan en conjunto para proporcionar un sistema de almacenamiento de energía eficiente y confiable. Los principales componentes incluyen:

a) Banco de Baterías

b) Controlador de Carga

c) Controlador Inversor

d) Sistema de Gestión Térmica

e) Gateway de Tesla

2.3.3. Banco de Baterías

El corazón de la Powerwall es su banco de baterías de iones de litio. La Powerwall 2 utiliza celdas de batería similares a las encontradas en los vehículos eléctricos de Tesla, específicamente la química NMC (Níquel-Manganeso-Cobalto) El banco de baterías está diseñado para soportar miles de ciclos de carga y descarga, con una garantía de 10 años [31].

Especificaciones clave:

Capacidad: 13.5 kWh

Potencia continua: 5 kW

Potencia pico: 7 kW

Eficiencia de ida y vuelta: 90%

2.3.4. Controlador – Regulador de carga

La Powerwall integra avanzados sistemas de control para optimizar el almacenamiento y uso de energía. Cuenta con 6 reguladores de carga MPPT (Maximum Power Point Tracking), cada uno capaz de manejar una corriente máxima de 13 A. Estos reguladores ajustan dinámicamente el voltaje de los paneles solares para aprovechar su máxima potencia, permitiendo una carga más efectiva de la batería y asegurando el uso óptimo de la energía solar disponible.

El diseño de la Powerwall combina el módulo inversor y la batería en un solo dispositivo, simplificando la instalación y mejorando el rendimiento general. Con una potencia máxima de carga continua de 5 kW DC, el sistema puede almacenar energía rápidamente durante períodos de exceso de

producción solar. Los reguladores MPPT aseguran que la energía se suministre a la batería de manera óptima, contribuyendo a aumentar su vida útil y mejorar el rendimiento general del sistema de almacenamiento [32].

2.3.5. Sistema Inversor

La Tesla Powerwall 3 representa un progreso significativo en la tecnología de almacenamiento de energía doméstica, principalmente debido a su inversor híbrido integrado. Esta característica innovadora permite que la Powerwall 3 se adapte a sistemas de energía solar de mayor capacidad en comparación con sus versiones anteriores. La integración del inversor en el sistema de la batería no solo aumenta la potencia global del dispositivo, sino que también simplifica la instalación y mejora el rendimiento energético. Esta configuración hace que la Powerwall 3 sea particularmente adecuada para su instalación junto con nuevos sistemas solares, ofreciendo una solución más completa y potente para el almacenamiento y gestión de energía en entornos residenciales [33].

2.3.6. Sistema de gestión térmica

El Sistema de Gestión Térmica (SGT) de la Powerwall de Tesla es importante para mantener el rendimiento óptimo y la longevidad de las baterías. Este sistema sofisticado opera de manera continua para asegurar que las celdas de la batería permanezcan dentro de su rango de temperatura ideal, típicamente entre 15°C y 35°C. Estos son los componentes principales del SGT:

- **Sensores de Temperatura Integrados:**

Múltiples sensores distribuidos en todo el paquete de baterías

Monitoreo en tiempo real de la temperatura de cada módulo de batería

- **Sistema de Refrigeración Líquida:**

Circuito cerrado de refrigerante

Intercambiador de calor para disipación térmica

Bomba de circulación de bajo consumo

- **Algoritmos de Control Térmico Adaptativo:**

Ajuste dinámico del flujo de refrigerante basado en la carga y temperatura ambiente

Predicción de necesidades de enfriamiento basada en patrones de uso históricos

El SGT de la Powerwall emplea una estrategia de enfriamiento proactivo. Durante períodos de alta demanda o temperaturas ambientales elevadas, el sistema puede activar el enfriamiento preventivo para mantener las baterías en condiciones óptimas antes de que se produzca un aumento significativo de la temperatura. Según un estudio reciente, el SGT de la Powerwall ha demostrado ser capaz de mantener las fluctuaciones de temperatura de las celdas dentro de un rango de ±3°C, incluso en condiciones de carga y descarga extremas. Esto resulta en una degradación de la capacidad de la batería de solo un 2% anual en condiciones normales de uso [34].

2.3.7. Gateway de Tesla

El Gateway de Tesla es el cerebro operativo del sistema Powerwall, actuando como un hub central de comunicación y control. Este dispositivo integra la Powerwall con los sistemas del hogar, la red eléctrica y la infraestructura en la nube de Tesla. Estas son las funcionalidades clave del Gateway:

- **Monitoreo en Tiempo Real:**

Medición precisa del consumo energético del hogar

Seguimiento de la producción solar (si está instalada)

Visualización del flujo de energía entre la red, la Powerwall y el hogar

- **Control Inteligente:**

Algoritmos de optimización para maximizar el autoconsumo solar

Gestión de cargas críticas durante cortes de energía

Implementación de estrategias de arbitraje de tarifas eléctricas

- **Conectividad y Comunicación:**

Conexión Wi-Fi para comunicación con la nube de Tesla

Protocolo de comunicación Modbus para integración con inversores solares

API REST para integración con sistemas domóticos de terceros

- **Actualizaciones de Software Over-the-Air (OTA):**

Mejoras continuas de funcionalidad y seguridad

Adaptación a nuevas regulaciones energéticas sin intervención física

- **Seguridad y Protección:**

Encriptación de extremo a extremo para todas las comunicaciones

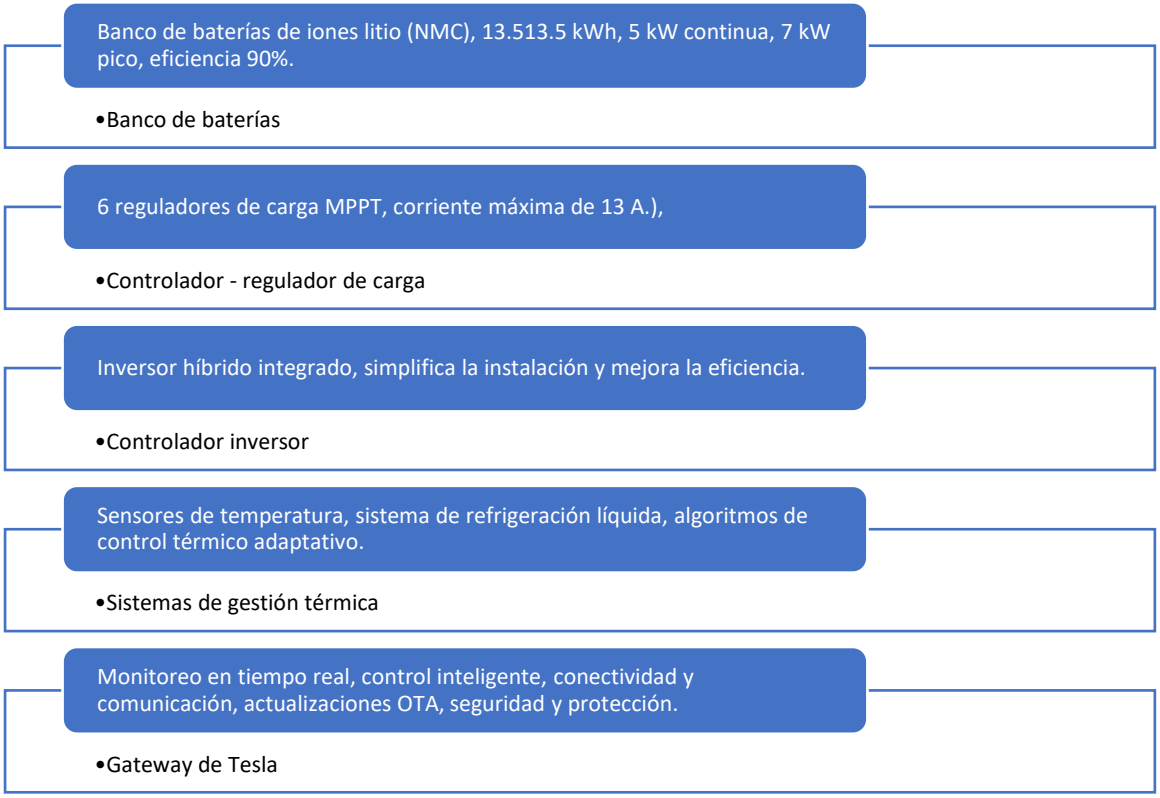
Firewall integrado para protección contra amenazas cibernéticas

Detección y mitigación automática de anomalías eléctricas

Un estudio reciente sobre la integración de sistemas de almacenamiento de energía en hogares inteligentes destacó la importancia del Gateway de Tesla. Los investigadores encontraron que los hogares equipados con Powerwall y Gateway lograron una reducción promedio del 78% en la dependencia de la red eléctrica durante las horas pico, principalmente debido a las capacidades avanzadas de predicción y optimización del Gateway [35].

2.3.8. Gráfico de bloques de componentes

Figura 1. Gráfico de componentes de sistema PowerWall de TESLA



2.4. Sistema de almacenamiento de energía

El almacenamiento de energía es un componente crucial en la transición hacia un sistema energético más sostenible y eficiente. A medida que aumenta la penetración de las energías renovables, la necesidad de sistemas de almacenamiento confiables y eficientes se vuelve cada vez más importante. Este documento presenta una visión general de las principales tecnologías disponibles para el almacenamiento de energía.

Tecnologías de almacenamiento de energía

- **Baterías**

Las baterías son una de las formas más versátiles de almacenamiento de energía. Entre los tipos más relevantes se encuentran:

a) Baterías de iones de litio: Ofrecen alta densidad energética. Son ampliamente utilizadas en dispositivos electrónicos, vehículos eléctricos y, cada vez más, en aplicaciones de red.

b) Baterías de plomo-ácido: Tecnología madura y de bajo costo, comúnmente usada en automóviles y sistemas de respaldo.

c) Baterías de flujo: Permiten el almacenamiento de grandes cantidades de energía y son adecuadas para aplicaciones estacionarias.

- **Almacenamiento mecánico**

a) Bombeo hidráulico: Es la forma más utilizada de almacenamiento a gran escala. Utiliza la energía potencial del agua bombeada a un reservorio elevado.

b) Aire comprimido: Almacena energía comprimiendo aire en cavernas subterráneas o tanques.

c) Volantes de inercia: Almacenan energía en forma de energía cinética rotacional.

- **Almacenamiento térmico**

Incluye tecnologías como el almacenamiento en sales fundidas, utilizado en plantas de energía solar concentrada, y materiales de cambio de fase.

- **Almacenamiento químico**

El hidrógeno puede ser producido mediante electrólisis y luego utilizado en celdas de combustible para generar electricidad.

Según un estudio reciente, "La integración de múltiples tecnologías de almacenamiento de energía, conocida como sistemas híbridos de almacenamiento de energía (HESS), está emergiendo como una solución prometedora para abordar las limitaciones de las tecnologías individuales y mejorar la flexibilidad y productividad general del sistema energético" [36].

2.5. Baterías

Las baterías son dispositivos electroquímicos que almacenan energía química y la convierten en energía eléctrica cuando se necesita. Están compuestas por una o más celdas, cada una con un ánodo (electrodo negativo), un cátodo (electrodo positivo) y un electrolito que permite el movimiento de iones

entre los electrodos. Cuando una batería se conecta a un circuito, se produce una reacción química que libera electrones, generando así una corriente eléctrica. Este proceso es reversible en las baterías recargables, permitiendo su uso repetido [37].

Las baterías funcionan como fuentes de energía portátiles y versátiles, esenciales en una amplia gama de aplicaciones modernas. Se utilizan en dispositivos electrónicos como teléfonos móviles, ordenadores portátiles y tabletas, proporcionando movilidad y autonomía. En el sector automotriz, las baterías avanzadas, especialmente las de ión-litio, han permitido el desarrollo de vehículos eléctricos e híbridos, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Además, las baterías desempeñan un papel crucial en el almacenamiento de energía renovable, ayudando a equilibrar la red eléctrica y facilitando la transición hacia fuentes de energía más sostenibles [38].

2.5.1. Tipos de baterías y características

Tabla comparativa de tipos de baterías [39, 40, 41, 42, 43]

Características	Gel	Ión - Litio	Plomo - ácido	Sodio	LIFePO4
Densidad energética (Wh/kg)	30-50	100-265	30-50	90-120	90-160
Capacidad típica (Ah)	20-200	1-100	20-200	10-100	10-200
Ciclos de vida	500-1000	500-1500	200-300	2000-4500	2000-7000
Tiempo de carga	8-16 horas	1-4 horas	8-16 horas	4-8 horas	1-3 horas
Voltaje nominal por celda	2V	3.6V-3.7V	2V	2.6V	3.2V-3.3V
Temperatura de operación	-20°C a 50°C	-20°C a 60°C	-20°C a 50°C	-20°C a 60°C	-20°C a 60°C
Costo relativo	Medio	Alto	Bajo	Medio-Alto	Medio-Alto

2.5.2. Curva de carga de descarga de las baterías

La curva de carga y descarga de una batería describe la relación entre el voltaje y la capacidad de la batería durante estos procesos. La curva de carga muestra cómo el voltaje aumenta a medida que la batería se carga, mientras que la curva de descarga muestra cómo el voltaje disminuye a medida que la batería se descarga [44]. Estas curvas son esenciales para comprender el comportamiento y las características de la batería, y varían según el tipo de batería y las condiciones de operación.

2.5.3. Análisis de densidad energética de cada una de las baterías

La densidad energética es un parámetro clave que determina la capacidad de almacenamiento de energía de una batería por unidad de volumen o masa. Las baterías de ion-litio tienen una alta densidad energética, generalmente entre 100-265 Wh/kg [45]. Las baterías de plomo-ácido tienen una densidad energética más baja, alrededor de 30-50 Wh/kg [46]. Las baterías de gel, al ser una variante de las baterías de plomo-ácido, tienen una densidad energética similar. Las baterías de flujo, por otro lado, tienen una densidad energética relativamente baja, alrededor de 25-35 Wh/kg [47].

2.5.4. Dimensionamiento del almacenamiento de las baterías para sistemas fotovoltaicos

El dimensionamiento adecuado del sistema de baterías es crucial para garantizar un suministro confiable de energía en sistemas fotovoltaicos. Varios factores deben considerarse, como la demanda energética, la radiación solar disponible, la capacidad del sistema y los días de autonomía requeridos. Un estudio reciente [48] propone un método de dimensionamiento basado en la energía promedio mensual necesaria y los datos de radiación solar para determinar la capacidad de almacenamiento y el número de baterías requeridas.

2.5.5. Días de autonomía de las baterías

Los días de autonomía de las baterías se refieren al número de días que un sistema de baterías puede suministrar energía sin recibir carga adicional. Este parámetro es crucial en sistemas fotovoltaicos para garantizar un suministro confiable de energía durante períodos de baja radiación solar o condiciones climáticas adversas. Según [49], los sistemas fotovoltaicos residenciales típicamente requieren 2-5 días de autonomía, mientras que los sistemas comerciales e industriales pueden requerir hasta 7 días de autonomía.

2.6. Energías renovables para carga de vehículos eléctricos

Las energías renovables, específicamente la eólica y la fotovoltaica, para la carga de vehículos eléctricos son importantes para el desarrollo de la Powerwall. Se exploran los componentes, funcionamiento y eficacia de los sistemas eólicos, así como los tipos de paneles solares, su rendimiento y los factores ambientales que los afectan. Además, se discute la integración de ambos sistemas en configuraciones híbridas para una mayor confiabilidad. El texto también analiza los desafíos asociados con la variabilidad de estas fuentes de energía y destaca el papel crucial de los vehículos eléctricos alimentados por fuentes de energía limpia para disminuir los gases contaminantes y frenar el calentamiento global

2.6.1 Energía eólica: componentes, funcionamiento

La energía eólica se ha posicionado como una fuente de energía renovable prometedora para la carga de vehículos eléctricos. Los sistemas eólicos modernos constan de varios componentes clave, como las turbinas eólicas, el generador eléctrico, el sistema de control y el sistema de transmisión [50]. El funcionamiento se basa en la conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica mediante la rotación de las aspas de la turbina, que acciona un generador eléctrico [51]. El rendimiento de los sistemas eólicos depende de factores como la velocidad del viento, el diseño de las turbinas y la tecnología de conversión de energía utilizada [52].

2.6.2 Energía fotovoltaica: tipos de paneles, rendimiento y factores ambientales

Los sistemas fotovoltaicos son otra alternativa renovable para la carga de vehículos eléctricos. Hay diversas variedades de celdas solares, incluyendo las de cristal único, multi cristalinos y de capa fina, donde cada modelo presenta sus particulares cualidades y rendimientos [53]. La productividad de los paneles solares se ve afectado por factores ambientales, como la radiación solar, la temperatura, la orientación y la inclinación de los paneles [54]. Además, se han desarrollado tecnologías como los sistemas de seguimiento solar y los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios para maximizar la captación de energía solar [55].

2.6.3 Integración de sistemas eólicos y fotovoltaicos y el manejo de un sistema híbrido

La integración de sistemas eólicos y fotovoltaicos en un sistema híbrido ofrece una solución más robusta y confiable para la carga de vehículos eléctricos. Estos sistemas combinan las fortalezas de ambas fuentes de energía renovable, compensando la intermitencia de una con la disponibilidad de la otra [56]. El manejo de un sistema híbrido implica la optimización de la generación de energía, el almacenamiento y la distribución, lo que requiere estrategias de control y gestión de energía avanzadas [57]. Además, se deben considerar aspectos como la sincronización de la carga de los vehículos eléctricos con la disponibilidad de energía renovable y la integración de sistemas de almacenamiento de energía para garantizar un suministro estable [58].

2.6.4 Variabilidad de la energía solar y eólica

En condiciones de baja radiación solar y lluvia prolongada, los sistemas fotovoltaicos con baterías pueden enfrentar desafíos para mantener un suministro adecuado de energía. En tales situaciones, las baterías juegan un papel crucial al proporcionar energía almacenada previamente. Sin embargo, si las condiciones adversas persisten, las baterías eventualmente se agotarán, y el sistema

puede requerir una fuente de energía auxiliar o una reducción del consumo para evitar un apagón completo [59].

2.6.5 Contribución de los vehículos eléctricos para disminución de emisiones de gases de efecto invernadero utilizando energía proveniente de fuentes de energía renovable.

Los vehículos eléctricos (VE) tienen un papel fundamental en la reducción de las emisiones de carbono y la mitigación del cambio climático, especialmente cuando se alimentan de fuentes de energía renovables. Varios estudios han analizado el impacto de los VE en las emisiones de carbono a través de su desarrollo, incluyendo la producción, el uso y el reciclaje.

Una investigación realizada por la Universidad de Toronto [60] comparó las (GEI) de los VE y los vehículos de combustión interna (VCI) en diferentes regiones de Canadá. Los resultados mostraron que, en áreas donde la red eléctrica depende en gran medida de fuentes renovables como la energía hidroeléctrica, los VE pueden reducir las emisiones de GEI en más del 90% en comparación con los VCI convencionales a gasolina.

Otro estudio investigativo del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) [61] evaluó el impacto ambiental de los VE alimentados por diferentes fuentes de energía. Los resultados revelaron que cuando los VE se cargan con electricidad generada a partir de fuentes renovables como la energía eólica o solar, las emisiones de gases de efecto invernadero se reducen sustancialmente en comparación con los VCI. Sin embargo, si los VE se cargan con electricidad generada a partir de recursos fósiles como el carbón, las reducciones de emisiones son mínimas o incluso pueden aumentar.

Además de las reducciones directas en las CO_2, los VE alimentados por energías renovables también contribuyen indirectamente a la mitigación del cambio climático al disminuir la demanda de recursos fósiles y promover el cambio hacia un sistema energético más sustentable. Conforme se incorporen más recursos de energía limpia en los, los beneficios ambientales de los VE se maximizarán aún más.

Es importante destacar que para usar el máximo el potencial de los VE en la reducción de emisiones es necesario adoptar un enfoque integral que considere no solo la etapa de uso, sino también la fabricación y el reciclaje de los vehículos y sus materiales, como las baterías. Además, la red de carga eficiente, creación de marcos normativos y la educación pública son factores clave para impulsar la adopción masiva de los (VE).

2.7 Impacto ambiental y socioeconómico

La adopción de energías renovables como la eólica y la fotovoltaica para la carga de automóviles electrificados genera una influencia considerable en la disminución de gases contaminantes (GEI) y la mitigación del cambio climático. Según un estudio realizado por [62], la implementación de sistemas de carga de vehículos eléctricos alimentados por energías renovables podría reducir las emisiones de CO2 en un 70% en comparación con los vehículos convencionales de combustión interna. Además, el uso de tecnologías de almacenamiento de energía como la Powerwall contribuye a maximizar el aprovechamiento de las fuentes renovables y disminuir el uso de los combustibles fósiles.

Desde una un punto de vista socioeconómico, la viabilidad económica de las energías renovables y los sistemas de almacenamiento como la Powerwall ha sido objeto de numerosos estudios. Un análisis de costo-beneficio realizado por [63] reveló que, a pesar de la inversión inicial más alta, los sistemas de energía renovable con almacenamiento de energía pueden ser más rentables a largo plazo debido a los bajos gastos de funcionamiento y cuidado frente a las fuentes energéticas tradicionales. Además, la adopción de estas tecnologías puede crear nuevas oportunidades de empleo y fomentar el desarrollo económico local.

2.8 Infraestructura de carga para V.E

El despliegue de una infraestructura de carga adecuada para vehículos eléctricos (VE) es un factor clave para simplificar la acogida de esta tecnología. Esta infraestructura debe abordar diferentes aspectos, como la instalación de electrolineras y sistemas de carga, la adaptación de las redes eléctricas existentes y la superación de desafíos técnicos mediante soluciones innovadoras.

2.8.1 Electrolineras y sistemas de carga

Las electrolineras o estaciones de carga para VE ejercen un papel crucial en la expansión de la movilidad eléctrica. Estas instalaciones pueden variar en cuanto a su capacidad, nivel de potencia y tipo de carga (lenta, semirápida o rápida) [64]. Además, se están explorando nuevos enfoques, como las estaciones de carga móviles y las redes de carga inalámbricas, para brindar mayor flexibilidad y comodidad a los usuarios [65].

2.8.2 Adaptación de redes existentes

La ascendente demanda de energía debido a la adopción de VE plantea desafíos para las redes eléctricas convencionales. Se requieren esfuerzos para reforzar y modernizar estas redes, incluyendo la implementación de sistemas de gestión de energía inteligentes, la incorporación de fuentes de energía renovables y el uso de tecnologías de almacenamiento de energía [66].

2.8.3 Desafíos técnicos y soluciones innovadoras

El desarrollo de un equipo de carga para VE implica abordar varios desafíos técnicos, como la estandarización de protocolos de comunicación, la interoperabilidad entre diferentes sistemas, la gestión de la carga y la integración con redes inteligentes. Soluciones innovadoras, como la carga bidireccional (Vehicle-to-Grid, V2G) y la incorporación de la IA y el aprendizaje automático, están siendo exploradas para mejorar el rendimiento y el rendimiento de esta infraestructura [67], [68].

2.8 Casos de estudio y experiencias previas

El estudio de casos y experiencias previas en la implementación de sistemas de carga como la Powerwall es fundamental para comprender los desafíos, beneficios y lecciones aprendidas en diferentes contextos y escenarios. Esto permite identificar mejores prácticas y estrategias efectivas para una implementación exitosa.

2.8.1 Implementaciones de Powerwall en diferentes contextos

Varios estudios han explorado la implementación de la Powerwall de Tesla en diversos entornos, evaluando su desempeño y viabilidad técnico-económica. En [69], se analiza el uso de la Powerwall en Alemania, Hawái y California, considerando diferentes esquemas de facturación e inyección a la red. Los resultados muestran que, en Hawái, una solución desconectada con Powerwall puede triplicar la inversión en un lapso de 25 años, mientras que, en California, la Powerwall sin paneles solares puede duplicarla.

En [70], se expone un caso de estudio en Australia, donde se implementó un sistema híbrido de energía renovable con Powerwall para una población rural. El sistema logró una reducción significativa en las emisiones de carbono y una alta confiabilidad en el suministro de energía.

Por otro lado, [71] describe la implementación de la Powerwall en una comunidad remota de Canadá, donde se integró con generación eólica y fotovoltaica. El sistema demostró una alta eficacia energética y una reducción en los costos de operación en comparación con los sistemas convencionales basados en diésel.

2.8.2 Antecedentes a nivel mundial

Las pruebas de resultados son cruciales para analizar el desempeño real de los sistemas de almacenamiento de energía como la Powerwall y validar los modelos y simulaciones previas. En [72], se realizaron pruebas extensivas de un sistema de Powerwall integrado con paneles solares en un hogar

en Alemania. Los resultados mostraron una alta productividad energética y una capacidad de respaldo confiable durante interrupciones de la red.

Otro estudio [73] llevó a cabo pruebas de campo en un sistema híbrido de energía renovable con Powerwall en una población rural de México. Los resultados demostraron una reducción significativa en la tarifa de operación y una alta fiabilidad en el suministro de energía, incluso en condiciones climáticas adversas.

Finalmente, [74] presenta los resultados de pruebas de ciclos de vida acelerados en la Powerwall, evaluando su degradación y capacidad de almacenamiento a lo largo del tiempo. Este estudio proporciona información estimable para optimizar la gestión y control del sistema, y maximizar su vida útil.

En ese capítulo se presenta un estudio de los VE y su acogida en Ecuador, destacando el papel de sistemas como la Powerwall y las baterías avanzadas. Se abordan las energías renovables y su integración, resaltando su contribución a la sostenibilidad y la reducción de emisiones. Además, se analizan normativas, desafíos en infraestructura de carga, y casos de estudio, estableciendo una base sólida para la movilidad eléctrica sostenible.

CAPITULO III

METODOS Y MATERIALES

Este capítulo explica el enfoque metodológico usado para ejecutar el proyecto de grado. Se describen los materiales y métodos a utilizar además de las ecuaciones para los cálculos y dimensionamientos tanto para los equipos seleccionados, el sistema de protección y los conductores. También se argumenta por qué se seleccionaron estos componentes específicos, considerando tanto sus características técnicas como su disponibilidad.

3.1. Metodología

La metodología utilizada es la Espiral Modificada, inspirada por el modelo de Boehm, ya que es un enfoque eficaz para proyectos de ingeniería que incluyen el diseño de prototipos. Su ciclo dinámico permite mejorar continuamente los resultados y mitigar los riesgos.

En la siguiente figura se describe cuatro fases repetitivas en su Modelo en Espiral: Diseño, Evaluación de Riesgos, Desarrollo y Revisión con Retroalimentación. No obstante, se redujo a Análisis, Diseño, Implementación y Pruebas, conservando el ciclo dinámico como un desarrollo investigativo basado en la experimentación. Esta adaptación se realizó porque no existen riesgos económicos en este proyecto, ya que no fue desarrollado con fines mercantiles.

Figura 2. Método Espiral Modificado

Nota: Método de Espiral adaptado a este proyecto.

El análisis se usó el método documental, mediante la recopilación de información sobre la estructura básica de un sistema Powerwall en el que se basa este proyecto. Además, se realizaron tutorías

con el tutor de este trabajo de grado, el Ing. Francisco Naranjo, como parte de la recolección de datos para el análisis de requerimientos y la planificación del diagrama de funcionamiento inicial.

Para el diseño, se determinaron los componentes a través de cálculos y de la documentación y fichas técnicas proporcionadas por los desarrolladores de los equipos implementados, y se revisaron sus capacidades y elementos técnicos. También se realizaron cálculos para dimensionar los conductores, así como para determinar las protecciones.

En la fase de implementación, se aplicó el método experimental, probando diversas formas de implementación del sistema Powerwall y verificando parámetros como las mediciones obtenidas.

La pruebas se realizaron bajo el mismo enfoque experimental, se comprobó la correlación de las mediciones eléctricas utilizando otros instrumentos en distintos tipos de carga, y se llevó a cabo un muestreo de las mediciones de la energía recolectada a lo largo de diferentes intervalos de tiempo, representados mediante gráficos y tablas.

3.2. Descripción del área de estudio.

El lugar donde se desarrollará el proyecto de grado será en la Universidad Técnica del Norte en los laboratorios de la carrera de Electricidad que se encuentra al margen derecho del río Tahuando, al suroeste de la entrada principal de la Universidad. Con coordenadas 0°21'27.3"N 78°06'43.3"W, con latitud y longitud 0.357583, -78.112028.

Figura 3. Punto de ubicación donde se va a implementar el proyecto [75].

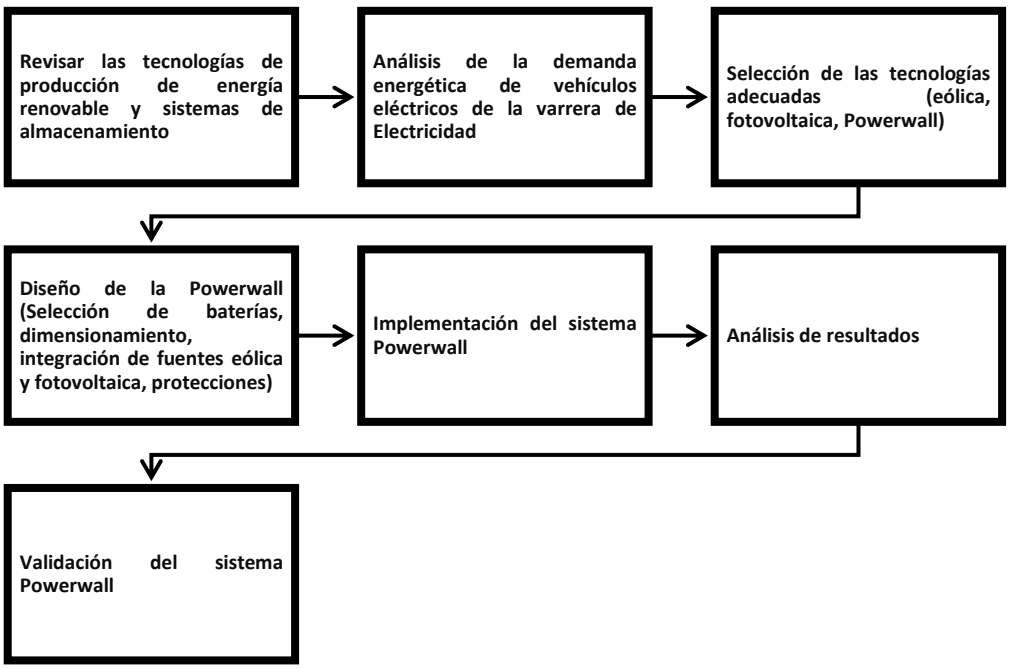
Para satisfacer las exigencias de la sociedad y el ámbito laboral, así como atender las necesidades y desafíos del sector energético y manufacturero nacional, durante 1999 se estableció el programa de Tecnología en Electricidad dentro de la Facultad de Educación, Ciencia y Tecnología

(FECYT). Más adelante, tras una reestructuración académica realizada en 2003, se desarrolló la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, la cual operó en esa misma facultad hasta 2015, cuando se trasladó para integrarse a los programas de ingeniería de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA). Dispone de instalaciones especializadas que incluyen: espacio de control; centro de automatización; laboratorio de potencia; instalaciones de tecnología eléctrica; centro de máquinas eléctricas; y zona de maniobras.

3.3. Tipo de investigación

La investigación se clasifica como aplicada, experimental y descriptiva. Es aplicada porque busca desarrollar una solución práctica (Powerwall) para un problema específico (carga de vehículos eléctricos). Es experimental ya que implica la implementación y prueba de la Powerwall en condiciones controladas. Y es descriptiva porque analiza y describe las características y el rendimiento del sistema desarrollado.

Figura 4. Diagrama de flujo para identificar y evaluar los diferentes elementos



3.3.1. Métodos

Los métodos utilizados dentro de la metodología de Espiral incluyen el método analítico-sintético, que descompone el sistema Powerwall en sus componentes clave (energía eólica, fotovoltaica, almacenamiento, carga de vehículos) para luego integrarlos en una solución global. El método

experimental se aplicará en la implementación y prueba del sistema en condiciones controladas. Finalmente, el método deductivo permitirá aplicar principios generales de energías renovables y almacenamiento al caso específico de la carga de VE en el contexto de la carrera de Electricidad.

Método Analítico-Sintético: Se utilizará para descomponer el sistema de Powerwall en sus componentes (energía eólica, fotovoltaica, almacenamiento, carga de vehículos) y luego integrarlos en una solución completa.

Método Experimental: Se aplicará en la implementación y prueba del sistema Powerwall en condiciones controladas.

Método Deductivo: Se empleará para aplicar principios generales de energías renovables y almacenamiento de energía al caso específico de la carga de vehículos eléctricos en la carrera de Electricidad.

3.3.1.1. Enfoque

El enfoque es cuantitativo, abarcando el análisis de la demanda energética de los VE, los cálculos para el rendimiento el sistema Powerwall, el modelado y la simulación de los sistemas de energía, así como las mediciones de la productividad del sistema.

3.3.1.2. Técnicas

Las técnicas empleadas incluyen la revisión bibliográfica, que implicará una búsqueda y análisis de literatura sobre energías renovables, almacenamiento y carga de vehículos eléctricos. El modelado y simulación de sistemas de energía se realizará con herramientas de software para optimizar el diseño y predecir la productividad del sistema Powerwall. La medición de parámetros eléctricos usará instrumentos de precisión para registrar voltajes, corrientes y otros aspectos del sistema. Finalmente, el análisis de datos de rendimiento permitirá evaluar la efectividad del sistema y validar los objetivos del proyecto.

Revisión bibliográfica: Se hará una búsqueda y análisis científico y técnico sobre energías renovables, sistemas de almacenamiento y carga de vehículos eléctricos. Esta revisión proporcionará una base sólida de conocimientos y prácticas actuales en el campo.

Modelado y simulación de sistemas de energía: Se utilizarán herramientas de software para modelar y simular el comportamiento del sistema Powerwall bajo diferentes temperamentos. Esto permitirá optimizar el diseño y predecir el rendimiento antes de la implementación física.

Medición de parámetros eléctricos: Se emplearán instrumentos de precisión para medir voltajes, corrientes, potencias y otros parámetros eléctricos relevantes del sistema Powerwall y los vehículos eléctricos.

Análisis de datos de pruebas realizadas: Se recopilarán y analizarán datos de rendimiento del sistema Powerwall mediante diversas pruebas, incluyendo el rendimiento de carga, capacidad de almacenamiento y tiempos de carga de vehículos. Este análisis permitirá reconocer áreas de mejora y validar la ejecución de los objetivos del proyecto.

3.3.1.3. Herramientas

Las herramientas incluyen instrumentos de medición eléctrica como multímetros digitales y osciloscopios para analizar formas de onda. Se utilizarán softwares como CADe_SIMU, Fritzing, KiCad que serán herramientas para el diseño y modelado de circuitos y partes energéticas del sistema. Arduino IDE servirá para el desarrollo del sistema de control. Para el análisis de datos, se empleará Microsoft Excel para estadísticas y gráficos.

Instrumentos de medición eléctrica:

Multímetro digital UNI-T UT890: De clase de multímetro digital profesional portátil

Pinza Amperimétrica Fluke 323: De clase digital profesional portátil

Herramientas de simulación, modelado y diseño

CADe_SIMU, Fritzing, KiCad, Simulink Matlab: Usados para modelar, diseñar y analizarla actuación del sistema de energía, permitiendo optimizar el diseño y rendimiento de la Powerwall y sus componentes.

Herramientas de desarrollo de sistemas de control:

Arduino IDE: Para la programación del sistema de monitoreo de la Powerwall

NEXTION Editor: Se usará para la creación de la interfaz gráfica táctil para la pantalla Nextion 5.0

Herramientas de análisis de datos:

Microsoft Excel: Para análisis estadístico y creación de gráficos

3.4. Materiales

A continuación, se describen los materiales utilizados para el desarrollo de la Powerwall

3.4.1 Sistema de paneles solares

El sistema de paneles solares utilizado fue el implementado en la terraza y laboratorio de Máquinas Eléctricas dentro de la carrera de Electricidad como proyecto de titulación. Los parámetros eléctricos de salida del sistema de paneles solares son en DC.

Figura 5. Sistema de paneles solares desarrollado en la carrera de Electricidad [76].

El panel seleccionado para el sistema de generación presenta las siguientes características

Tabla 2 Especificaciones eléctricas del panel seleccionado [76].

Especificaciones	**Características eléctricas**
Potencia máxima (Pmax)	260W
Voltaje de circuito abierto (Voc)	38.1V
Voltaje de potencia máxima (Vmp)	30.6V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.01 A
Corriente máxima de potencia (Imp)	8.50 A
Eficiencia del módulo (%)	15.90%

Para el sistema de generación de paneles solares se utilizó dos módulos solares conectados en paralelo obteniendo las siguientes características.

Tabla 3 Especificaciones eléctricas del sistema de paneles solares [76].

Especificaciones	Características Eléctricas
Potencia máxima (Pmax)	520 W
Voltaje de circuito abierto (Voc)	38.1 V
Voltaje nominal	35.51V

Corriente nominal	15,75 A
Corriente de cortocircuito (Isc)	18,02 A

3.4.2 Sistema de micro generación eólica – turbina blanca

El sistema eólico utilizado fue el implementado en la terraza y laboratorio de Máquinas Eléctricas dentro de la carrera de Electricidad como proyecto de titulación. Los parámetros eléctricos de salida del sistema de micro generación eólica son en AC.

Figura 6. Sistema de micro generación eólica – turbina blanca [77].

Tabla 4 Especificaciones eléctricas del sistema de micro generación eólica – turbina blanca [77].

Especificaciones	Características Eléctricas
Potencia máxima (Pmax)	250 W
Voltaje de circuito abierto (Voc)	15 V
Voltaje nominal	14,87 V
Corriente nominal	5,88 A
Corriente de cortocircuito (Isc)	6,12 A

3.4.3 Sistema de micro generación eólica – turbina azul

Al igual que los dos anteriores el sistema de micro generación eólica utilizado fue el implementado en la terraza y laboratorio de Máquinas Eléctricas dentro de la carrera de Electricidad como proyecto de tesis. Los parámetros eléctricos de salida del sistema de micro generación eólica son en AC.

Figura 7. Sistema de micro generación eólica – turbina azul [78].

Tabla 5 Especificaciones eléctricas del sistema de micro generación eólica – turbina azul [78].

Especificaciones	Características Eléctricas
Potencia máxima (Pmax)	194,53W
Voltaje de circuito abierto (Voc)	27 V
Voltaje nominal	5,8 V
Corriente nominal	7,29 A
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,1 A

3.4.4 Controlador de carga Híbrido MPPT Solar Eólico

Un controlador de carga híbrido solar-eólico MPPT es un instrumento que gestiona la energía generada por el sistemas fotovoltaico y el sistema eólico, maximizando su rendimiento mediante el (MPPT) y protegiendo las baterías durante la carga.

Tabla 6 Especificaciones eléctricas de los controladores híbridos encontrados

Especificaciones	**Controlador híbrido PODER JNGE**	**Controlador híbrido OEM**	**Controlador híbrido FLTXNY POWER**	**Controlador híbrido FLTXNY POWER**
Voltaje max	12V/24V	12V/24V/48V	12V/24V	12V/24V
Corriente max	166.67A	Dependiendo de la selección	116,66A	133,3A

Corriente de salida	30A	100 A	<30A	<30A
Potencia solar	1000 W	500W, 600W, 1000W	600 W	600 W
Potencia eólica	1000 W	>1000W	800 W	1000 W
Potencia total de salida	2000 W	>1000W	1400 W	1600 W
Tipo de controlador	MPPT	MPPT	MPPT	MPPT
Protecciones	Protección sobre voltaje, Protección contra carga inversa solar, Protección contra carga inversa de la batería, Protección contra circuito abierto en la batería.	Protección sobre voltaje, Protección contra carga inversa solar, Protección contra carga inversa de la batería, Protección contra circuito abierto en la batería.	Protección sobre voltaje, Protección contra carga inversa solar, Protección contra carga inversa de la batería, Protección contra circuito abierto en la batería.	Protección sobrevoltaje, contra carga inversa solar, contra carga inversa de la batería.

Debido a que se incorpora tres distintos sistemas de generación se realiza la suma de sus tres respectivas potencias mediante la ecuación (1).

$$Ptotal = Psolar + Peólica_turbinablanca + Peólic_turbinaazul \quad (1)$$

Donde:

P_{total}= Potencia total de los sistemas de generación

P_{solar}= Potencia del sistema fotovoltaico

$P_{turbinablanca}$= Potencia de la turbina blanca

También se debe calcular el valor de la corriente del controlador de carga híbrido para lo cual necesitamos la corriente de cortocircuito total de los sistemas de generación, se usa la ecuación (2) [76].

$$I_C = I_{SCtotal} * 1{,}25 \quad (2)$$

Donde:

I_C= Corriente del controlador de carga

$I_{SCtotal}$= Corriente total de cortocircuito

Factor de seguridad= 1,25

El coeficiente de seguridad de 1,25 se utiliza para garantizar que un elemento pueda soportar cargas reales sin fallar, proporcionando un margen de seguridad adicional para compensar incertidumbres en materiales, condiciones de operación y diseño.

Según las características anterior mencionados se seleccionó el controlador de carga híbrido solar-eólico OEM. Al igual que el voltaje la corriente y potencia de los sistemas de generación están por debajo de las especificaciones del controlador híbrido ya que su potencia soporta hasta 1000W tanto para generación solar y generación eólica, incorpora un circuito elevador independiente para turbinas de baja potencia, igualmente por sus características de (MPPT) garantizando alto rendimiento de carga, identifica automáticamente el voltaje de operación de 12V/24V.

Figura 8. Controlador de carga híbrido seleccionado [79].

3.4.5 Batería

La batería o banco de baterías para el sistema Powerwall almacena energía eléctrica para su uso posterior, regulando la carga y descarga para optimizar el rendimiento y garantizar la estabilidad del suministro energético.

Para el dimensionamiento del batería primero debemos calcular la potencia total de los cargadores de cada vehículo eléctrico por la corriente de cada una de sus baterías.

Tabla 7 Especificaciones de los vehículos eléctricos

Especificación	Vehículo eléctrico 1	Vehículo eléctrico 2	Vehículo eléctrico 3
Voltaje de baterías	48 VDC	60 VDC	48 VDC

Corriente de batería	12 Ah	12 Ah	10 Ah
Potencia de batería	576 W	720 W	480 W
Tipo de batería	Plomo ácido	Ion litio	Ion litio
Vin cargador	110 V	110 V	110 V
Vcd cargador	48 V	67.2 V	54.6 V
Io cargador	1.6 A	2 A	2 A

Para el cálculo de la potencia de cada cargador se usó la siguiente fórmula (3).

$$Pv.e = \left(\frac{Vc * Ic}{\eta}\right) * Ahbatería \quad (3)$$

Donde:

$Pv.e$**:** Potencia de cada cargador de los vehículos eléctrico

Vc**:** Voltaje del cargador

Ic**:** Corriente del cargador

$Ahbatería$: Corriente Ah de batería del vehículo eléctrico

η= Eficiencia del cargador 90%

La eficiencia del 90% en la mayoría de los cargadores de scooters se debe a su diseño optimizado para minimizar pérdidas de energía durante la conversión de (CA) a (CC), utilizando componentes de gestión térmica para maximizar el rendimiento.

Luego de haber determinado la potencia de cada V.E sumamos las potencias con la siguiente ecuación (4).

$$Ptotal = Pv.e1 + Pv.e2 + Pv.e3 \quad (4)$$

Donde:

P_{total}= Potencia total de los vehículos eléctricos

$P_{v.e1}$= Potencia del vehículo eléctrico 1

$P_{v.e2}$= Potencia del vehículo eléctrico 2

$P_{v.e3}$= Potencia del vehículo eléctrico 3

Ahora, para carlcular la capacidad de la batería se usó los voltajes de 12 V y 24 V como referencia con la finalidad de seleccionar la o las baterías adecuadas mediante la ecuación (5) [77].

$$Q_{Ah} = \frac{P_T}{V_{bat}}[Ah] \tag{5}$$

Donde:

Q_{Ah}= Capacidad de la batería

P_T= Potencia total del sistema

V_{bat}= Voltaje de la batería

Para determinar el tiempo de carga de la batería al igual que la capacidad de la batería se usó como referencia los voltajes de 12 V y 24 V con la finalidad de seleccionar la o las baterías adecuadas. Además, se estimó una corriente de 300 Ah como corriente inicial, se obtuvo mediante la siguiente ecuación (6).

$$T = \frac{W_b}{W_a} \tag{6}$$

Donde:

T= Tiempo de carga de la batería

W_b= Potencia de la batería

W_a=Potencia con la que se alimenta la batería

Para determinar la potencia de la batería se usa la ecuación (7).

$$W_b = V_b * Ah_b \tag{7}$$

Donde:

W_b= Potencia de la batería

V_b= Voltaje de la batería

Ah_b= Amperios hora de la batería

Para determinar la potencia con la que se alimenta la batería se hace uso de la ecuación (8).

$$W_a = V_b * I_c \quad (8)$$

Donde:

W_a= Potencia con la que se alimenta la batería

V_b= Voltaje de la batería

I_c= Corriente del controlador de carga

Tabla 8 Especificaciones eléctricas de las baterías encontradas

Especificaciones	Batería de GEL TENSITE	Batería de GEL JYC	Batería de LifePo4 Tb-Plus	Batería de LifePo4 EPEVER
Voltaje de operación	12 V	12 V	12 V	12 V
Corriente Ah	300 Ah	200 Ah	150 AH	200 AH
# Ciclos	1400 ciclos al 50% de descarga	1200 ciclos al 50% de descarga	5000 a 6000 ciclos al 50% de descarga	4000 ciclos al 50% de descarga
Peso	67 kg	57 kg	42,6 kg	24 kg

Se seleccionó dos baterías GEL TENSITE 12V-300Ah conectadas en serie ya que responden a la necesidad de un sistema de 24V estable y duradero. Su tecnología CCDR soporta descargas profundas, ofrecen 15 años de vida útil y mantienen excelente rendimiento en diversas temperaturas. Además, que ofrece 1400 ciclos de descarga al 50% de descarga. Su diseño sellado con gel de sílice elimina mantenimiento, mientras su baja resistencia interna (2.0 mΩ) y alta corriente de descarga (2500A) garantizan respuesta inmediata. Su recuperación eficiente tras descargas profundas y baja autodescarga (18% en 6 meses) aseguran disponibilidad continua del sistema.

Figura 9. Batería seleccionada [80].

La potencia útil es una medida de su capacidad real de trabajo eléctrico bajo condiciones normales de uso. Para determinar cuánta energía puede entregar el banco de baterías de forma efectiva en un tiempo dado usamos la siguiente ecuación (9).

$$W_{útil} = Wb_{(24V)} * \%\ de\ descarga \quad (9)$$

Donde:

$W_{útil}$= Potencia útil del banco de baterías

$Wb_{(24V)}$= Potencia del banco de baterías de 24V 300Ah

$\%\ de\ descarga$ = Porcentaje de descarga de la batería

3.4.6 Inversor de voltaje

Un inversor de voltaje es un equipo electrónico que convierte la (DC) proveniente de baterías o sistemas de generación eléctrica en corriente alterna (AC), permitiendo así alimentar electrodomésticos y equipos que funcionan con voltaje doméstico convencional.

Tabla 9 Especificaciones eléctricas de los inversores de voltaje encontrados

Especificaciones	Inversor DUBOTEX	Inversor WZRELB	Inversor JYINS
Vmin de entrada	12 V	12 V	12 V
Vmax de entrada	12 V	48 V	48 V
Potencia nominal	5 Kw	5 Kw	5 Kw
Potencia pico	10 Kw	10 Kw	10 Kw
Vmin de salida	120 V	100 V	100 V

Vmax de salida	120 V	240 V	240 V
Imin	41,66 A	50 A	50 A
Imax	83,33 A	100 A	100 A
Protecciones	Protección contra sobrecarga, térmica, cortocircuito.	Protección contra bajo voltaje, sobretensión, sobrecarga, sobrecalentamiento, cortocircuitos	Protección contra bajo voltaje, sobretensión, sobrecarga, sobrecalentamiento, cortocircuitos

Para calcular la capacidad del inversor, se toma la capacidad total de las cargas a alimentar, en este caso la potencia total de los 3 vehículos eléctricos que tienen una potencia total de 4568 W. Este cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación (10) [76].

$$P_{inversor} = 1{,}25 * P_i \quad (10)$$

Donde:

$P_{inversor}$= Potencia adecuada del inversor

P_i =Potencia de la instalación

Factor de seguridad= 1,25

El factor de seguridad de 1,25 se utiliza para garantizar que un elemento pueda soportar cargas reales sin fallar, proporcionando un margen de seguridad adicional para compensar incertidumbres en materiales, condiciones de operación y diseño.

Se seleccionó el inversor WZRELB de 5Kw de potencia nominal y 10Kw de potencia pico. El valor del inversor seleccionado es mayor que la potencia total de los vehículos eléctricos. Además, cuenta con una serie de protecciones las cuales lo hacen apto para el sistema Powerwall. Su voltaje de entrada de 24V nos permite conectar tanto el banco de baterías como el controlador de carga. De igual forma su voltaje de salida de 110V permite la conexión hacia una barra en Ac a la cual podemos conectar los vehículos eléctricos para su respectiva carga.

Figura 10. Inversor seleccionado [81].

3.4.7 Arduino Mega 2560

El Arduino Mega es una placa de procesamiento basada en un microcontrolador ATmega2560, diseñada para proyectos que requieren varios pines de entrada/salida y memoria que otros modelos. Es ideal para aplicaciones complejas, como sistemas de monitoreo, robots o sistemas de automatización.

Figura 11. Arduino Mega 2560 [82].

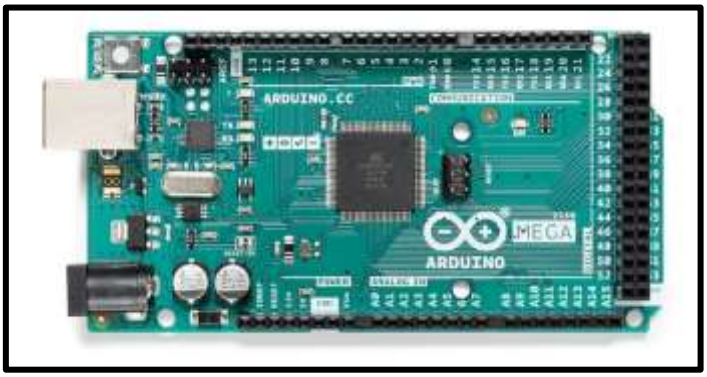


Tabla 10 Especificaciones del Arduino Mega 2560

Especificaciones	Arduino Mega 2560
Velocidad de Reloj	16 MHz
Memoria Flash	256 KB (8 KB usados por el bootloader)
Memoria SRAM	8 KB

Memoria EEPROM	4 KB
Pines de Entrada/Salida Digital	54 (15 de ellos pueden ser usados como salidas PWM)
Pines de Entrada Analógica	16
Corriente Máxima por Pin	20 mA (máximo por pin, 50 mA total para todos los pines)
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de Entrada	7-12V (típico 9V)
Interfaz de Comunicación	USB, UART, SPI, I2C
Conexión USB	Tipo B

Se seleccionó el Arduino Mega 2560 como microcontrolador para el sistema de monitoreo del Powerwall debido a la experiencia previa adquirida durante la asignatura de Microcontroladores, su memoria flash de 256 KB soporta los algoritmos de procesamiento de datos del sistema Powerwall, su interfaz de comunicación UART que facilita la transmisión de información entre dispositivos como sensores, y principalmente por ser considerablemente más económico que otros microcontroladores con características similares disponibles en el mercado, lo que permite implementar un sistema efectivo de monitoreo sin exceder el presupuesto asignado al proyecto.

3.4.7 Medidor multifunción modelo PZEM-004T

El dispositivo medidor multifuncional PZEM-004T tiene la capacidad de registrar valores de tensión eficaz, intensidad de corriente eficaz, potencia real y consumo energético de cualquier equipo conectado a una red eléctrica monofásica de corriente alterna de 110/220V, tales como hornos eléctricos, refrigeradores, motores o aparatos domésticos. Estos datos pueden transmitirse hacia sistemas de control como Arduino o microcontroladores PIC para su procesamiento.

Figura 12. Medidor multifunción PZEM-004T [83].

Tabla 11 Especificaciones del medidor multifunción PZEM-004T

Especificación	Medidor multifunción PZEM
Rango de Medición de Voltaje:	AC 80-260v
Resolución de Voltaje:	0.1V
Precisión de voltaje:	0,5%
Rango de Medición de Corriente:	0-100A
Resolución de corriente Actual:	0.001
Precisión de corriente Actual:	0,5%
Rango de Medición de Potencia Activa:	0-23kw
Interfaz	UART/TTL

El PZEM-004T tiene un Transformador de corriente CT el cual tiene la tarea de medir la corriente eléctrica que fluye a través de un conductor sin necesidad de interrumpir el flujo de electricidad, existiendo diversas variantes que se seleccionan según la magnitud de la corriente que se requiere monitorizar y las características específicas de la instalación. A continuación, se muestran las especificaciones de los tipos de CT según el rango de corriente a medir.

Tabla 12 Especificaciones de los transformadores de corriente para el PZEM-004T

Modelo de CT	Rango de Corriente (A)	Relación de Transformación	Conexión al PZEM-004T	Uso Común	Características
CT5A	Hasta 5 A	5:1	Conector XH2.54 4 pines	Residencial/Pequeñas instalaciones	Ideal para medir corriente baja en aplicaciones domésticas o pequeñas cargas.
CT30A	Hasta 30 A	30:1	Conector XH2.54 4 pines	Comercial/Pequeñas cargas industriales	Adecuado para equipos como aires acondicionados o electrodomésticos

					de mayor consumo.
CT50A	Hasta 50 A	50:1	Conector XH2.54 4 pines	Comercial/Medianas instalaciones	Perfecto para sistemas de energía o equipos con una corriente moderada.
CT100	Hasta 100 A	100:1	Conector XH2.54 4 pines	Instalaciones industriales	Usado para instalaciones de mayor tamaño, como generadores o maquinaria industrial.
CT150A	Hasta 150 A	150:1	Conector XH2.54 4 pines	Industrial	Para medir corrientes muy altas en entornos industriales de gran escala.
CT200A	Hasta 200 A	200:1	Conector XH2.54 4 pines	Industrial	Para aplicaciones en grandes fábricas o redes eléctricas.
CT con roseta	Varía según el modelo	Generalmente 100:5 o similar	Conector XH2.54 4 pines	Uso general	Formato en anillo o donut, fácil de instalar alrededor de los cables sin interrumpir el flujo de electricidad.

Para ese sistema no es necesario utilizar un transformador de corriente (CT) que tenga un rango de medición tan alto de corriente. No obstante, el PZEM-004T generalmente viene con un transformador de corriente (CT) que es un CT 100A/50mA. Este transformador de corriente tiene una relación de transformación de 100:5, lo que significa que la corriente que pasa a través del conductor medido se reduce 20 veces, permitiendo medir corrientes de hasta 100 amperios.

En base a las propiedades mencionadas del medidor multifunción en AC y el Transformador de corriente CT se selecciona el medidor PZEM-004T ya que es apropiado para monitorear los parámetros eléctricos del sistema Powerwall por su capacidad de medir voltaje (80-260 VAC). Tiene una interfaz UART/TTL que permite la integración directa con el Arduino Mega 2560.

Respecto al medidor de corriente se selecciona dos CT tipo roseta con un rango de corriente de hasta 100 A. Uno para el sistema eólico y otro para el inversor de voltaje. Su medición no es intrusiva, es compacto, económico y soporta análisis en tiempo real.

3.4.8 Medidor multifunción modelo PZEM-017

El PZEM-017 es un medidor multifuncional diseñado para sistemas de corriente continua (DC). Mide parámetros como voltaje, corriente y potencia. Es ideal para aplicaciones como baterías, sistemas solares y otros dispositivos que operen en DC.

Figura 13. Medidor multifunción PZEM-017 [84].

Tabla 13 Especificaciones del medidor multifunción PZEM-017

Especificaciones	**PZEM-017**
Tipo de medición	Corriente continua (DC)
Voltaje de operación	0-300 V DC
Corriente de medición	0-50 A / 0-100 A
Potencia de medición	0-15000 W
Precisión del voltaje	±1%
Precisión de la corriente	±1%
Precisión de la potencia	±1%
Interfaz de comunicación	UART/TTL (conexión serial)
Tipo de conexión	Conexión directa con el microcontrolador (como Arduino)
Alimentación	5V a través de VCC (usualmente se conecta al mismo voltaje de entrada)
Rango de temperatura de operación	-10°C a 60°C
Indicadores	Pantalla LCD (en algunos modelos)
Compatibilidad	Compatible con Arduino, ESP32, y otros microcontroladores

Tamaño	48mm x 38mm (tamaño compacto para fácil integración)

El PZEM-017 tiene una barra metálica o más conocida como SHUNT que convierte la medición de caída de voltaje en una lectura precisa de la corriente que fluye por el circuito, permitiendo que el dispositivo calcule y muestre datos como el consumo de energía en sistemas DC. En la siguiente tabla se muestran las especificaciones de los tipos de SHUNT según el rango de corriente a medir.

Tabla 14 Especificaciones de los SHUNT del medidor multifunción PZEM0-17

Tipo de Shunt	Descripción	Rango de Corriente Medido	Resistencia del Shunt	Uso Común	Compatibilidad con PZEM-017
Shunt Interno (Integrado)	Resistor de precisión integrado en el módulo PZEM-017. Mide la corriente directamente a través de la caída de voltaje.	Generalmente hasta 100A	Baja (mili-ohmios)	Medición de corriente continua (DC) estándar	Compatible con el PZEM-017 de fábrica, ya que es el shunt diseñado para este modelo.
Shunt Externo (Opcional)	Shunt adicional que se conecta a la placa del PZEM-017 para permitir mediciones de corriente más altas o personalizadas.	Puede variar, depende del shunt elegido (por ejemplo, hasta 200A)	Baja (mili-ohmios)	Usado para aplicaciones de mayor corriente o precisión adicional.	Requiere un diseño o modificación del PZEM-017. No todos los modelos permiten su conexión.

El PZEM-017 generalmente viene con un SHUNT externo para la mayoría de las aplicaciones en las que se usa el PZEM-017, que está orientado a sistemas solares, baterías o sistemas de energía renovable que operan con corriente continua (DC).

En base a las propiedades mencionadas del medidor multifunción en DC y el medidor de corriente SHUNT se selecciona el medidor PZEM-017 ya que es adecuado para monitorear parámetros

eléctricos del sistema Powerwall en DC, ya que permite un voltaje de (0-300 VDC), una corriente de (0-50 A) y una potencia de (0-15,000 W) con una precisión de ±1%. Además, su rango operativo y compatibilidad con microcontroladores lo hacen adecuado para este sistema.

Respecto al medidor de corriente se selecciona dos SHUNT. Uno para el sistema fotovoltaico de 50 A y otro para el banco de baterías de 200 A. Su medición es directa y precisa, es adecuada para corriente continua, económica y permite el monitoreo en tiempo real.

3.4.9 Sensor de temperatura DTH22

El sensor de temperatura DHT22 sirve para medir temperatura con precisión en proyectos electrónicos. Es una buena opción por su rango amplio de medición, tiene una precisión de ±0.5°C y además de bajo costo, haciéndolo ideal para proyectos electrónicos.

Figura 14. Sensor de temperatura DTH22 [85]

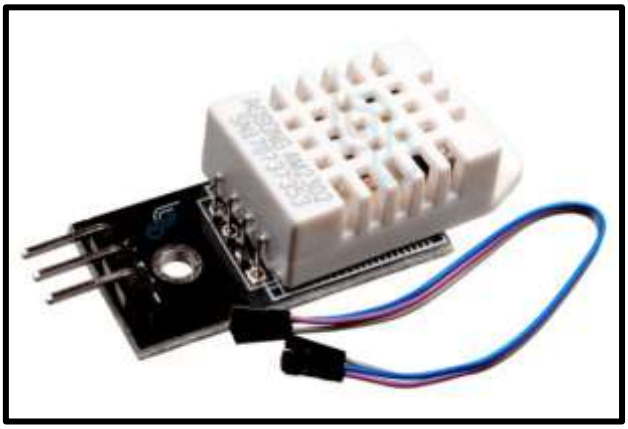


Tabla 15 Especificaciones del sensor de temperatura DTH22

Especificaciones	**Sensor DTH22**
Modelo	DHT22 (también conocido como AM2302)
Fabricante	Aosong Electronics Co., Ltd.
Voltaje de operación	3.3V - 5.5V DC
Consumo de corriente	1.5mA máximo durante la conversión
Rango de medición de temperatura	-40°C a +80°C
Precisión de temperatura	±0.5°C
Tiempo de respuesta	2 segundos
Frecuencia de muestreo	0.5 Hz (una lectura cada 2 segundos)

Resolución	0.1°C para temperatura, 0.1% para humedad
Tipo de salida	Digital (mediante protocolo de comunicación propietario)
Interfaz	Un solo cable (One-wire)
Tamaño físico	15.1mm x 25mm x 7.7mm
Vida útil	1-2 años (uso normal)

Para la medición de temperatura interna en una Powerwall, se seleccionó el sensor DHT22 como sensor principal por varias razones fundamentales. Su amplio rango de medición es ideal para monitorear los cambios térmicos dentro del sistema, cuyas temperaturas pueden fluctuar considerablemente durante ciclos de carga y descarga del banco de baterías exterior. La precisión de ±0.5°C garantiza lecturas confiables para prevenir sobrecalentamientos peligrosos. Tiene una interfaz UART/TTL lo que permite su integración directa con el Arduino Mega 2560, facilitando el monitoreo en tiempo real.

3.4.10 Sensor de temperatura BMP280

El sensor BMP280 mide temperatura con alta precisión y bajo consumo energético. Es una excelente opción por su tamaño compacto, interfaces I²C/SPI versátiles, durabilidad y capacidad para calcular altitud, haciéndolo ideal para aplicaciones meteorológicas, wearables y sistemas embebidos de monitoreo ambiental.

Figura 15. Sensor de temperatura BMP280 [86]

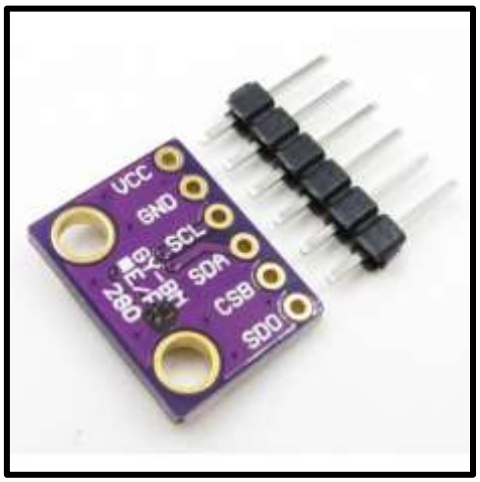


Tabla 16 Especificaciones del sensor de temperatura BMP280

Especificaciones	**Sensor BMP280**
Modelo	BMP280
Fabricante	Bosch Sensortec
Voltaje de operación	1.71V - 3.6V DC
Consumo de corriente	2.7µA (modo normal), 0.1µA (modo standby)
Rango de medición de temperatura	-40°C a +85°C
Precisión de temperatura	±1.0°C
Interfaces de comunicación	I²C (hasta 3.4 MHz) y SPI (hasta 10 MHz)
Tiempo de respuesta	5.5 ms (para sobremuestreo estándar)
Tamaño físico	2.0mm x 2.5mm x 0.95mm (LGA package)
Resolución ADC	20 bits para presión, 16 bits para temperatura
Características especiales	Filtro IIR configurable, detección de eventos de presión
Vida útil	>8 años (uso normal)

El sensor BMP280 fue seleccionado para monitorear la temperatura entre los bornes de dos baterías individuales debido a su tamaño extremadamente reducido (2.0×2.5×0.95mm), ideal para instalarse en espacios limitados sin interferir con las conexiones. Su precisión de temperatura de ±1.0°C resulta adecuada para detectar anomalías térmicas críticas en baterías. Su bajo consumo energético de apenas 2.7µA evita drenar la batería monitoreada.

La compatibilidad con interfaces I²C y SPI facilita la conexión directa al Arduino Mega2560 sin circuitería adicional compleja. Su capacidad de operar en entornos hostiles con temperaturas de -40°C a +85°C asegura lecturas confiables incluso durante ciclos intensos de carga/descarga. El BMP280 ofrece una excelente relación costo-beneficio para sistemas de monitorización de baterías con interfaz de usuario, permitiendo prevenir fallos por sobrecalentamiento.

3.4.11 Pantalla NEXTION 5 pulgadas

La pantalla Nextion ofrece una solución de interfaz hombre-máquina que integra un procesador y una pantalla táctil.

Este dispositivo incluye un software de edición propio que permite crear diversos diseños utilizando las herramientas disponibles en el editor de Nextion, como gráficos, textos, botones, deslizadores, entre otros.

Figura 16. Pantalla Nextion [87].

Tabla 17 Especificaciones de la pantalla Nextion

Especificaciones	Pantalla Nextion
Voltaje de operación	4.75V - 7V (alimentación típica de 5V).
Dispositivos compatibles	Arduino, Raspberry Pi
Max memoria RAM	8192 BYTES
Recuento Procesador	1 procesador ARM Cortex-M
Tecnología de conexión	Serie TTL
Capacidad Almacenamiento Memoria	16 MB
Resolución	800x480

Se selecciona la pantalla Nextion de 5.0 pulgadas ya que es ideal para mostrar los parámetros eléctricos del sistema Powerwall debido a su resolución de 800x480 píxeles, que permite visualizar claramente los datos. Su tamaño la hace adecuada para proyectos con espacio limitado. Funciona a 5V, su interfaz de comunicación UART es compatible con el Arduino Mega 2560 y tiene memoria RAM interna para almacenar gráficos, facilita una integración sencilla y eficiente con sensores a utilizar. Además, la pantalla Nextion tiene un software gratuito llamado Nextion Editor. Este software permite diseñar y personalizar la interfaz gráfica que se mostrará en la pantalla.

3.5 Sistema de Protecciones

Se va a encargar de asegurar la seguridad de equipos y personas ante fallos eléctricos, detectando anomalías y desconectando circuitos. Su dimensionamiento garantiza su correcta selección y capacidad para evitar daños y mantener la continuidad operativa.

Por lo cual se llevó a cabo el dimensionamiento de las protecciones: Sistema fotovoltaico - Controlador de carga, Sistema eólico – Controlador de carga, Banco de baterías – (Controlador de carga e Inversor), Inversor – Barras Ac.

3.5.1 Protección Sistema fotovoltaico - Controlador de carga

En la sección de (DC) se empleará un porta fusible de 32 A y un fusible de 25 A, adecuado para una corriente máxima de 22,52 A. Este protege contra sobreintensidades y sobretensiones, además de permitir cortes seguros en carga. Se colocará entre el módulo fotovoltaico y el controlador de carga, cumpliendo el requisito de ser al menos 1,25 veces mayor que la corriente de cortocircuito, se utiliza la ecuación (11) [76].

$$I_{max} = I_{scPV} * 1{,}25 \tag{11}$$

Donde:

I_{max}= Corriente máxima a soportar

I_{scPV}= Corriente de cortocircuito del sistema fotovoltaico

Factor de seguridad= 1,25

El coeficiente de seguridad de 1,25 se utiliza para garantizar que un elemento pueda soportar cargas reales sin fallar, proporcionando un margen de seguridad adicional para compensar incertidumbres en materiales, condiciones de operación y diseño.

3.5.2 Protección Sistema eólico – Controlador de Carga

En la sección de corriente alterna se conectará los sistemas de micro generación eólica - turbina blanca y turbina azul en paralelo, el voltaje será el mismo en los dos aerogeneradores y la corriente se divide. Además, al igual que el sistema fotovoltaico se conecta en paralelo para no intervenir en funcionamiento de las tesis de grado ya implementadas. Por lo que se empleará un interruptor termomagnético de 16 A, adecuado para una corriente máxima de 7,65 A. Este protege contra sobreintensidades y sobretensiones, además de permitir cortes seguros en carga. Se colocará entre el

Sistema eólico y el Controlador de carga, cumpliendo el requisito de ser al menos 1,25 veces mayor que la corriente de cortocircuito, se utiliza la ecuación (12) [76].

$$I_{max} = I_{scW} * 1{,}25 \quad (12)$$

Donde:

I_{max}= Corriente máxima a soportar

I_{scW}= Corriente de cortocircuito del sistema eólico

Factor de seguridad= 1,25

El coeficiente de seguridad de 1,25 se utiliza para garantizar que un elemento pueda soportar cargas reales sin fallar, proporcionando un margen de seguridad adicional para compensar incertidumbres en materiales, condiciones de operación y diseño.

3.5.3 Protección Banco de baterías – (Inversor de voltaje, Controlador de carga)

La selección de un disyuntor DC de 300A para un banco de baterías de 24V 300Ah es técnicamente apropiada siguiendo principios de protección eléctrica. Aplicando la ecuación (13) .

$$I_{nominal} = \left(\frac{P_{nominal}}{V}\right) * 1{,}25 \quad (13)$$

Donde:

$I_{nominal}$= Corriente nominal del inversor

$P_{nominal}$= Potencia nominal del inversor

Factor de seguridad= 1,25

Se escogió un disyuntor de 300 A porque cubre la corriente nominal del inversor de 5000 W (208 A) con margen de seguridad, y soporta picos de hasta 416 A sin activarse innecesariamente. Es compatible con sistemas de 24 V, brinda protección ante sobrecorrientes y cortocircuitos, y su función de reinicio manual lo hace práctico y reutilizable en instalaciones exigentes.

3.5.4 Protección termomagnética Inversor – Barras Ac

Para evitar sobreintensidades que puedan perjudicar el circuito, se colocará un interruptor magnetotérmico manual de 50 A en el cuadro de salida de corriente alterna. Este dispositivo protege contra sobrecargas y permite desconectar la instalación del sistema Powerwall para realizar mantenimiento. Hay que tener en cuenta que el factor de potencia dado por los sistemas de generación debe ser igual a la unidad. La intensidad normal de funcionamiento se calcula según la potencia máxima del inversor (10000 W) y la tensión de conexión (110 V). Para dimensionar el interruptor magnetotérmico se utiliza la siguiente ecuación (14) [76].

$$I_{max} = \frac{P}{\sqrt{3} * U_L * cos\varphi} * 1{,}25 \tag{14}$$

Donde:

I_{max}= Corriente máxima a soportar

P= Potencia del inversor

U_L= Voltaje de las barras AC

Factor de seguridad= 1,25

El coeficiente de seguridad de 1,25 se utiliza para garantizar que un elemento pueda soportar cargas reales sin fallar, proporcionando un margen de seguridad adicional para compensar incertidumbres en materiales, condiciones de operación y diseño.

3.5.5 Protección diferencial Inversor – Barras Ac

Seleccionar un interruptor diferencial AC después de un termomagnético de 50A es una decisión técnicamente apropiada. El interruptor termomagnético de 50A protege contra sobrecargas y cortocircuitos, mientras que el diferencial debe tener una capacidad nominal igual o superior al termomagnético que lo precede. Siguiendo la siguiente regla (15).

$$I_{nominal\ del\ diferencial} \geq I_{nominal\ del\ termomagnético} \tag{15}$$

Se eligió un interruptor diferencial de 63 A unipolar para proteger una instalación de 110 V con un interruptor termomagnético de 50 A porque su capacidad de corriente es superior, garantizando que no se active por sobrepasar su límite térmico. Esto asegura un funcionamiento confiable, ya que el diferencial solo se activará ante fugas a tierra, no por carga normal del sistema.

3.6 Dimensionamiento de Conductores

El dimensionamiento adecuado de conductores es vital para evitar sobrecalentamientos, pérdidas de energía y fallos en el sistema eléctrico. Así garantizamos que los cables puedan soportar la corriente prevista sin riesgos, asegurando la seguridad de los equipos y longevidad de la instalación.

Para determinar la sección del conductor, ya sea en $mm2$ o AWG, inicialmente se debe calcular la caída de tensión utilizando la siguiente ecuación (16) [76].

$$\Delta V = R * l * I \tag{16}$$

Donde:

ΔV= Caída de tensión entre los extremos de los conductores

R= Resistencia del conductor en Ω/m

l= Longitud entre componentes en m

I= Corriente A

Luego se debe calcula el porcentaje de caída de tensión en los conductores utilizando la siguiente ecuación (17) [76].

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_n} * 100 \tag{17}$$

Donde:

$\Delta V\%$= Porcentaje de caída de tensión.

ΔV= Caída de tensión entre los extremos de los conductores.

V_n = Voltaje nominal.

3.6.1 Cálculo de las secciones de las líneas de corriente continua.

Para dimensionar los conductores, es necesario conocer las distancias entre cada uno de los componentes, lo que permitirá tener en cuenta la capacidad de corriente de los conductores. El dimensionamiento del cableado de las líneas de corriente continua se empleará en las siguientes conexiones: Sistema fotovoltaico – Porta fusible DC 25 A, Porta fusible DC 25 A– Controlador de carga, Controlador de carga – Banco de baterías, Banco de baterías – Disyuntor DC 300 A, Disyuntor DC 300 A – Inversor.

Las conexiones: Banco de baterías – Disyuntor DC 300 A y Disyuntor DC 300 A – Inversor se calcularán mediante la fórmula (18) [76].

$$I_i = \frac{P_t}{V_b} \tag{18}$$

Donde:

I_i= Corriente del inversor

P_t = Potencia total de los sistemas de generación

V_b = Voltaje de la batería

3.6.2 Cálculo de las secciones de las líneas de corriente alterna.

El recorrido de la línea de corriente alterna se hará de la forma más corta y recta posible. El cableado irá desde el inversor hasta las protecciones en AC anteriormente mencionadas, al sistema de control y luego a las barras de CA. El dimensionamiento del cableado de las líneas de corriente alterna se empleará en las siguientes conexiones: Sistema eólico – Interruptor termomagnético AC 16 A, Interruptor termomagnético AC 16 A– Controlador de carga, Inversor – Interruptor termomagnético AC 50 A, Interruptor termomagnético AC 50 A- Interruptor diferencial AC 63 A, Interruptor diferencial AC 63 A – Sistema de control, Sistema de control - Barras AC. Para las conexiones: Inversor – Interruptor termomagnético AC 50 A, Interruptor termomagnético AC 50 A- Interruptor diferencial AC 63 A, Interruptor diferencial AC 63 A – Sistema de control y Sistema de control - Barras AC se considera la corriente requerida por la carga según esto se calculará mediante la fórmula (19) [76].

$$I_{cAC} = \frac{P_t}{V_{AC}} \tag{19}$$

Donde:

I_{cAC} = Corriente de la carga AC

P_t = Potencia total de los sistemas de generación

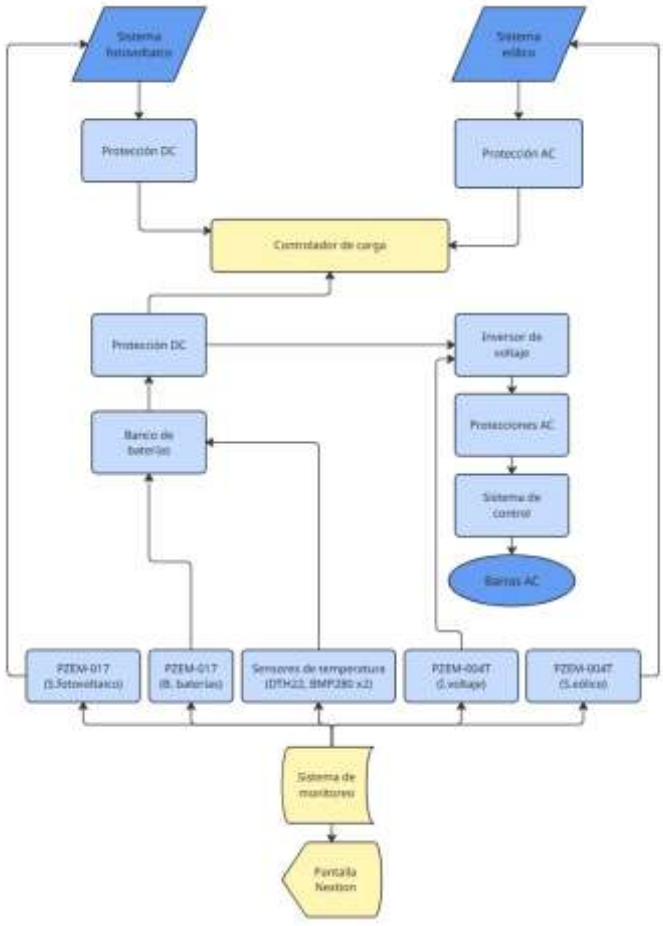
V_{AC} = Voltaje en AC

Los calibres seleccionados (4, 6 y 10 AWG) responden a un análisis técnico considerando la intensidad de corriente en cada tramo y la distancia recorrida. La selección garantiza que la caída de tensión permanezca bajo los límites establecidos (<3% para DC y <5% para AC). Para secciones con alta intensidad como el Banco de baterías – Disyuntor DC 300 A y Disyuntor DC 300 A – Inversor (40.18A), se utilizó 4 AWG.

En tramos de menor demanda como el sistema de control y barras AC (8.76A), el cable 10 AWG resulta suficiente, optimizando costos sin comprometer seguridad. Los tramos conectados al sistema fotovoltaico requieren 4 AWG debido a la corriente es alta con un valor de 22.52A, mientras que el Controlador de carga – Banco de baterías utiliza 6 AWG para sus 30.17A. Esta estratificación de calibres maximiza la eficiencia económica manteniendo caídas de tensión mínimas (máximo 0.09%).

3.7 Procedimiento

Figura 17. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema Powerwall



En este capítulo se presentó un enfoque metodológico integral para el desarrollo del sistema Powerwall, un sistema híbrido de generación de energía solar y eólica. Se detallaron los materiales utilizados, como el sistema fotovoltaico, el sistema eólico. Además de los equipos seleccionados como el controlador de carga, inversor, equipos de almacenamiento de energía, dispositivos de protección y dispositivos de medición, así como las ecuaciones para el dimensionamiento de equipos, protecciones y conductores. Este enfoque asegura la factibilidad técnica y operativa del sistema propuesto, optimizando su rendimiento y seguridad.

CAPITULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se dio respuesta a la pregunta de investigación mediante la exposición de los resultados alcanzados durante la implementación del proyecto. Esto incluyó los cálculos relacionados con el dimensionamiento del sistema, recepción de los equipos, construcción del sistema Powerwall y todo lo relacionado con el sistema de protección y monitoreo. Asimismo, se llevó a cabo el análisis de los datos obtenidos, comparando los valores obtenidos del sistema de monitoreo con las mediciones obtenidas con los instrumentos de medición eléctrica (Multímetro, Pinza amperimétrica).

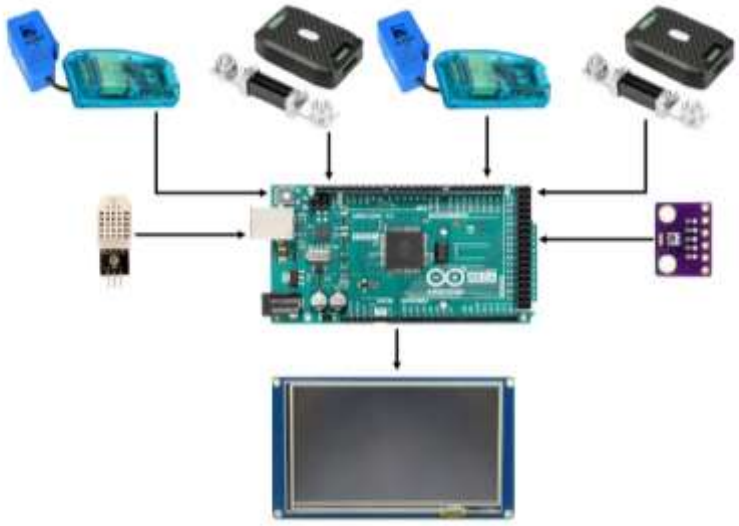
Figura 18. Esquema simplificado del circuito de potencia

El esquema simplificado del circuito de potencia muestra un sistema híbrido de energía renovable que integra sistemas de generación fotovoltaica y sistema de generación eólica. Estos se conectan a un controlador híbrido MPPT, que optimiza la captación energética de ambas fuentes para cargar un banco de baterías. El sistema incluye un inversor que convierte la corriente continua en alterna, permitiendo alimentar dispositivos eléctricos. Este diseño aprovecha los recursos renovables para la carga de vehículos eléctricos usados en la carrera de Electricidad.

Figura 19. Esquema simplificado del sistema de protecciones

El esquema simplificado del sistema de protecciones ilustra un sistema integrado de protecciones DC y AC para los sistemas fotovoltaico y eólico. Los dispositivos DC de corte como el Fusible se ubica entre el sistema fotovoltaico y el controlador de carga, mientras que el banco de baterías incluye un disyuntor de protección contra sobrecorrientes entre el banco de baterías y el controlador de carga junto con el inversor de voltaje. En el lado AC, entre el sistema eólico y el controlador de carga se colocó un interruptor termomagnético. Después del inversor, se han instalado protecciones combinadas (interruptor termomagnético e interruptor diferencial) que salvaguardan contra fugas de corriente y sobrecargas eléctricas. Esta configuración garantiza el funcionamiento de los equipos y la seguridad de los usuarios durante la operación del sistema Powerwall.

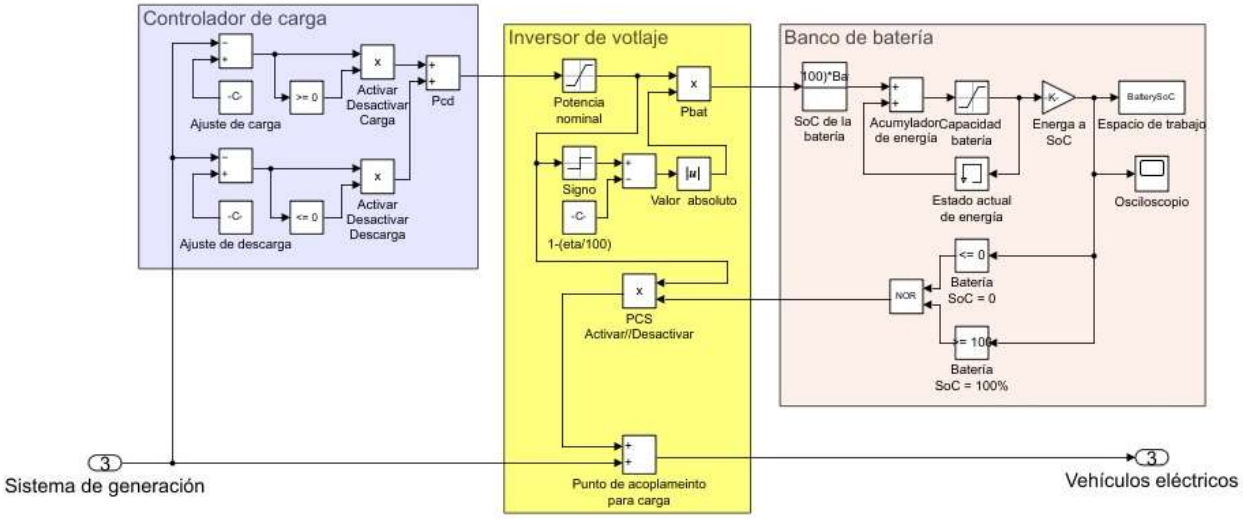
Figura 20. Esquema simplificado del sistema de monitoreo



El esquema simplificado del sistema de monitore se basa en un microcontrolador Arduino Mega 2560 como unidad central de procesamiento de medidas. Incorpora medidores multifunción PZEM-017T DC y PZEM- 004T AC. Un sensor de temperatura DHT22 para el módulo general y dos sensores de temperatura BMP280 para cada batería. Toda esta información es procesada por el microcontrolador y visualizada en tiempo real mediante una pantalla táctil NEXTION. Este sistema permite supervisar eficientemente la productividad energético de la implementación solar-eólica, facilitando el análisis de datos para mejorar la carga de los vehículos eléctricos y garantizar la operación segura de todo el sistema Powerwall.

4.1 Simulación del sistema Powerwall

Figura 21. Simulación en Simulink



El diagrama muestra un sistema Powerwall modelado en Simulink, compuesto por tres módulos principales: controlador de carga (bloque azul), inversor de voltaje (bloque amarillo) y banco de baterías (bloque rosa). El controlador gestiona los ciclos de carga/descarga mediante ajustes específicos. El inversor regula la potencia nominal, maneja el flujo bidireccional de energía y acondiciona la señal para optimizar la transferencia energética.

El banco de baterías monitorea el estado de carga (SoC), acumula energía y la distribuye según demanda. Incluye indicadores para batería vacía (SoC=0) y completa (SoC=100%), con visualización mediante osciloscopio. Este sistema integra generación energética renovable con vehículos eléctricos, permitiendo almacenamiento eficiente y gestión inteligente del flujo energético bajo diferentes condiciones operativas.

A continuación, se verán los cálculos de dimensionamiento para los equipos y elementos usado en el sistema Powerwall para corroborar los resultado obtenidos en la simulación realizada.

4.2 Cálculos de dimensionamiento

Los cálculos de dimensionamiento aseguran que los equipos seleccionados cumplan con los requerimientos energéticos del sistema, optimizando su rendimiento, además de respaldar un funcionamiento confiable y sustentable a largo plazo.

4.2.1 Cálculos de dimensionamiento del Controlador de carga

Inicialmente debemos saber la potencia total del sistema de generación por lo que con la ecuación (1) mencionada en el capítulo anterior obtenemos el siguiente resultado.

$$Ptotal = Psolar + Peólica_turbinablanca + Peólic_turbinaazul$$

$$Ptotal = 520W + 250W + 194{,}4\ W$$

$$Ptotal = 964.4\ W$$

Ahora se calcula el valor de la corriente del controlador de carga híbrido para lo cual necesitamos la corriente de cortocircuito total de los 3 sistemas de generación, para ello utilizamos la ecuación (2).

$$I_C = I_{SCtotal} * 1{,}25$$

$$I_{CSistema\ de\ paneles} = 18.02 * 1{,}25 = 22{,}52\ A$$

$$I_{CMicro\ generadores\ eólicos} = 6{,}12 * 1{,}25 = 7{,}65\ A$$

4.2.2 Cálculo de dimensionamiento del banco de baterías.

Inicialmente se calcula la potencia de cada cargador de los vehículos eléctricos según las características dada en la **Tabla. 7**, para esto hacemos uso de la ecuación (3) descrita en el anterior capítulo.

$$Pv.e = \left(\frac{Vc * Ic}{\eta}\right) * Ahbatería$$

- Vehículo eléctrico 1 (Ya tenemos la potencia especificada en el propio cargador, es de 110W)

$$Pv.e = 110W * 12Ah$$

$$Pv.e = 1320\ W$$

- Vehículo eléctrico 2

$$Pv.e = \left(\frac{67{,}2V * 2A}{0{,}9}\right) * 12\ Ah$$

$$Pv.e = 1792\ W$$

- Vehículo eléctrico 3

$$Pv.e = \left(\frac{54{,}6V * 2A}{0{,}9}\right) * 12\ Ah$$

$$Pv.e = 1456\ W$$

Las tres potencias de cada V.E se suman para obtener la potencia total, se usa la ecuación (4).

$$Ptotal = Pv.e1 + Pv.e2 + Pv.e$$

$$Ptotal = 1320\ W + 1792\ W + 1456\ W$$

$$Ptotal = 4568\ W$$

Por lo tanto, la capacidad total del sistema es de 4568 W. Como se mencionó en el capítulo anterior en la sección de dimensionamiento del banco de baterías para calcular la capacidad de la batería, se consideraron los voltajes de 12 V y 24 V como referencia, con el propósito de elegir la batería o las baterías más adecuadas. Este cálculo se realizó utilizando la ecuación (5).

$$Q_{Ah} = \frac{P_T}{V_{bat}}[Ah]$$

$$Q_{Ah(12V)} = \frac{4568\ W}{12\ V} = 380{,}66\ Ah$$

$$Q_{Ah(24V)} = \frac{4568\ W}{24\ V} = 190{,}33\ Ah$$

Para calcular el tiempo de carga de la batería, así como su capacidad, se emplearon los voltajes de 12 V y 24 V como referencia con el objetivo de seleccionar la batería o las baterías más adecuadas. Asimismo, se consideró una corriente inicial de 300 Ah, la cual se determinó utilizando las ecuaciones (6), (7), y (8).

Para el voltaje de 12 V

$$W_b = V_b * Ah_b$$

$$W_b = 12 * 300 = 3600\ W$$

$$W_a = V_b * I_c$$

$$W_a = 12 * 100 = 1200\ W$$

$$T = \frac{W_b}{W_a}$$

$$T = \frac{3600\ W}{1200\ W} = 3H$$

Para el voltaje de 24 V

$$W_b = V_b * Ah_b$$

$$W_b = 24 * 300 = 7200\ W$$

$$W_a = V_b * I_c$$

$$W_a = 24 * 100 = 2400\ W$$

$$T = \frac{W_b}{W_a}$$

$$T = \frac{7200\ W}{2400\ W} = 3H$$

De igual forma se determina la potencia útil del banco de baterías mediante la ecuación (9).

$$W_{útil} = Wb_{(24V)} * \%\ de\ descarga$$

$$W_{útil} = 7200\ W * 50\%\ de\ descarga$$

$$W_{útil} = 3600\ W$$

4.2.3 Cálculo de dimensionamiento del inversor de voltaje

Para calcular la capacidad del inversor, se considera la potencia total de los vehículos eléctricos mediante la ecuación (10).

$$P_{inversor} = 1{,}25 * P_i$$

$$P_{inversor} = 1{,}25 * 4568W$$

$$P_{inversor} = 5710\ W$$

4.2.4 Cálculos de dimensionamiento para protecciones

Para la protección DC del Sistema fotovoltaico - Controlador de carga se seleccionó un porta fusible, mediante la ecuación (11) se determinó el valor de la corriente del fusible.

$$I_{max} = I_{scPV} * 1{,}25$$

$$I_{max} = 18{,}02 * 1{,}25$$

$$I_{max} = 22{,}52\ A\ \approx 25\ A$$

La protección AC del Sistema eólico – Controlador de Carga es un interruptor termomagnético, al igual que el sistema fotovoltaico se usa la corriente de cortocircuito, pero del sistema eólico, para ello usamos la ecuación (12).

$$I_{max} = I_{scW} * 1{,}25$$

$$I_{max} = 7{,}65 * 1{,}25$$

$$I_{max} = 9{,}56\ A\ \approx 16\ A$$

Para la protección DC del Banco de baterías – (Inversor de voltaje, Controlador de carga) necesitamos la potencia nominal del inversor para determinar la corriente nominal ya que la corriente nominal representa la demanda constante del sistema bajo condiciones normales. Se dimensiona sobre ella porque el disyuntor sí debe ser capaz de soportarla indefinidamente sin dispararse. Para ello se usa la ecuación (13) anteriormente mencionada.

$$I_{nominal} = \left(\frac{P_{nominal}}{V}\right) * 1{,}25$$

$$I_{nominal} = \left(\frac{5000\ W}{24\ V}\right) * 1{,}25$$

$$I_{nominal} = 262{,}48\ A\ \approx 300\ A$$

La protección AC del Inversor – Barras Ac es un interruptor termomagnético, debemos usar la potencia máxima del inversor y el voltaje de salida del inversor, para ello usamos la ecuación (14).

$$I_{max} = \frac{P}{\sqrt{3} * U_L * cos\varphi} * 1{,}25$$

$$I_{max} = \frac{10000\ W}{\sqrt{3} * 110 * 1} * 1{,}25$$

$$I_{max} = 52{,}48\ A\ \approx 50\ A$$

La instalación de un interruptor diferencial luego de una protección termomagnética ya que protege a las personas de la corriente eléctrica en baja tensión por un contacto indirecto o directo, debemos seguir la igualdad (15).

$$I_{nominal\ del\ diferencial} \geq I_{nominal\ del\ termomagnético}$$

$$63\ A \geq 50\ A$$

4.2.5 Cálculos de dimensionamiento para conductores

Para las secciones de las líneas de DC hacemos uso de la ecuación (18), mientras que para las secciones de las líneas de AC usamos la ecuación (19).

Secciones de las líneas de corriente continua

$$I_i = \frac{P_t}{V_b}$$

$$I_i = \frac{964{,}4\ W}{24\ V}$$

$$I_i = 40{,}18\ A$$

Secciones de las líneas de corriente alterna

$$I_{cAC} = \frac{P_t}{V_{AC}}$$

$$I_{cAC} = \frac{964{,}4\ W}{110\ V}$$

$$I_{cAC} = 8{,}76\ A$$

Para la obtención del calibre de conductor inicialmente se determina las caídas de tensión y el porcentaje de caídas de tensión de las secciones en DC y AC mencionadas en el capítulo 4. Para las caídas de tensión se usó la ecuación (16). Mientras que para el porcentaje de caídas de tensión se usa la ecuación (17).

Caídas de tensión

$$\Delta V = R * l * I \qquad \Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_n} * 100$$

- Sistema fotovoltaico – Porta fusible DC 25 A

$$\Delta V = 5{,}26 * 2 * 22{,}52$$

$$\Delta V = 236{,}91$$

$$\Delta V\% = \frac{236{,}91}{24} * 100$$

$$\Delta V\% = 0{,}09$$

- Porta fusible DC 25 A – Controlador de carga

$$\Delta V = 5{,}26 * 0{,}5 * 22{,}52$$

$$\Delta V = 59{,}22$$

$$\Delta V\% = \frac{59{,}22}{24} * 100$$

$$\Delta V\% = 0{,}02$$

- Controlador de carga – Banco de baterías

$$\Delta V = 1{,}32 * 0{,}9 * 30{,}17$$

$$\Delta V = 35{,}84$$

$$\Delta V\% = \frac{35{,}84}{24} * 100$$

$$\Delta V\% = 0{,}01$$

- Banco de baterías – Disyuntor DC 300 A

$$\Delta V = 1{,}32 * 1 * 40{,}18$$

$$\Delta V = 106{,}07$$

$$\Delta V\% = \frac{106{,}07}{24} * 100$$

$$\Delta V\% = 0{,}04$$

- Disyuntor DC 300 A – Inversor

$$\Delta V = 1{,}32 * 1 * 40{,}18$$

$$\Delta V = 106{,}07$$

$$\Delta V\% = \frac{106,07}{24} * 100$$

$$\Delta V\% = 0,04$$

- Sistema eólico – Interruptor termomagnético AC 16 A

$$\Delta V = 1,32 * 2 * 7,65$$

$$\Delta V = 20,19$$

$$\Delta V\% = \frac{20,19}{27} * 100$$

$$\Delta V\% = 0,07$$

- Interruptor termomagnético AC 16 A – Controlador de carga

$$\Delta V = 1,32 * 0,5 * 7,65$$

$$\Delta V = 5,049$$

$$\Delta V\% = \frac{5,049}{27} * 100$$

$$\Delta V\% = 0,01$$

- Inversor – Interruptor termomagnético AC 50 A

$$\Delta V = 8,17 * 0,5 * 8,76$$

$$\Delta V = 35,78$$

$$\Delta V\% = \frac{35,78}{110} * 100$$

$$\Delta V\% = 0,03$$

- Interruptor termomagnético AC 50 A – Interruptor diferencial AC 63 A

$$\Delta V = 8,17 * 0,5 * 8,76$$

$$\Delta V = 35,78$$

$$\Delta V\% = \frac{35,78}{110} * 100$$

$$\Delta V\% = 0,03$$

- Interruptor diferencial AC 63 A – Sistema de control

$$\Delta V = 8{,}17 * 2 * 8{,}76$$

$$\Delta V = 143{,}13$$

$$\Delta V\% = \frac{143{,}13}{110} * 100$$

$$\Delta V\% = 0{,}01$$

- Sistema de control – Barras AC

$$\Delta V = 8{,}17 * 1{,}8 * 8{,}76$$

$$\Delta V = 128{,}82$$

$$\Delta V\% = \frac{128{,}82}{110} * 100$$

$$\Delta V\% = 0{,}01$$

En la siguiente tabla se presentan los resultado de los cálculos desarrollados y el calibre del conductor elegido para utilizar en los distintos tramos del sistema PowerWall. Además, se debe tener en cuenta que las caídas de tensión no deben exceder los rangos establecidos.

Tabla 18 Caídas de tensión en los conductores

Tramo	Distancia [m]	# conductores	AWG	R [Ω/m]	[A]	[V]	ΔV%	Límite permitido
Sistema fotovoltaico – Porta fusible DC 25 A	2	2	4	5,26	22,52	24	0,09	<3%
Porta fusible DC 25 A – Controlador de carga	0,5	2	10	5,26	22,52	24	0,02	<3%
Controlador de carga – Banco de baterías	0,9	2	6	1,32	30,17	24	0,01	<3%
Banco de baterías – Disyuntor DC 300 A	1	2	4	1,32	40,18	24	0,04	<3%

Disyuntor DC 300 A – Inversor	1	2	4	1,32	40,18	24	0,04	<3%
Sistema eólico – Interruptor termomagnético AC 16A	2	2	6	1,32	7,65	27	0,07	<3%
Interruptor termomagnético AC 16A – Controlador de carga	0,5	2	10	1,32	7,65	27	0,01	<3%
Inversor – Interruptor termomagnético AC 50 A	0,5	2	10	8,17	8,76	110	0,03	< 5%
Interruptor termomagnético AC 50 A – Interruptor diferencial AC 63 A	0,5	2	10	8,17	8,76	110	0,03	< 5%
Interruptor diferencial AC 63 A – Sistema de control	2	2	10	8,17	8,76	110	0,01	< 5%
Sistema de control – Barras AC	1,8	2	10	8,17	8,76	110	0,01	< 5%

La tabla presenta el tamaño de conductor adecuado para la instalación del sistema Powerwall. A continuación, se presentan el calibre de conductor escogido para cada tramo de la sección en DC y AC.

Sistema fotovoltaico – Porta fusible DC 25 A: 4 AWG

Porta fusible DC 25 A– Controlador de carga: 10 AWG

Controlador de carga – Banco de baterías: 6 AWG

Banco de baterías – Disyuntor DC 300 A: 4 AWG

Disyuntor DC 300 A – Inversor: 4 AWG

Sistema eólico – Interruptor termomagnético AC 16 A: 6 AWG

Interruptor termomagnético AC 16 A– Controlador de carga: 10 AWG

Inversor – Interruptor termomagnético AC 50 A: 10 AWG

Interruptor termomagnético AC 50 A- Interruptor diferencial AC 63 A: 10 AWG

Interruptor diferencial AC 63 A – Sistema de control: 10 AWG

Sistema de control - Barras AC: 10 AWG

4.3 Recepción e inspección de los equipos y materiales usados

La recepción de equipos es un proceso clave que garantiza la verificación, inspección y conformidad de los equipos entregados, asegurando que cumplan con los parámetros técnicos y estándares requeridos para su instalación. Se recibieron los equipos provenientes de Estados Unidos y China, los cuales incluyen un controlador de carga solar, dos baterías, un inversor, 2 medidores multifunción AC, 2 medidores multifunción DC. Además, se verificaron el número, el estado y los modelos de cada equipo.

Figura 22. Equipos de China

Figura 23. Equipo de Estados Unidos

4.4 Impresión de marco 3d para pantalla de interfaz de usuario

Como fue indicado previamente en la sección de materiales, los parámetros eléctricos pueden visualizarse empleando una pantalla Nextion de 5 pulgadas, la cual se colocó en un soporte personalizado creado con diseño 3D que se muestra en la siguiente figura.

Figura 24. Modelo 3D del soporte y marco para la pantalla de interfaz de usuario**.**

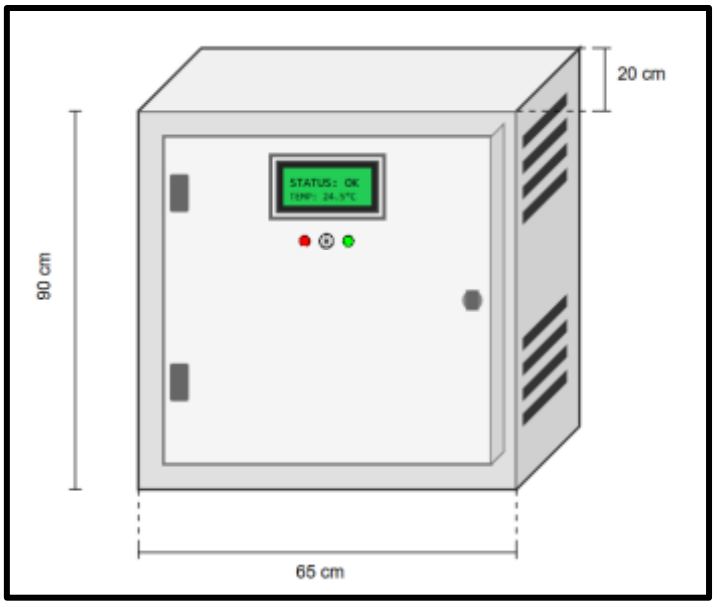
Mediante este dispositivo, es posible observar las lecturas y datos obtenidos por los sensores usados, visualizando parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia tanto en AC cómo en DC de los sistemas de generación, banco de baterías e inversor. Adicionalmente se puede observar la

temperatura general del sistema Powerwall y la temperatura individual de cada batería, así como el porcentaje de batería.

4.5 Construcción del circuito de potencia

En esta sección se detalla la construcción del circuito de potencia con los materiales descritos en el capítulo 3. El circuito de potencia es el conjunto de componentes electrónicos que manejan y controlan altos niveles de voltaje y corriente. Corresponde a la ubicación y conexión de los equipos principales en el sistema Powerwall acoplando la energía entregada por los sistemas de generación al controlador de carga híbrido que se conecta hacia el banco de baterías juntamente con el inversor de voltaje y finalmente hacia las barras AC para la carga de los VE de la carrera de Electricidad. De igual forma se realizó un diseño general del tablero del sistema Powerwall.

Figura 25. Diseño general y dimensiones del tablero eléctrico



El tablero general del sistema Powerwall contiene los equipos para el circuito de potencia, circuito de protecciones y el sistema de monitoreo. Con ayuda de un doble fondo en tablero se logran fijar los equipos mencionados.

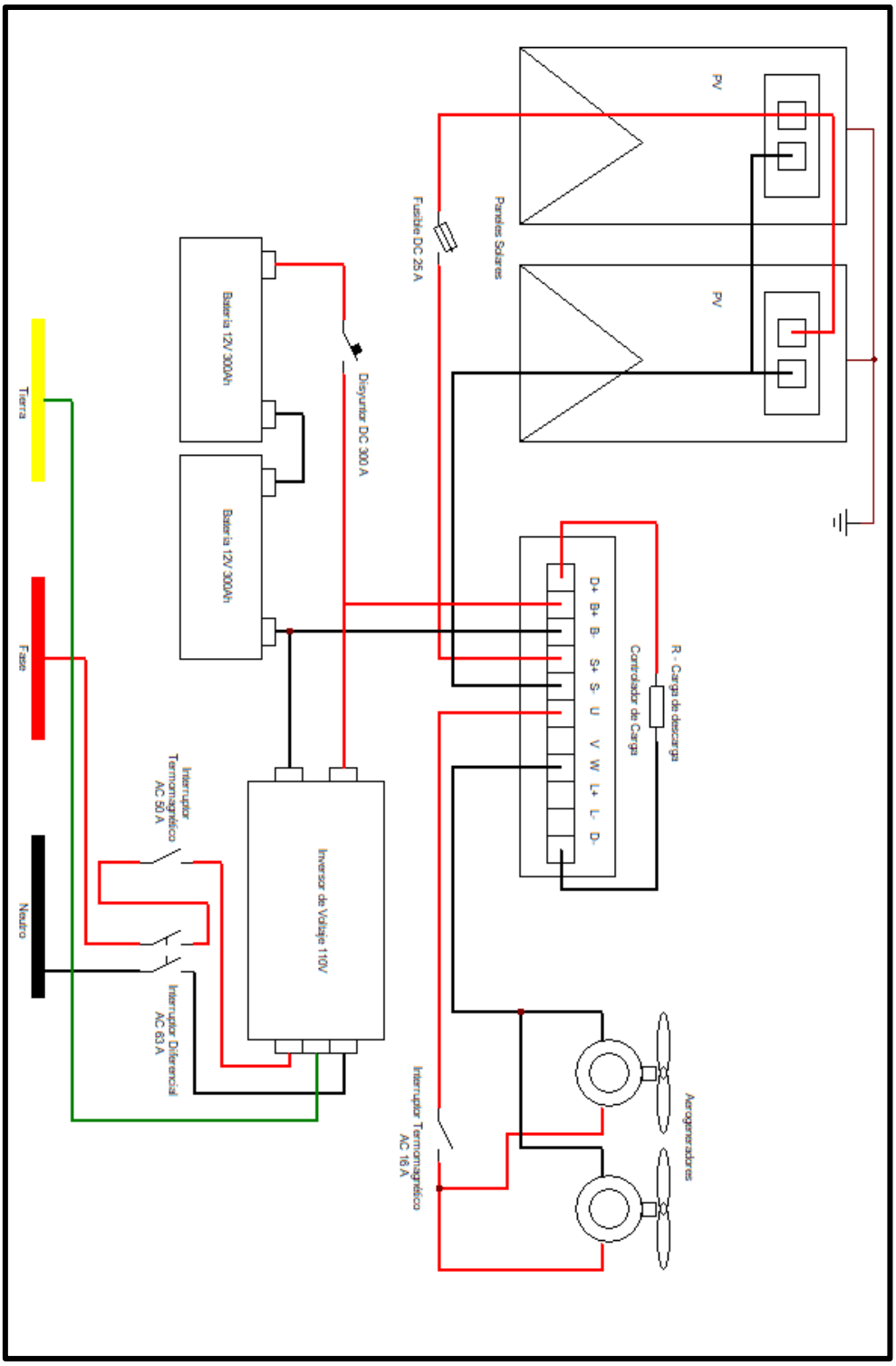
Figura 26. Construcción del tablero

Para la construcción del tablero se usó planchas de aluminio con medidas de 90 cm de alto, 65 cm de ancho y 20 cm de fondo desde la placa de doble fondo, la placa de doble fondo se hizo para fijar los equipos y canaletas en el tablero para no tener contacto directo con la pared donde se colocará el sistema Powerwall. De la misma manera se usó una base ya existente dentro de la carrera de Electricidad para colocar el banco de baterías.

4.5.1 Circuito de conexiones

El circuito representa el sistema energético híbrido renovable donde la importancia del esquema eléctrico radica en su función como herramienta fundamental de planificación y ejecución. Este esquema eléctrico es esencial porque permite visualizar claramente la conexión entre los componentes del sistema Powerwall como (paneles solares, aerogeneradores, controlador de carga, baterías e inversor), sirviendo como mapa para la instalación correcta. Además, facilitan la identificación de puntos críticos de protección mediante fusibles e interruptores, previenen errores de conexión potencialmente peligrosos, simplifican la detección y resolución de averías durante el mantenimiento. En sistemas híbridos como este, el esquema garantiza la correcta integración de múltiples fuentes de energía, optimizando su funcionamiento y asegurando un suministro eléctrico fiable y seguro.

Figura 27. Esquemático del circuito



4.5.2 Ubicación y conexión de los equipos

Inicialmente se llevó a cabo una inspección del lugar donde se implementa la construcción del tablero eléctrico y de la estructura del banco de baterías, así como el montaje adecuado de los equipos. El tablero eléctrico se colocó al lado derecho del tablero central de los sistemas de generación, el cableado de los sistemas de generación se los llevó por medio de canaletas hacia la parte superior izquierda del tablero eléctrico.

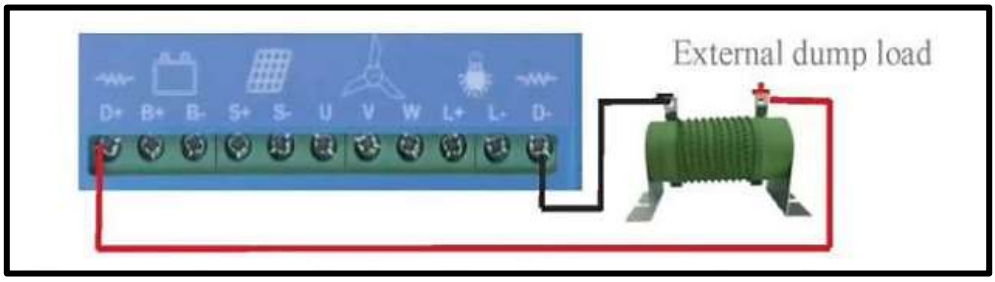
Figura 28. Ubicación de los equipos

Posterior al posicionamiento del tablero de control sobre la pared, se procedió a la instalación de los componentes del circuito de potencia en el compartimento de doble fondo. La disposición de cada elemento fue estratégicamente fijada para optimizar las rutas de cableado dentro del sistema. Los conductores fueron organizados y guiados a través de las canaletas preinstaladas, asegurando una organización adecuada según niveles de tensión y categoría de señal. La instalación garantiza una correcta gestión térmica, facilita el acceso para mantenimiento preventivo y correctivo.

Figura 29. Conexión del controlador de carga en el circuito de potencia

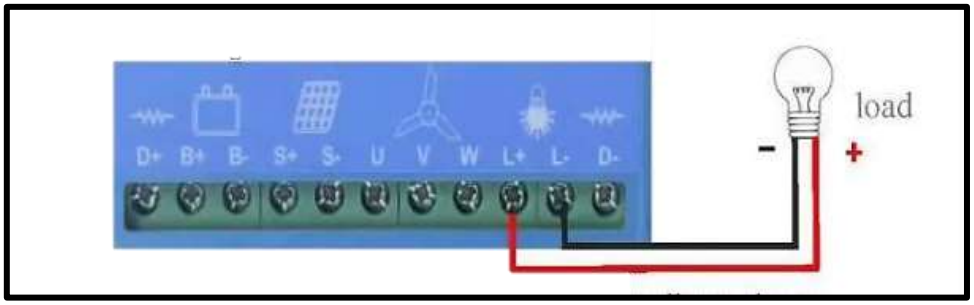
El controlador de carga en el sistema Powerwall constituye un elemento importante crítico para la gestión bidireccional de potencia, gestiona eficientemente los flujos de energía entre fuentes renovables y baterías, protegiendo contra sobrecargas y descargas profundas, optimizando la conversión energética, adaptándose a condiciones climáticas variables y maximizando la duración de todos los componentes del sistema.

Figura 30. Cableado de carga de descarga



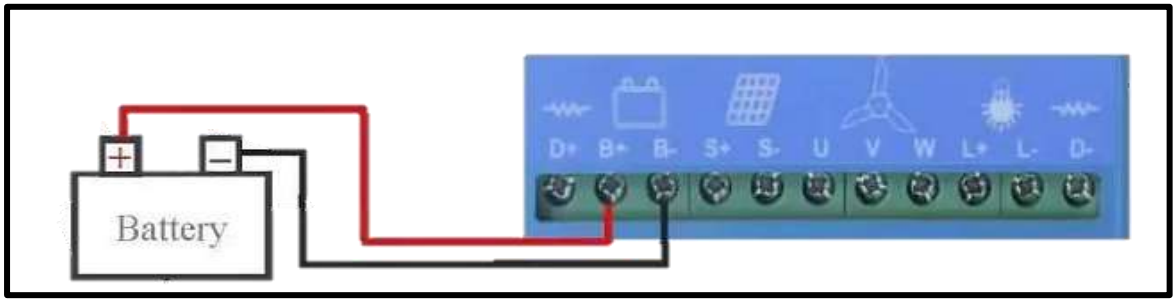
El controlador de carga gestiona el excedente energético mediante derivación controlada hacia una resistencia disipativa. El cableado requiere conexión bipolar: terminal positivo (+) al puerto D+ del controlador y terminal negativo (-) al puerto D-, permitiendo la disipación térmica programada cuando los acumuladores alcanzan su estado de carga máximo.

Figura 31. Cableado de carga



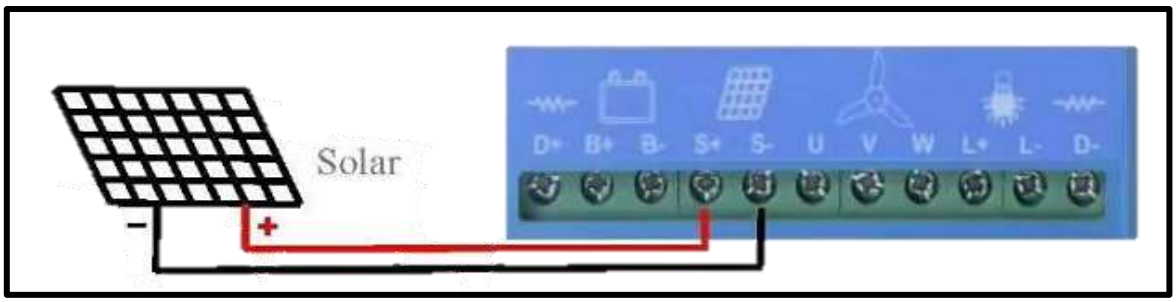
Se represente la conexión para cargas de consumo al controlador híbrido. El cableado establece un circuito de alimentación para dispositivos externos mediante conexión bipolar: terminal positivo (+) al puerto L+ y terminal negativo (-) al puerto L- del controlador. Esta disposición permite la distribución regulada de corriente continua hacia componentes consumidores, garantizando protección contra sobrecargas y manteniendo la polaridad correcta según especificaciones nominales del sistema.

Figura 32. Cableado del banco de baterías



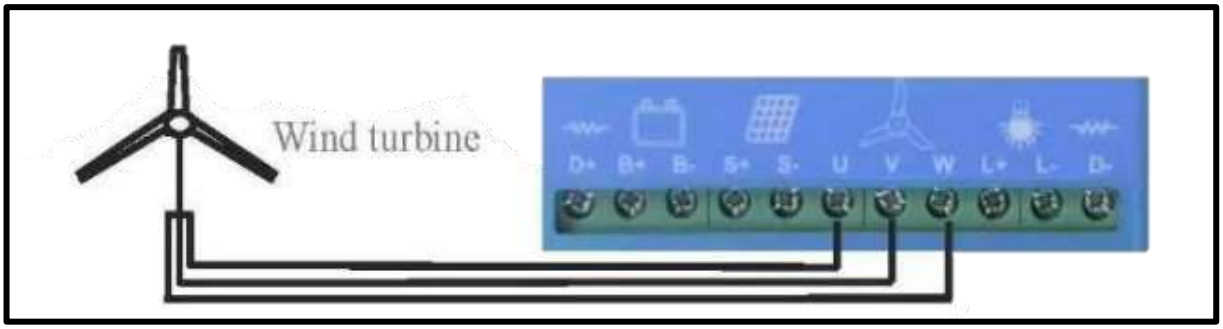
Se visualiza la conexión entre banco de baterías y el controlador de carga. Esta configuración establece la ruta bidireccional de corriente mediante conexión del terminal positivo (+) al puerto B+ y terminal negativo (-) al puerto B-. Esta conexión facilita los procesos de carga/descarga controlada del banco de baterías. Además, implementa sistemas de protección contra sobrecarga, descarga profunda y polaridad inversa.

Figura 33. Cableado del sistema fotovoltaico



Se muestra la conexión entre el sistema fotovoltaico y el controlador de carga. El cableado establece la ruta unidireccional para la captación energética mediante la conexión del terminal positivo (+) del arreglo al puerto S+ y el terminal negativo (-) al puerto S-. Esta configuración permite la implementación de algoritmos MPPT para optimización de conversión energética, Además, incorpora protección contra polaridad inversa y limitación de sobretensiones.

Figura 34. Cableado del sistema eólico



Se visualiza la interconexión entre el aerogenerador y el controlador híbrido. La configuración establece el circuito de captación eólica mediante conexión del terminal positivo al puerto W+ y negativo al puerto W-. Esta conexión permite la rectificación y acondicionamiento de corriente alterna trifásica generada por turbina eólica, el controlador tiene algoritmos de control para la optimización de potencia según su velocidad de rotación y protección contra sobretensiones por ráfagas extremas.

Figura 35. Cableado del banco de baterías

En el sistema Powerwall, la conexión en serie de las dos baterías de 12V 300Ah para formar un banco de 24V 300Ah responde a la necesidad de adaptar el voltaje de entrada requerido por el inversor (24V), manteniendo la misma capacidad de almacenamiento. Esta configuración permite optimizar la eficiencia de conversión del inversor mientras se minimiza la corriente circulante por los conductores. El controlador de carga conectado en paralelo puede gestionar adecuadamente la recarga del banco. Se usó un conductor de calibre 4 AWG ya que es apropiado para estas conexiones debido a su capacidad de manejar las corrientes del sistema sin sobrecalentarse y con mínimas pérdidas por resistencia. Cuando el banco de baterías está en un rango de Tensión de Carga uso en Flotación (Float) el voltaje estará entre 27.2 V a 27.6 V.

Figura 36. Cableado del inversor de voltaje

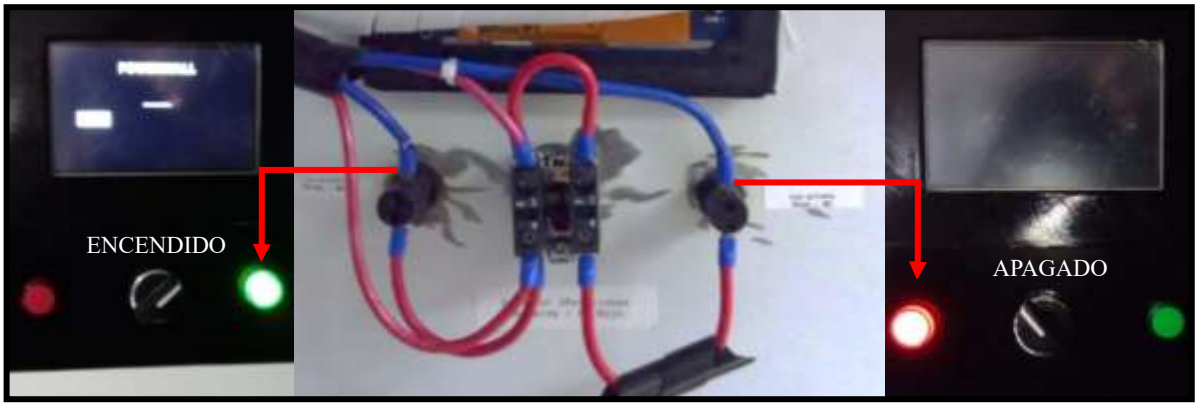
Para la instalación del inversor inicialmente debemos verificar la polaridad del banco de baterías, conectamos conductores de calibre 4 AWG en los terminales correspondientes y aplicamos el

torque adecuado en conexiones para evitar arcos eléctricos. Se identificó los terminales de entrada DC del inversor (positivo/rojo, negativo/negro) siguiendo la polaridad. Además del banco de batería se conecta el controlador de carga en paralelo con estos dos.

Figura 37. Barras AC

La implementación de barras colectoras de distribución en AC a 120V alimentadas por el inversor de voltaje permite centralizar la conexión de cargadores para vehículos de movilidad eléctrica como scooters, bicicletas y motocicletas, optimizando la administración de puntos de carga. Para el cableado se usó el conductor calibre #10 flexible ya que proporciona la capacidad adecuada para transportar la corriente demandada por los múltiples dispositivos sin sobrecalentamiento, manteniendo la caída de tensión dentro de parámetros aceptables.

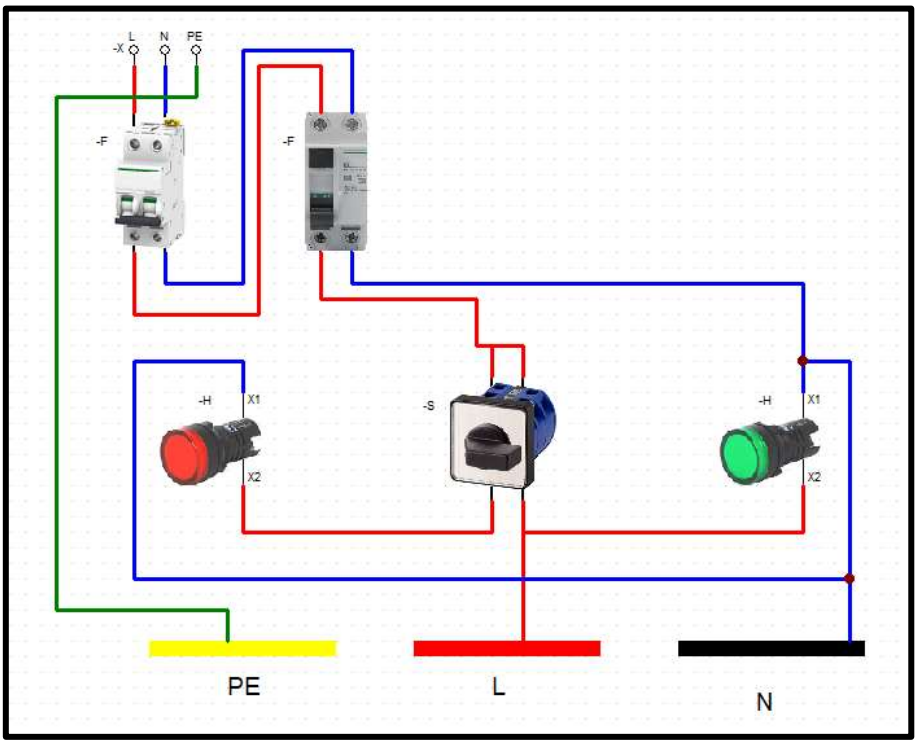
Figura 38. Control de encendido y apagado



El sistema de control es necesario para energizar y des energizar el voltaje de salida del sistema Powerwall. Se hizo uso de una luz piloto verde (operación normal), roja (falla) y un selector de tres posiciones (0/apagado, NA, NC) esto permite gestionar los estados operativos del inversor de voltaje.

El cableado se realizó con conductor flexible #10 AWG garantizando la capacidad de corriente adecuada para la barra AC, posibilitando conmutación manual esencial para mantenimiento y contingencias del sistema de alimentación eléctrica.

Figura 39. Esquema de conexión del sistema de control

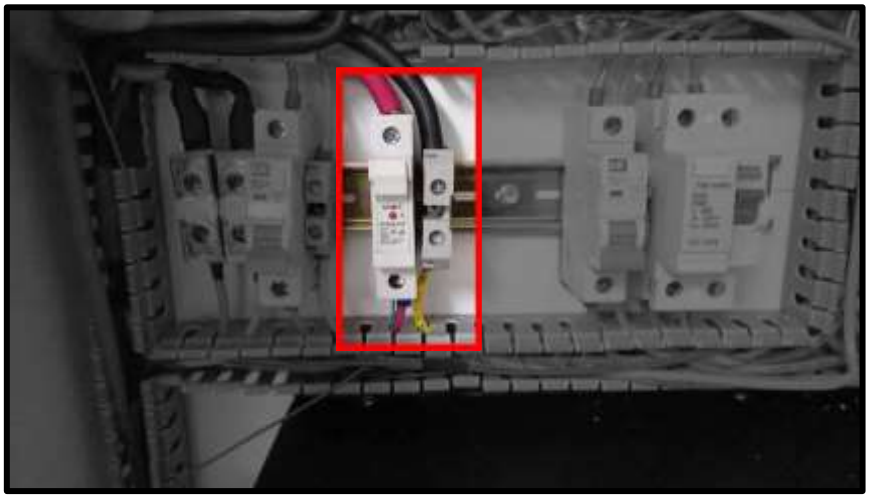


El circuito para el sistema de control se realizó en el software CADe_SIMU mediante la representación de los contactos de L, N y PE como los terminales de salida del inversor de voltaje. Además, del uso de elementos eléctricos como protección termomagnética, protección diferencial, luces piloto y un selector de 3 posiciones. De igual forma se representó las barras en AC con franjas de colores.

4.6 Ubicación y conexión de protecciones en DC

En esta sección se detalla la ubicación y conexión de las protecciones en DC descritas en el capítulo 3. El sistema de protecciones en DC constituye dispositivos como fusibles e interruptores para prevenir daños por sobre corrientes y sobrevoltajes en el circuito de potencia. Esto corresponde a la ubicación y conexión un fusible de 25 Amperios para la sección del sistema fotovoltaico y un disyuntor DC de 300 Amperios para el banco de baterías.

Figura 40. Fusible 25 A sistema fotovoltaico



El fusible DC de 21 Amperios en un sistema fotovoltaico no ayuda como dispositivo de seguridad que se activará cuando la corriente exceda este valor límite. La corriente nominal es de 15.75A y la corriente de cortocircuito puede alcanzar 18.02A. El fusible está dimensionado ligeramente por encima (21A) para tolerar picos momentáneos de corriente sin dispararse innecesariamente, pero protegerá el sistema si ocurre una sobre corriente peligrosa que pudiera dañar los componentes. El cableado de entrada del fusible comprende un conductor #4 directamente del sistema fotovoltaico, a la salida de fusible tenemos un conductor # 10 el cual se cablea hacia el controlador de carga. El conductor negativo antes de conectarlo con el controlador de carga se conecta a un shunt del sensor Pzem017 para medir su corriente, cierra el circuito y se conecta con el controlador de carga.

Figura 41. Disyuntor DC 300 A banco de baterías

El disyuntor de 300 amperios para el banco de baterías de 24V y 300Ah funciona como elemento de seguridad crucial que corta automáticamente el circuito ante fallos eléctricos. En este sistema de almacenamiento con capacidad de 7200Wh, el disyuntor está dimensionado para manejar corrientes máximas de descarga profunda y picos transitorios (hasta 300A), protegiendo contra cortocircuitos y sobrecargas severas que podrían provocar sobrecalentamiento, daños irreversibles a las baterías o incendios. Además, permite desconectar manualmente el sistema para realizar mantenimiento seguro en la instalación. El cableado de entrada del disyuntor comprende el conductor positivo de calibre #4 directamente del banco de baterías conectadas en serie, a la salida de disyuntor tenemos un conductor # 4 el cual se cablea hacia el inversor de voltaje. El conductor negativo antes de conectarlo al inversor de voltaje al igual que el sistema fotovoltaico se conecta a un shunt del sensor Pzem017 para medir su corriente, cierra el circuito y se conecta con el inversor de voltaje.

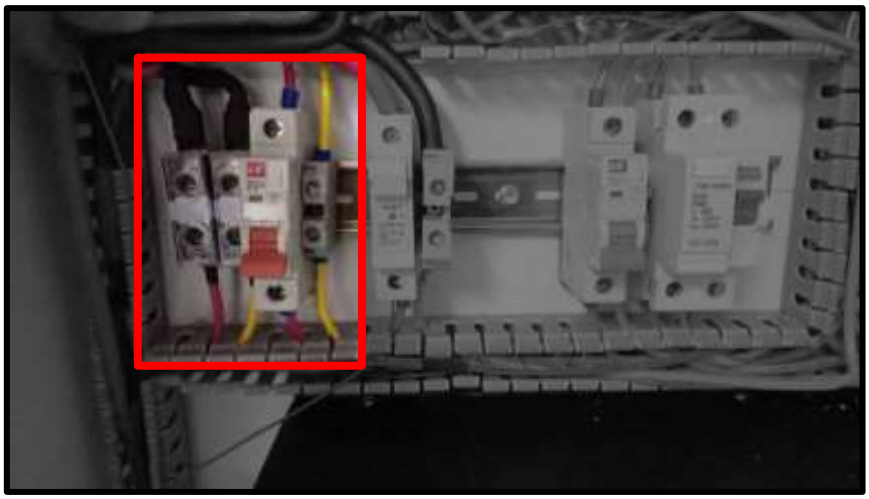
4.7 Ubicación y conexión de protecciones en AC

En esta sección se detalla la ubicación y conexión de las protecciones en AC descritas en el capítulo 3. El sistema de protecciones en AC incorpora dispositivos específicos como interruptores termomagnéticos e interruptores diferenciales para prevenir daños por sobre corrientes, cortocircuitos y fugas a tierra en el circuito de AC. Esto corresponde a la ubicación y conexión de un interruptor termomagnético de 1x16 Amperios para la sección del sistema de aerogeneradores, proporcionando protección contra sobrecargas y cortocircuitos en la generación eólica. Adicionalmente,

se instala un interruptor termomagnético de 1x50 Amperios para proteger el inversor de voltaje de 120V, dimensionado para soportar la corriente nominal y picos transitorios sin dispararse innecesariamente.

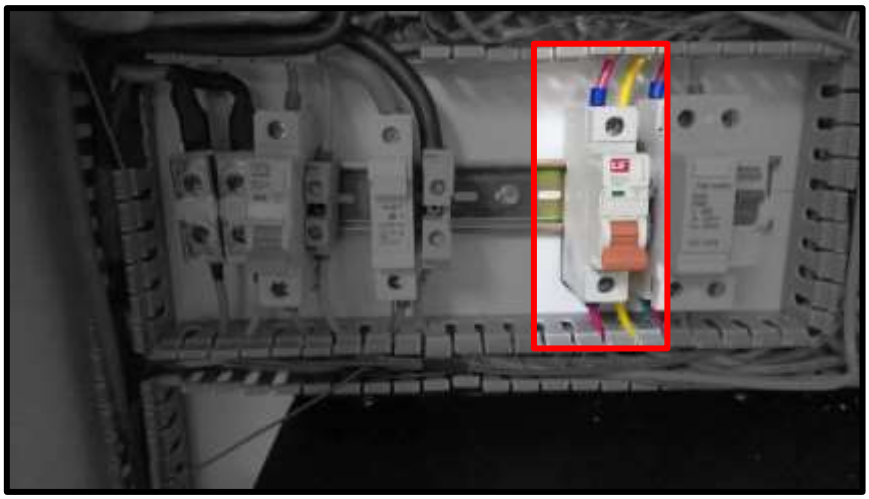
Como elemento de seguridad adicional, se coloca un interruptor diferencial inmediatamente después del interruptor termomagnético de 1x63 Amperios, conectado hacia las barras AC, cuya función principal es detectar fugas de corriente y desconectar el circuito ante riesgos de electrocución, garantizando así la protección de personas y equipos contra contactos indirectos en el sistema eléctrico.

Figura 42. Interruptor termomagnético 1 x 16 A - Sistema de aerogeneradores



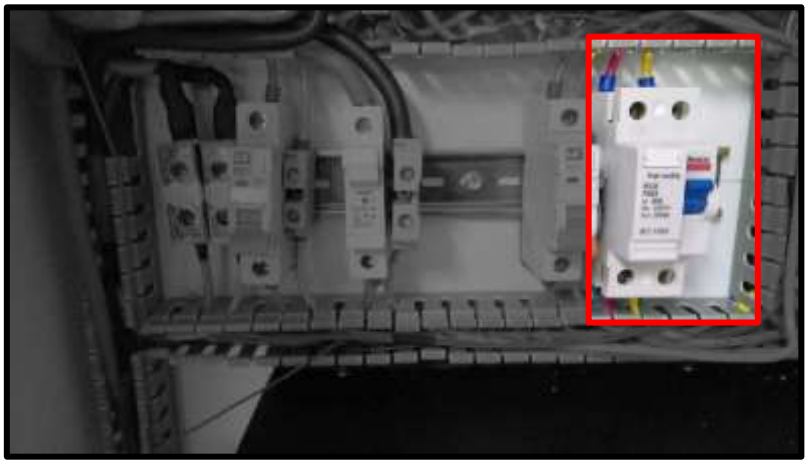
El interruptor termomagnético de 1x16 amperios protege el circuito contra sobrecargas y cortocircuitos en la conexión entre los aerogeneradores y el controlador de carga. Desconecta automáticamente el sistema cuando la corriente supera los 16A, evitando daños en los componentes y posibles incendios. Para mayor manejo de los conductores y mayor facilidad de cableado se instaló dos terminales para los conductores # 6, seguido de eso se cable con un conductor # 10 hacia la entrada del interruptor termomagnético. Los conductores de salida se cablean hacia el controlador de carga, el conductor negativo pasará por un CT o transductor que medirá la corriente que circule por el conductor.

Figura 43. Interruptor termomagnético 1 x 50 A – Inversor de voltaje



El interruptor termomagnético de 1x50 amperios instalado a la salida del inversor de 5000W/10000W pico protege los circuitos conectados contra sobrecargas y cortocircuitos. Actúa como primera barrera de seguridad antes del interruptor diferencial, interrumpiendo el flujo cuando la corriente excede 50A, evitando daños en la instalación eléctrica alimentada por la corriente de 120V del inversor. El cableado de entrada del interruptor termomagnético comprende un conductor # 10 directamente del inversor de voltaje, a la salida de interruptor tenemos un conductor # 10 el cual se cablea hacia la siguiente protección en AC para la protección del personal.

Figura 44. Interruptor diferencial 1 x 63 A – Barras AC

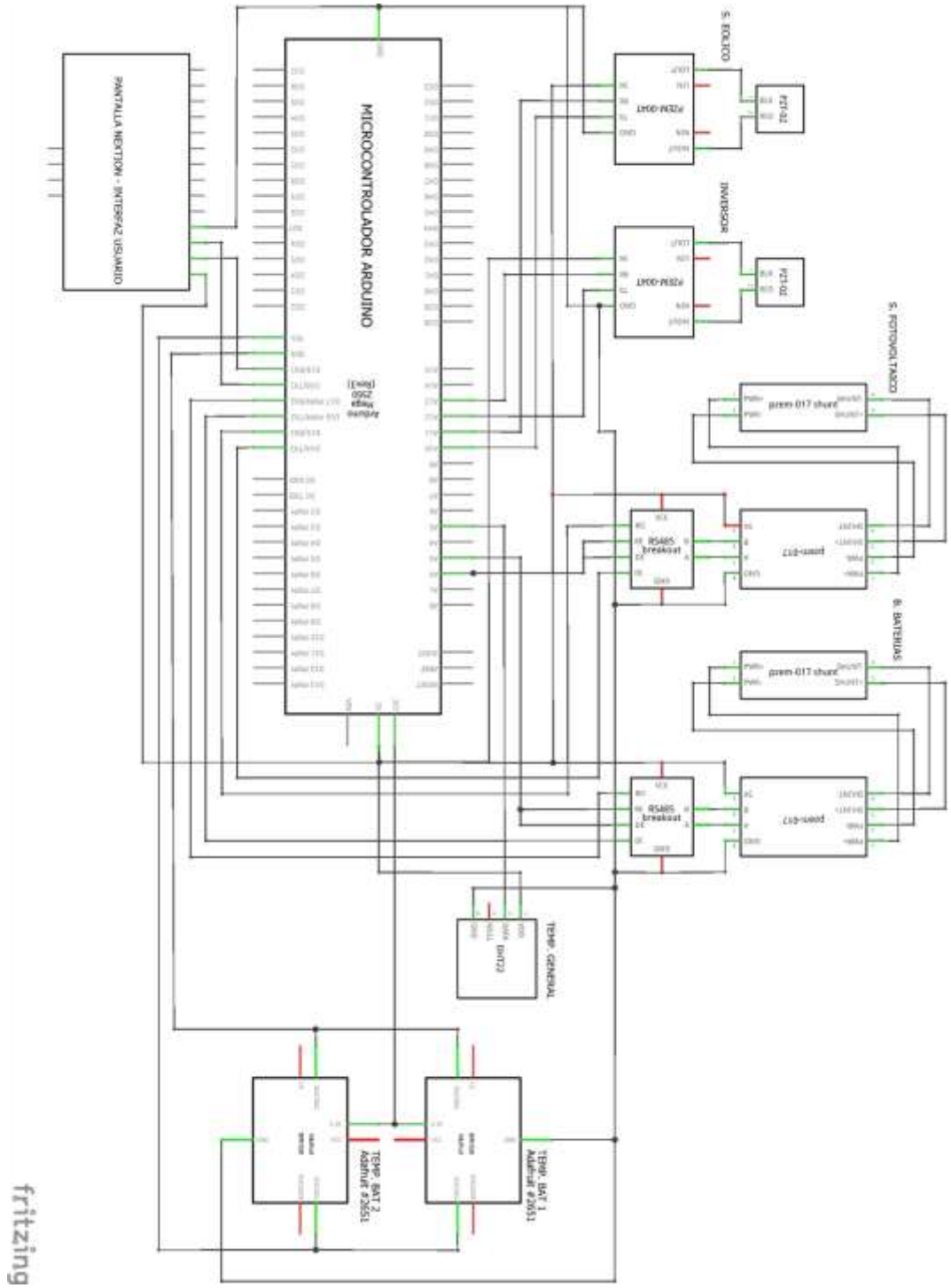


El interruptor diferencial de 1x63 amperios conectado después del termomagnético detecta fugas de corriente entre fase y neutro, protegiendo contra electrocución y contactos indirectos. Su función es complementar al termomagnético desconectando automáticamente cuando detecta corrientes de fuga (típicamente 30mA), proporcionando seguridad adicional a las personas y equipos conectados a las barras AC que distribuyen la energía del inversor. Los conductores de salida se cablean hacia las barras en AC, el conductor negativo pasará por un CT o transductor que medirá la corriente que circule por el conductor.

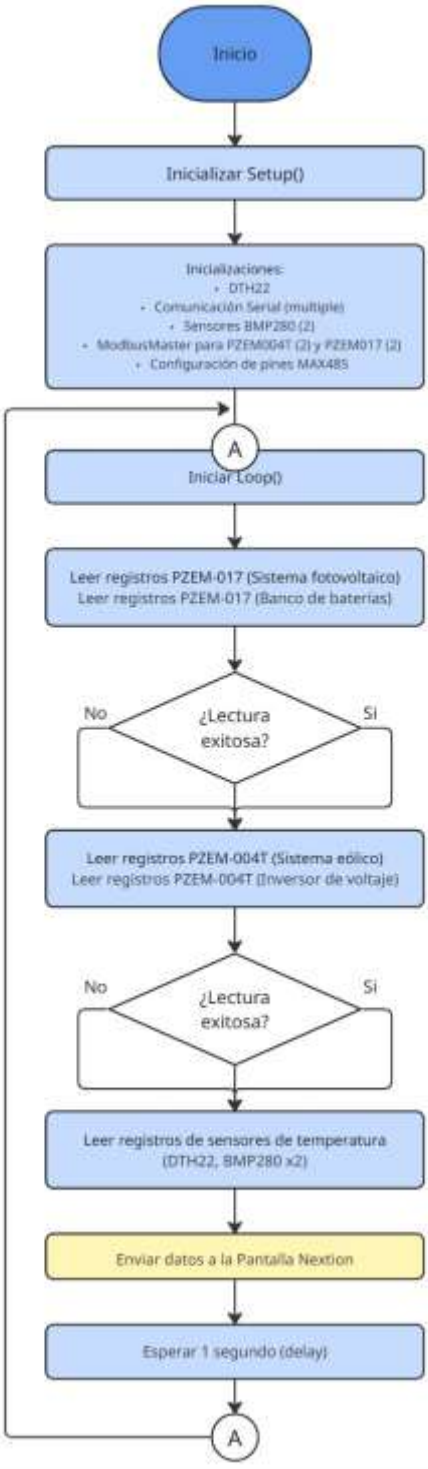
4.8 Construcción del circuito de monitoreo

En esta parte se detalla la ubicación y fabricación del circuito de monitoreo descrito en el capítulo 3. El circuito de monitoreo es el sistema que supervisará y medirá constantemente variables como voltaje, corriente, potencia, frecuencia, temperatura para asegurar el funcionamiento correcto y seguro del circuito de potencia. Corresponde a la ubicación y conexión de los medidores multifunción PZEM junto con sensores de temperatura hacia el microcontrolador Arduino Mega 2560. Las mediciones y valores obtenidos se visualizarán en una pantalla Nextion por medio de una interfaz creada personalmente.

4.8.1 Circuito de conexiones



4.8.2 Flujograma del código de programación

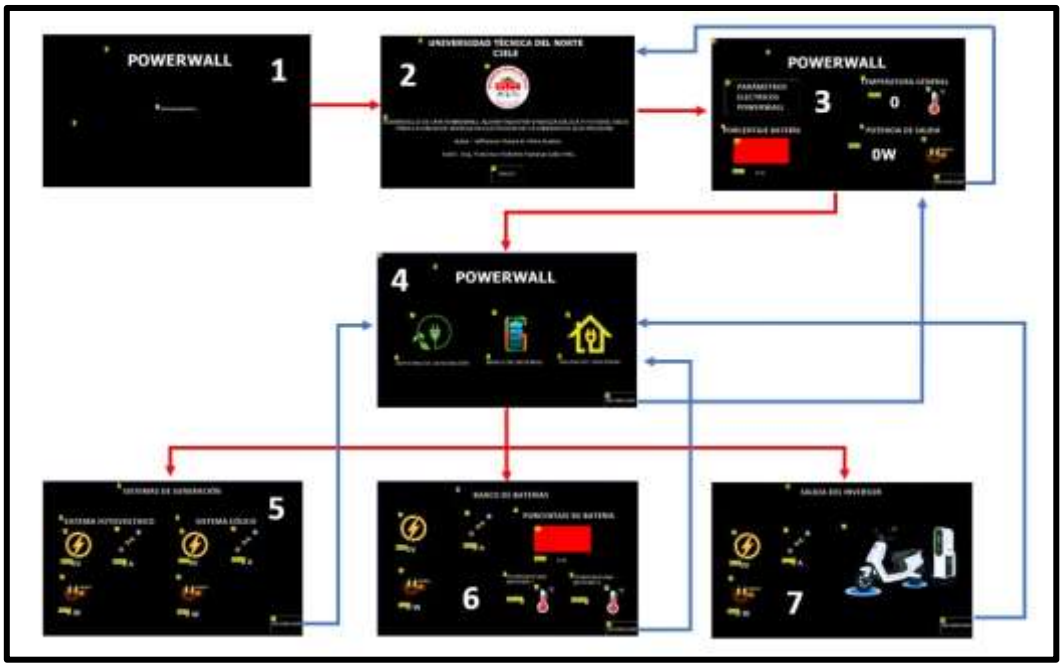


El código de programación del sistema de monitoreo es crucial porque permite obtener datos en tiempo real, detectar anomalías, y analizar respuestas ante eventos críticos y facilitar el análisis para mejorar el rendimiento y seguridad del sistema Powerwall. El condigo completo se encuentra en Anexos.

4.8.3 Creación de la interfaz en la Pantalla Nextion 5.0

El desarrollo de una interfaz en la Pantalla Nextion 5.0 para el sistema Powerwall es fundamental porque permite monitorizar en tiempo real parámetros eléctricos críticos como voltaje, corriente, potencia y estado de carga. Además de temperatura general e individual, esto facilita que los usuarios puedan supervisar eficientemente el rendimiento del sistema, optimizar el consumo energético, detectar anomalías rápidamente y datos sobre la gestión de su almacenamiento energético, todo desde una interfaz visual intuitiva y accesible.

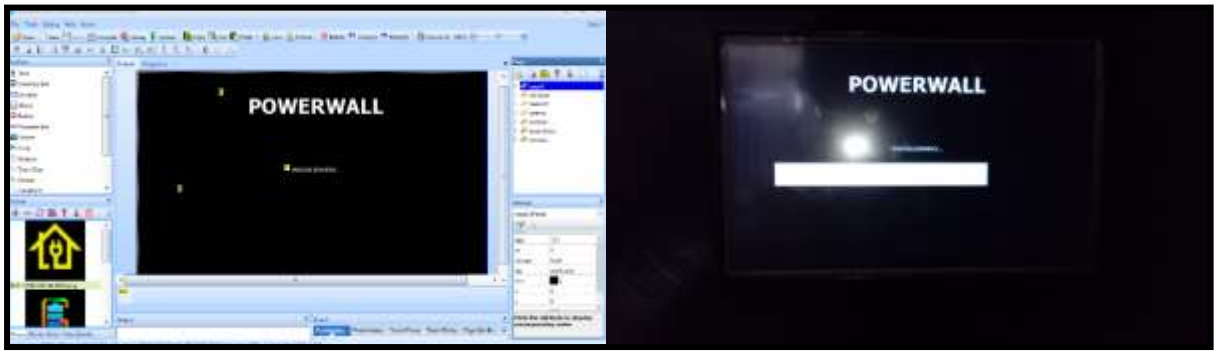
Figura 45. Esquema de navegación



Cada uno de los parámetros que se muestra en la interfaz con el usuario tiene una variable, con la cual se nombra a cada uno de los elementos y bloques deseados para visualizarlos en pantalla. Esta asignación de variables permite la actualización dinámica de los datos mostrados, estableciendo una comunicación bidireccional entre el sistema Powerwall y la pantalla Nextion. La personalización de estos elementos visuales incluye gráficos de barras, indicadores numéricos y alertas cromáticas que

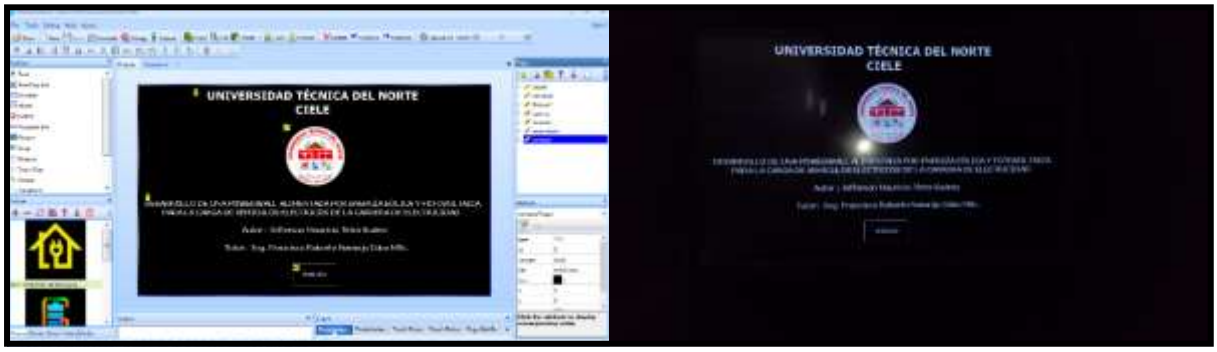
proporcionan al usuario una comprensión inmediata del estado operativo del sistema sin necesidad de interpretación técnica compleja.

Figura 46. Pestaña de carga de la interfaz



En la siguiente pestaña se visualiza una barra de carga del sistema Powerwall con una duración de 21 segundos, mientras se carga la barra los sensores empezarán a tomar las mediciones del sistema. Este proceso de inicialización es fundamental para establecer los parámetros operativos base que garantizan el funcionamiento óptimo del almacenamiento energético.

Figura 47. Pestaña de portada

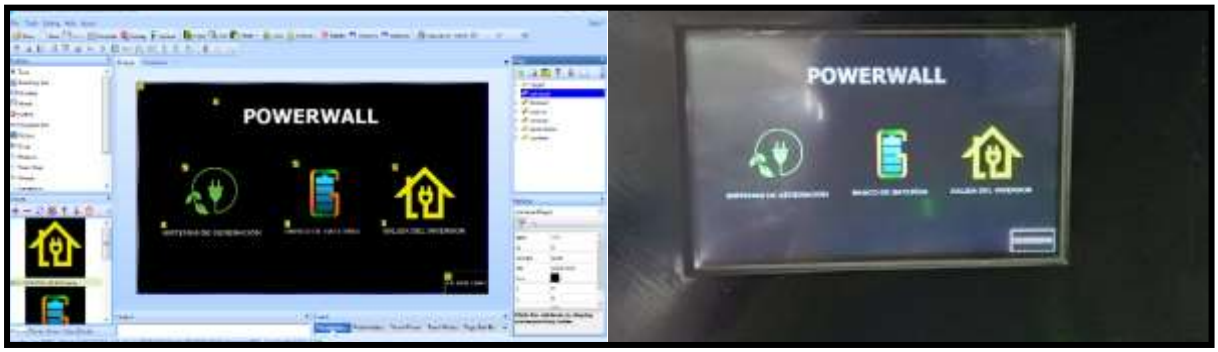


En la pestaña portada se puede apreciar una completa visualización de la información principal del proyecto, incluyendo el título formal del tema de grado que estoy desarrollando, mi nombre y el nombre de mi tutor asignado que guía el trabajo de grado. Estratégicamente ubicado en la sección inferior central de esta interfaz, encontramos un ícono interactivo denominado "INICIO", el cual cumple una función de navegación esencial, ya que, al hacer clic sobre él, automáticamente nos redirige hacia la siguiente pestaña del documento, permitiendo una transición fluida entre las diferentes secciones del trabajo presentado.

Figura 48. Pestaña de datos principales

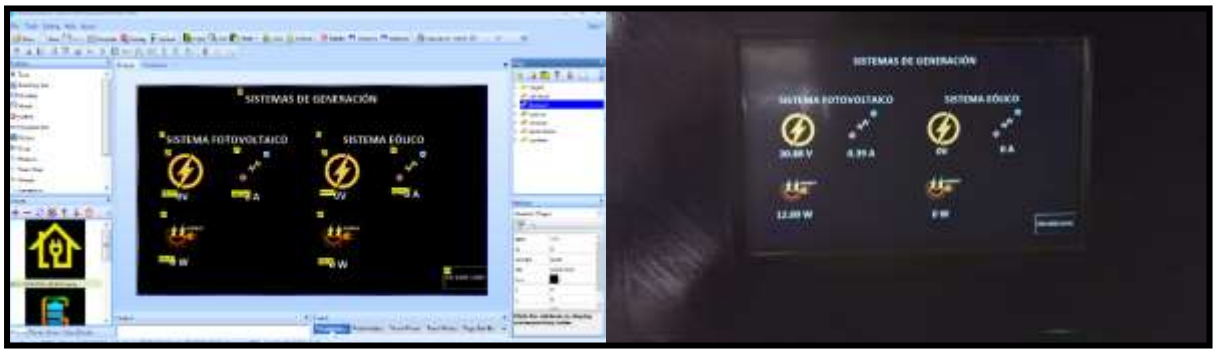
En la pestaña de datos principales de la interfaz encontramos los cuatro parámetros importantes del sistema Powerwall. La temperatura general de módulo, la potencia de salida del inversor dependiendo de las cargas conectadas, el porcentaje de batería del banco de baterías, un ícono de los parámetros eléctricos específicos del sistema Powerwall. En la parte inferior derecha tenemos un ícono de REGRESAR el cual nos dirige a la pestaña anterior.

Figura 49. Pestaña de parámetros eléctricos del sistema Powerwall



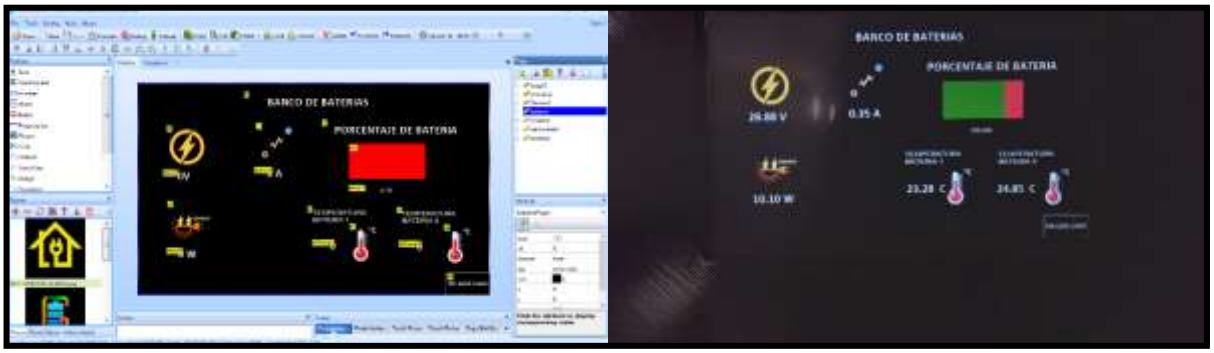
Al ingresar en el ícono de los íconos de parámetros eléctricos del sistema Powerwall obtenemos 3 íconos más que nos dirigen a sus propias pestañas. Podremos ver los parámetros de los sistemas de generación, parámetros del banco de baterías y los parámetros de la salida del inversor. En la parte inferior derecha tenemos un ícono de REGRESAR el cual nos dirige a la pestaña anterior.

Figura 50. Pestaña de sistemas de generación



En la pestaña de los sistemas de generación podemos observar los parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia tanto del sistema fotovoltaico como del sistema eólico. Podemos visualizar estos datos en tiempo real para analizar los datos eléctricos para un análisis del sistema Powerwall. En la parte inferior derecha tenemos un ícono de REGRESAR el cual nos dirige a la pestaña anterior.

Figura 51. Pestaña de banco de baterías



Dentro de la pestaña del banco de baterías visualizamos los parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia del banco de batería. De igual forma que la pestaña principal observamos el porcentaje del banco de batería. De igual forma que es la pestaña principal tenemos datos de temperatura, pero de cada batería. En la parte inferior derecha tenemos un ícono de REGRESAR el cual nos dirige a la pestaña anterior.

Figura 52. Pestaña de la salida del inversor

La última pestaña trata sobre los parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia de la salida del inversor en tiempo real, esto nos permite ver las mediciones eléctricas y analizarlas según las cargas que conectemos al sistema Powerwall. En la parte inferior derecha tenemos un ícono de REGRESAR el cual nos dirige a la pestaña anterior.

4.8.4 Ubicación y conexión del sistema de monitoreo

La instalación de los dispositivos sensoriales y equipamiento de monitorización fue ejecutada considerando la optimización de las rutas de cableado estructurado, garantizando así la integridad de la infraestructura de comunicación. Los conductores fueron asegurados mediante adhesivo de alta adherencia para prevenir la desconexión accidental de los terminales en las interfaces de los componentes sensoriales y unidades de procesamiento, preservando la continuidad operativa del sistema.

Figura 53. Construcción de la caja para el sistema de monitoreo

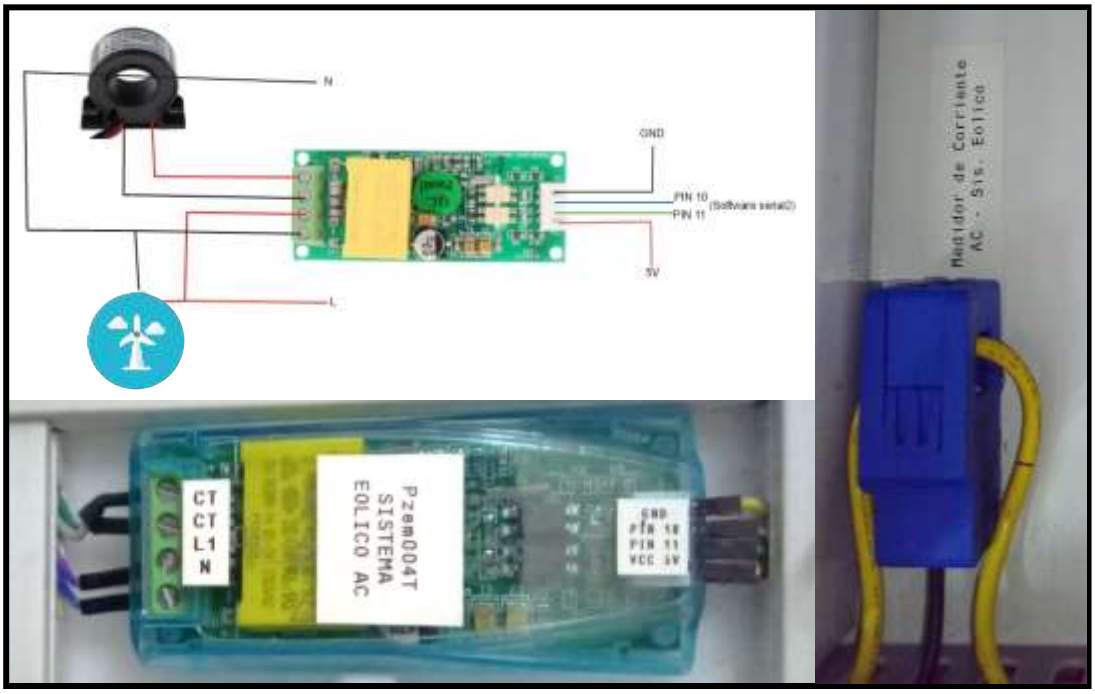
Las dimensiones de la caja para el sistema de monitoreo fueron medidas dependiendo del espacio dentro del tablero general teniendo un ancho de 33cm de alto, 21.5cm de ancho y 9.5 cm de fondo. La caja se realizó en acrílico blanco y se hizo aperturas a los extremos para ventilación del sistema de monitoreo.

Figura 54. Ubicación de los materiales

La ubicación de los materiales para el sistema de monitoreo se realizó separando los por partes, el microcontrolador Arduino2560 en la parte superior, los sistemas de generación en la parte central y para la parte del banco de baterías e inversor de voltaje en la parte inferior de la caja. El Shunt para el sensor DC del sistema fotovoltaico se lo fijó dentro de la misma caja, mientras que el shunt para el sensor DC del sistema del banco de baterías se los fijo en el tablero general de la Powerwall debido a que el calibre del conductor es alto.

De igual forma el sensor de temperatura DTH22 se colocó dentro del tablero general, finalmente los sensores BMP280 en cada una de las baterías entre los bornes positivo y negativo ya que es el punto donde más calor se concentra en la batería. La pantalla Nextion 5.0 se ubicó dentro del marco impreso en 3d y se la dijo en la tapa del tablero general del sistema Powerwall.

Figura 55. Conexión del PZEM 004T AC del sistema de generación eólica



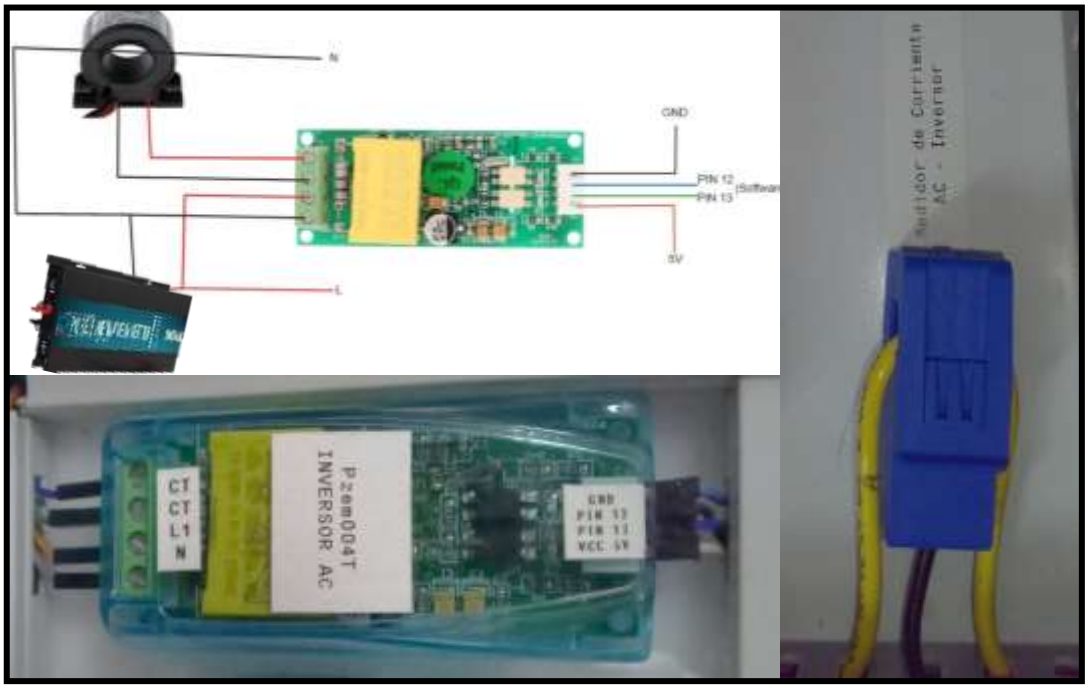
Se conectó los pines de entrada del PZEM 004T AC con cables jumper al sistema de generación eólica mediante los terminales CT, L1 y N para la medición de corriente y voltaje. Los pines de comunicación (PIN 10 y PIN 11) se conectaron al Arduino Mega 2560 configurando un puerto serial por software, mientras que GND se conectó a la referencia común del sistema y VCC 5V a la alimentación del Arduino Mega 2560 para asegurar mediciones precisas.

Figura 56. Conexión del PZEM 017 DC del sistema de generación fotovoltaica

Se conectó el PZEM 017 DC al sistema de generación fotovoltaica mediante cables jumper para monitorear el flujo de corriente DC. El módulo sensor integra el SHUNT en serie con el cable negativo del panel solar usando terminales de conexión robustos, mientras que el cable positivo se conectó en paralelo con el terminal positivo del sistema fotovoltaico.

Los pines TX3/RX3 del módulo se conectaron a un convertidor TTL para establecer comunicación con el Arduino mediante el puerto serial definido en los pines correspondientes del microcontrolador. Los pines DE/RE de control para la comunicación semidúplex se conectan al pin dos de microcontrolador. El convertidor TTL al igual que el PZEM 017 se conectaron a los pines de GND y VCC 5V del Arduino MEGA2560, a pesar de aquello el PZEM 017 necesita más corriente. Se necesita más corriente ya que el Arduino MEGA2560 está limitado a 200 mA para todas sus salidas, por ello se lo conectó a una fuente de alimentación externa de 5V.

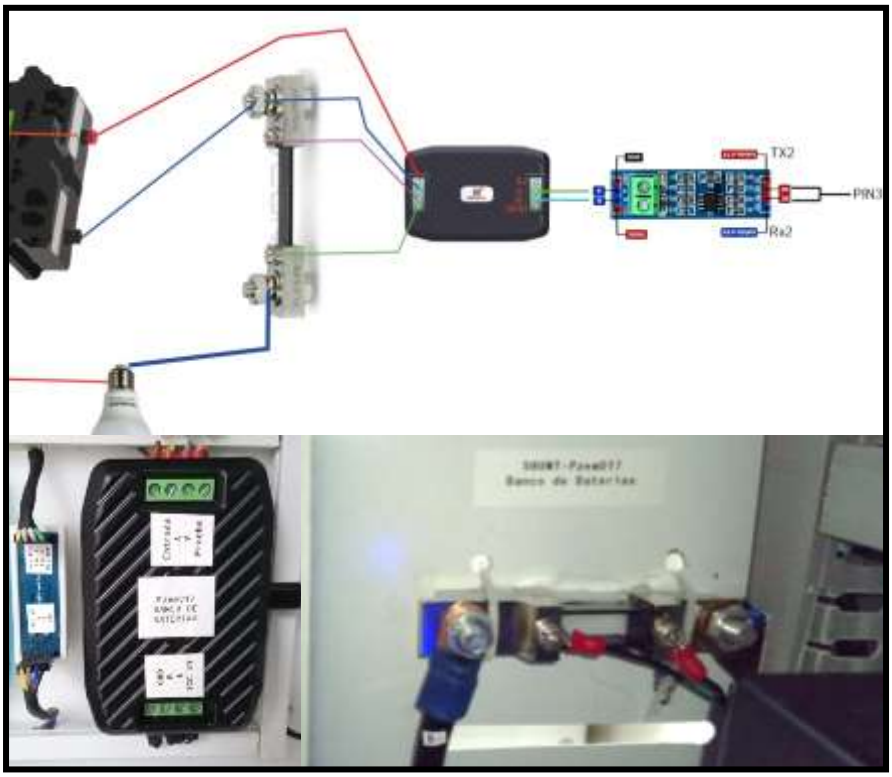
Figura 57. Conexión del PZEM 004T AC del inversor de voltaje



Se conectó los pines de entrada del PZEM 004T AC con cables jumper al inversor de voltaje mediante los terminales CT, L1 y N para la medición de corriente y voltaje.

Los pines de comunicación (PIN 12 y PIN 13) se conectaron al Arduino Mega 2560 configurando un puerto serial por software, mientras que GND se conectó a la referencia común del sistema y VCC 5V a la alimentación del Arduino Mega 2560 para asegurar mediciones precisas.

Figura 58. Conexión del PZEM 017 DC del banco de baterías



Se conectó el PZEM 017 DC al banco de baterías mediante cables jumper para monitorear el flujo de corriente DC. El módulo sensor integra el SHUNT en serie con el cable negativo del panel solar usando terminales de conexión robustos, mientras que el cable positivo se conectó en paralelo con el terminal positivo del sistema fotovoltaico. Los pines TX2/RX2 del módulo se conectaron a un convertidor TTL para establecer comunicación con el Arduino mediante el puerto serial definido en los pines correspondientes del microcontrolador.

Los pines DE/RE de control para la comunicación semidúplex se conectan al pin tres de microcontrolador. El convertidor TTL al igual que el PZEM 017 se conectaron a los pines de GND y VCC 5V del Arduino MEGA2560, a pesar de aquello el PZEM 017 necesita más corriente. Se necesita más corriente ya que el Arduino MEGA2560 está limitado a 200 mA para todas sus salidas, por ello se lo conectó a una fuente de alimentación externa de 5V.

Figura 59. Sensor de temperatura DTH22 – Sensor del tablero general

El sensor de temperatura DTH22 se usó para media la temperatura general del sistema Powerwall por lo que se lo ubicó dentro del tablero, este tiene tres pines. Se conectó GND y VCC 5V directamente al microcontrolador, mientras que para la señal de temperatura medida se usó el pin5 del microcontrolador.

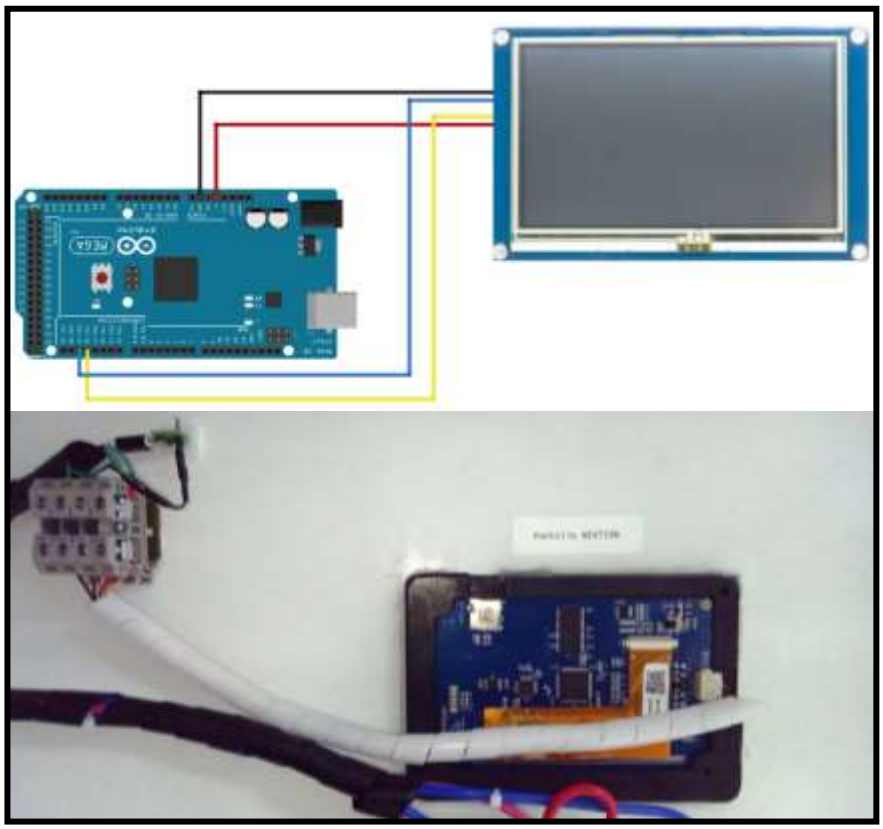
Figura 60. Sensores de temperatura BMP280 de cada batería

Los sensores de temperatura BMP280 se usaron para determinar la temperatura de cada batería, la ubicación de estos sensores se encuentra entre los bornes de las baterías ya que los puntos de conexión ofrecen mayor resistencia eléctrica, generando más calor por efecto Joule.

Para el sensor de la batería 1 se usaron los pines VCC del microcontrolador, pero para este tipo de sensor un voltaje de 3.3V. Seguido de la alimentación se conectó los pines GND/SCL/SDA/SDD al microcontrolador.

Para el sensor de la batería 2 se usaron los pines VCC del microcontrolador, de igual forma solamente se alimenta con un voltaje de 3.3V. Seguido de la alimentación se conectó los pines GND/SCL/SDA al microcontrolador.

Figura 61. Conexión de la pantalla Nextion 5.0



Para la conexión de la pantalla Nextion 5.0 se usó sus cuatro pines. La comunicación serial de TX1/RX1 se realizó mediante la conexión con el microcontrolador. Los pines de GND y VCC de la pantalla se alimentan con una fuente de alimentación externa de 5v, el pin de GND se debe también conectar a GND del microcontrolador para hacer punto común.

4.9 Pruebas del sistema Powerwall

Las pruebas de funcionamiento del sistema Powerwall serán esenciales para verificar el correcto funcionamiento de la conversión energética, validar la integración de ambas fuentes renovables, caracterizar el rendimiento del sistema de almacenamiento bajo diferentes ciclos de carga/descarga, validar la compatibilidad con pruebas de recarga de vehículos eléctricos y garantizar la fiabilidad operativa del sistema combinado en condiciones reales. Las cargas externas usadas fueron 3 focos incandescentes de 150 W conectados en paralelo, una tostadora de 750 W.

La carrera de Electricidad cuenta con 3 vehículos eléctricos de los cuales los 3 presentan fallas de funcionamiento por lo que se recurrió a usar un Scooter Marca AMS de 500 W con características similares al vehículo 1 mencionado en la **Tabla 7** del capítulo 2, para simular la carga de otro vehículo eléctrico se usó 3 focos incandescentes de 150 W conectados en paralelo. Además, se usó una resistencia de 5500W para simula la potencia total consumida por los 3 vehículos eléctricos. Las pruebas se realizaron tomando los datos directamente de la interfaz de usuario y las medidas tomadas con una piza amperimétrica

4.9.1 Datos sin cargas externas

Las pruebas sin cargas externas determinan cuáles son los parámetros eléctricos y datos de interés del sistema Powerwall en funcionamiento normal al no tener los vehículos eléctricos de la carrera de Electricidad o diversas cargas conectadas.

4.9.1.1 Datos sin cargas externas - Sistema de monitoreo

En la siguiente tabla se ven los datos recogidos de las pruebas realizadas del sistema Powerwall sin cargas externas, solamente con la carga consumida por el sistema de monitoreo. Los datos fueron tomados de la interfaz con el usuario.

Tabla 19 Inversor de voltaje - Datos sin cargas externas – S.M

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
122,3	0,06	4,70

Tabla 20 Sistemas de generación - Datos sin cargas externas – S.M

SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DC		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
26,8	3,54	94,8
SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA AC		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
15	14,22	213,3

Tabla 21 Banco de baterías - Datos sin cargas externas – S.M

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
26,62	1,23	33,0

Tabla 22 Mediciones de temperatura - Datos sin cargas externas – S.M

SENSOR DTH22	SENSOR BMP 1 BATERIA DE ARRIBA	SENSOR BMP 2 BATERIA DE ABAJO
25,5	21,01	22,11

Tabla 23 Porcentaje del banco de baterías - Datos sin cargas externas – S.M

Porcentaje
78

4.9.1.2 Datos sin cargas externas – Pinza Amperimétrica

En la siguiente tabla se ven los datos recogidos de las pruebas realizadas del sistema Powerwall sin cargas externas, solamente con la carga generada por el sistema de monitoreo. Los datos fueron medidos con una pinza amperimétrica.

Tabla 24 Inversor de voltaje - Datos sin cargas externas – P.A

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
122,3	0,06	4,73

Tabla 25 Sistemas de generación - Datos sin cargas externas – P.A

SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DC		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
26,8	3,55	94,9
SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA AC		
Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
15	14,22	213,3

Tabla 26 Banco de baterías - Datos sin cargas externas – P.A

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
26,63	1,23	32,7

Tabla 27 Mediciones de temperatura - Datos sin cargas externas – P.A

SENSOR DTH22	SENSOR BMP 1 BATERIA DE ARRIBA	SENSOR BMP 2 BATERIA DE ABAJO
25,5	21,01	22,11

Tabla 28 Porcentaje del banco de baterías - Datos sin cargas externas – P.A

Porcentaje
78

4.9.1.3 Análisis del sistema sin cargas externas

El inversor de voltaje tiene un consumo mínimo de energía (aproximadamente 4,7W), lo que indica una alta eficiencia en modo de espera. En los sistemas de generación el sistema eólico (213,3W) produce más del doble de potencia que el sistema fotovoltaico (94,8W) en las condiciones medidas. Además, el banco de Baterías opera al 78% de capacidad con un consumo reducido (aproximadamente 33W). Respecto a las mediciones de Temperatura existe una diferencia de temperatura de aproximadamente 1°C entre las baterías superior e inferior, lo que indica una distribución térmica razonablemente uniforme.

Los resultados demuestran que el sistema de monitoreo integrado proporciona lecturas prácticamente idénticas a las obtenidas con la pinza amperimétrica. Esta concordancia valida el funcionamiento del sistema Powerwall en condiciones normales sin cargas externas.

4.9.2 Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo

La prueba con la carga de 3 focos conectados en paralelo se realizó con la intención de simular la carga de un vehículo eléctrico de consumo bajo, para ello inicialmente se usó un foco y en periodos de 10 minutos se agregó uno más hasta completar los 3, al llegar a los 30 minutos se repite el ciclo.

4.9.2.1 Pruebas con 3 focos incandescentes de 150W en paralelo – Sistema de monitoreo

En la siguiente tabla se ven los datos recogidos de las pruebas realizadas del sistema Powerwall con una carga externa de 3 focos incandescentes conectándolos en paralelo. Los datos fueron tomados de la interfaz con el usuario.

Tabla 29 Inversor de voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – S.M

Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1 con un foco	122,1	0,30	35,80

2 con dos focos	122,2	0,55	66,40
3 con tres focos	122,1	0,78	94,50
4 con un foco	122,1	0,30	35,70
5 con dos focos	122,1	0,55	66,40
6 con tres focos	122,1	0,78	94,60

Tabla 30 Sistemas de generación - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – S.M

SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DC			
Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1 con un foco	28,4	17,74	501,70
2 con dos focos	27,1	8,26	222,10
3 con tres focos	26,5	6,66	176,00
4 con un foco	26,7	6,05	159,20
5 con dos focos	26,5	5,74	151,90
6 con tres focos	26,2	5,77	150,20
SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA AC			
Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1 con un foco	13,0	14,22	184,86
2 con dos focos	14,5	13,25	192,13
3 con tres focos	15,0	14,00	210,00
4 con un foco	12,0	13,90	166,80
5 con dos focos	15,0	14,22	213,30
6 con tres focos	14,8	14,22	210,46

Tabla 31 Banco de baterías - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – S.M

Medición	**Voltaje (V)**	**Corriente (A)**	**Potencia (W)**
1 con un foco	27,8	5,73	158,60
2 con dos focos	26,7	0,40	10,30
3 con tres focos	26,1	1,33	34,40
4 con un foco	26,4	0,79	20,30
5 con dos focos	26,2	0,52	13,00
6 con tres focos	25,8	1,74	47,90

Tabla 32 Mediciones de temperatura - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – S.M

Mediciones	**SENSOR DTH22**	**SENSOR BMP 1 BATERIA DE ARRIBA**	**SENSOR BMP 2 BATERIA DE ABAJO**

1 con un foco	25,00	20,84	21,82
2 con dos focos	25,10	20,94	21,94
3 con tres focos	25,20	20,98	22,01
4 con un foco	25,20	21,02	22,06
5 con dos focos	25,30	21,04	22,10
6 con tres focos	25,30	21,09	22,16

Tabla 33 Porcentaje del banco de baterías - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – S.M

Medición	Porcentaje
1 con un foco	97
2 con dos focos	77
3 con tres focos	70
4 con un foco	76
5 con dos focos	70
6 con tres focos	67

4.9.2.2 Pruebas con 3 focos incandescentes de 150W en paralelo – Pinza Amperimétrica

En la siguiente tabla se ven los datos recogidos de las pruebas realizadas del sistema Powerwall con una carga externa de 3 focos incandescentes conectándolos en paralelo. Los datos fueron medidos con una pinza amperimétrica.

Tabla 34 Inversor de voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – P.A

Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1 con un foco	122,1	0,33	40,29
2 con dos focos	122,2	0,50	61,10
3 con tres focos	122,1	0,77	94,02
4 con un foco	122,1	0,50	61,05
5 con dos focos	122,1	0,45	54,94
6 con tres focos	122,1	0,79	96,45

Tabla 35 Sistemas de generación - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – P.A

SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DC			
Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1 con un foco	28,5	17,70	504,27
2 con dos focos	27,1	8,19	221,95
3 con tres focos	26,5	6,70	177,22

4 con un foco	26,7	6,00	160,20
5 con dos focos	26,4	5,90	155,70
6 con tres focos	26,2	5,86	153,47
SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA AC			
Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1 con un foco	13,0	14,22	184,86
2 con dos focos	14,5	13,25	192,13
3 con tres focos	15,0	14,00	210,00
4 con un foco	12,0	13,90	166,80
5 con dos focos	15,0	14,22	213,30
6 con tres focos	14,8	14,22	210,46

Tabla 36 Banco de baterías - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – P.A

Medición	**Voltaje (V)**	**Corriente (A)**	**Potencia (W)**
1 con un foco	27,80	5,70	158,46
2 con dos focos	26,70	0,45	12,02
3 con tres focos	26,10	1,38	36,02
4 con un foco	26,40	0,80	21,12
5 con dos focos	26,19	0,55	14,40
6 con tres focos	25,90	1,78	46,10

Tabla 37 Mediciones de temperatura - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – P.A

Mediciones	**SENSOR DTH22**	**SENSOR BMP 1 BATERIA DE ARRIBA**	**SENSOR BMP 2 BATERIA DE ABAJO**
1 con un foco	25,00	20,84	21,82
2 con dos focos	25,10	20,94	21,94
3 con tres focos	25,20	20,98	22,01
4 con un foco	25,20	21,02	22,06
5 con dos focos	25,30	21,04	22,10
6 con tres focos	25,30	21,09	22,16

Tabla 38 Porcentaje del banco de baterías - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – P.A

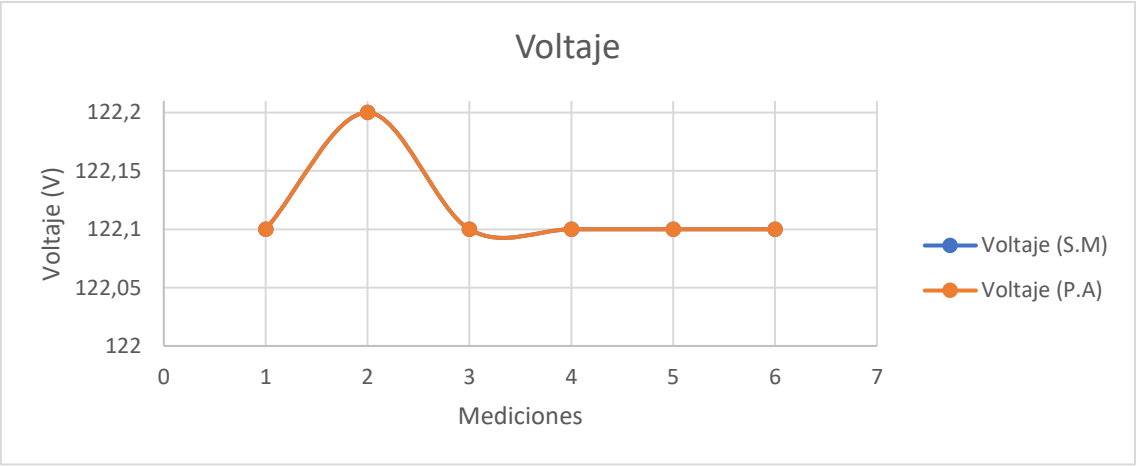
Medición	**Porcentaje**
1 con un foco	97
2 con dos focos	77
3 con tres focos	70

4 con un foco	76
5 con dos focos	70
6 con tres focos	67

4.9.2.3 Análisis de prueba de 3 focos incandescentes de 150W en paralelo

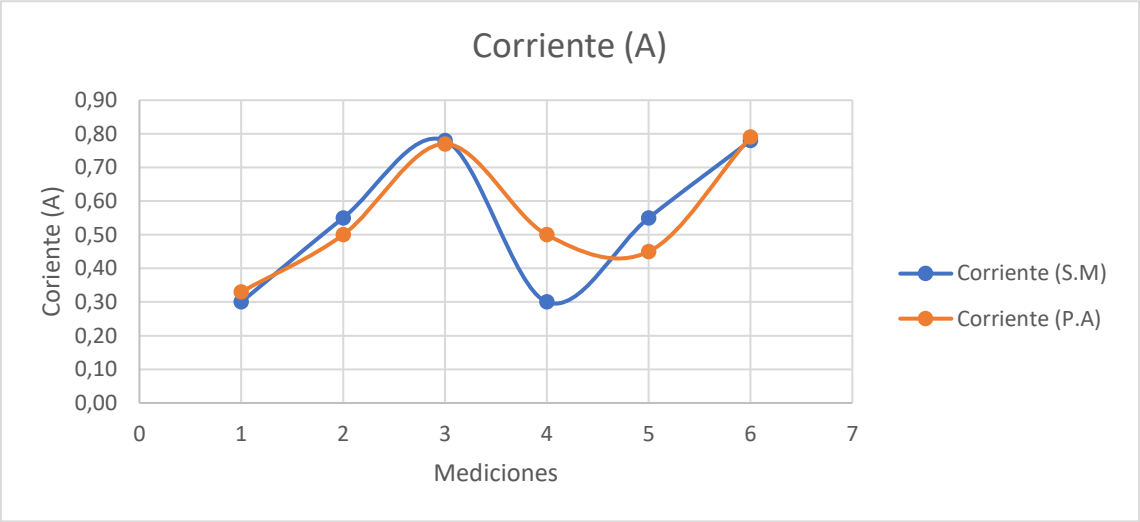
Inversor de voltaje

Figura 62. Análisis de Voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Inversor de voltaje



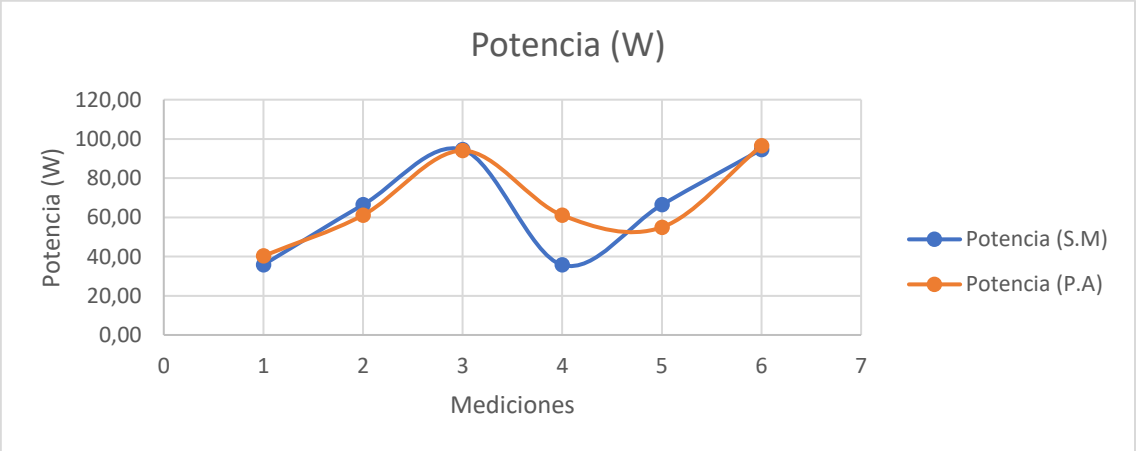
El voltaje del inversor se mantiene estable entre 122.05V y 122.15V durante toda la prueba, con variaciones mínimas. Las mediciones del Sistema de Monitoreo (S.M.) y la Pinza Amperimétrica (P.A.) muestran concordancia con desviaciones menores al 0.05%, validando la precisión del sistema implementado para el monitoreo de voltaje.

Figura 63. Análisis de Corriente - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Inversor de voltaje



El gráfico muestra un comportamiento escalonado de la corriente, aumentando desde aproximadamente 0.3A hasta 0.8A, correspondiendo con la adición secuencial de cada foco. Ambos sistemas de medición (S.M. y P.A.) presentan lecturas similares con pequeñas diferencias que no superan el 5%, confirmando el correcto funcionamiento del sistema.

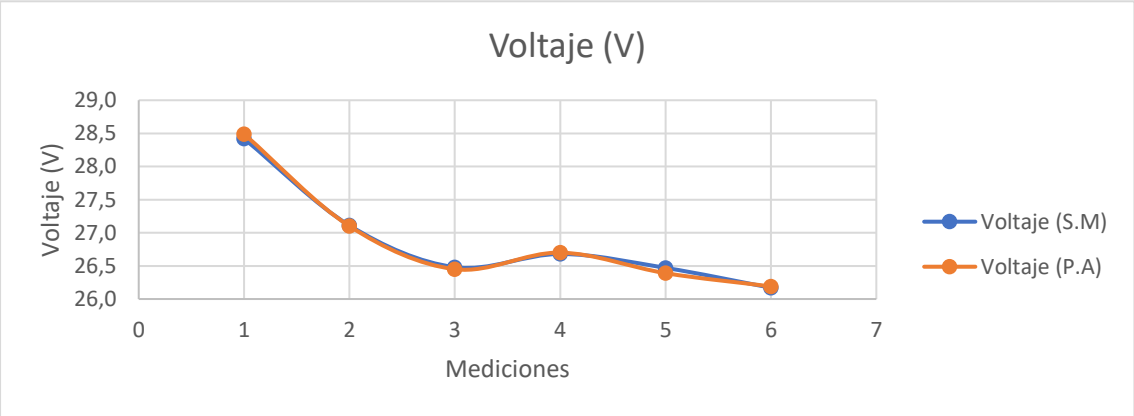
Figura 64. Análisis de Potencia - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Inversor de voltaje



La potencia exhibe incrementos escalonados claros desde aproximadamente 35W hasta 100W conforme se agregan los focos. Los datos del S.M. y P.A. mantienen una correlación directa con mínimas variaciones, demostrando que el sistema constata adecuadamente a las fluctuaciones de carga sin afectar la estabilidad del inversor.

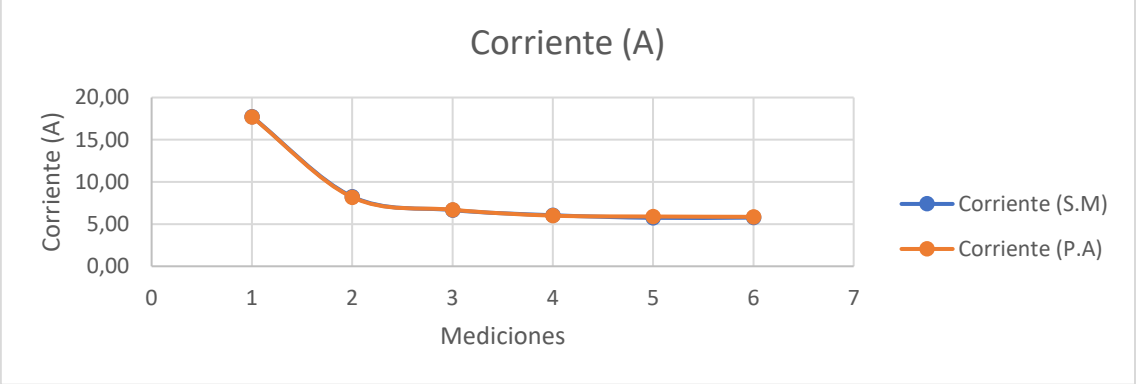
Sistema de generación fotovoltaica

Figura 65. Análisis de voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema fotovoltaico



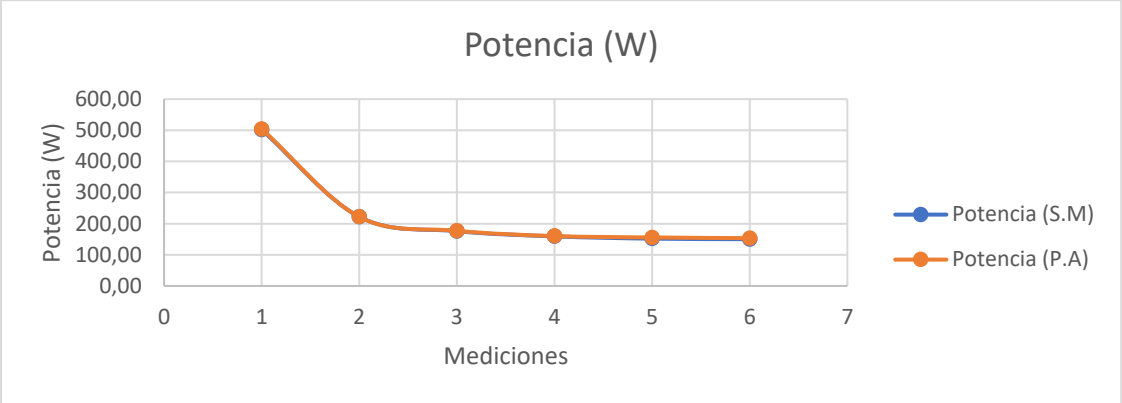
El voltaje fotovoltaico fluctúa entre 26.5V y 28.5V, mostrando variaciones relacionadas con las condiciones de carga. Se observa una tendencia decreciente a medida que asciende la carga total, indicando la respuesta natural del sistema ante mayor demanda energética. Las mediciones del S.M. y P.A. son consistentes.

Figura 66. Análisis de Corriente - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema fotovoltaico



La corriente generada por el sistema fotovoltaico muestra valores entre 5A y 20A con fluctuaciones notables, posiblemente relacionadas con variaciones en la radiación solar durante la prueba. El S.M. tiende a registrar lecturas ligeramente mayores que la P.A. en los picos, sugiriendo diferencias en la velocidad de muestreo entre ambos instrumentos.

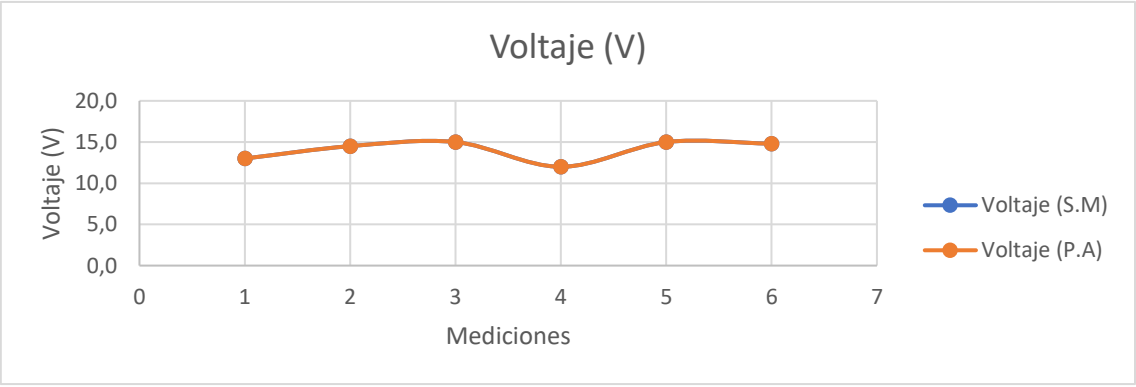
Figura 67. Análisis de Potencia - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema fotovoltaico



La potencia fotovoltaica oscila significativamente entre 150W y 550W, evidenciando la variabilidad de la generación solar. Se observan picos que coinciden con momentos de máxima exposición solar y caídas durante períodos de menor radiación. Ambos sistemas de medición detectan estas variaciones con diferencias aceptables.

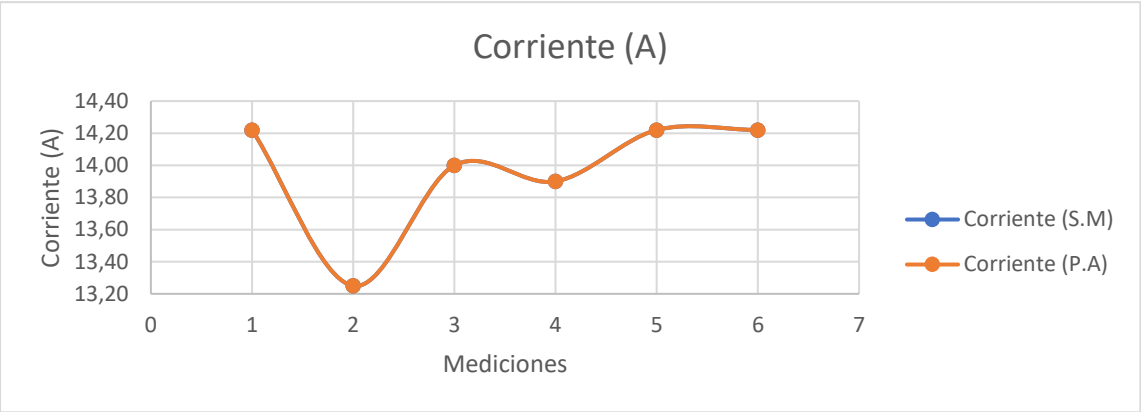
Sistema de generación eólica

Figura 68. Análisis de Voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema eólico



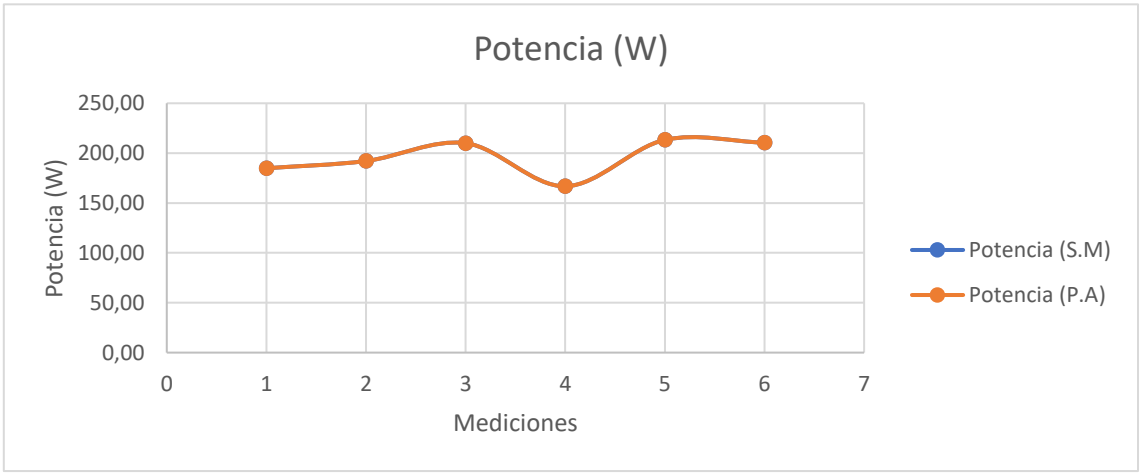
El voltaje eólico exhibe fluctuaciones entre 0V y 15V, reflejando la naturaleza intermitente del recurso eólico durante la prueba. Se observan períodos de ausencia total de generación (0V) alternados con picos de producción, demostrando la dependencia del sistema a las condiciones de viento variables.

Figura 69. Análisis de Corriente - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema eólico



La corriente del sistema eólico se mantiene entre 13.4A y 14.2A cuando hay generación, con ligeras oscilaciones. Las mediciones entre S.M. y P.A. muestran mayor discrepancia que en otros parámetros (aproximadamente 3%), posiblemente debido a la naturaleza pulsante de la generación eólica que afecta la precisión de lectura.

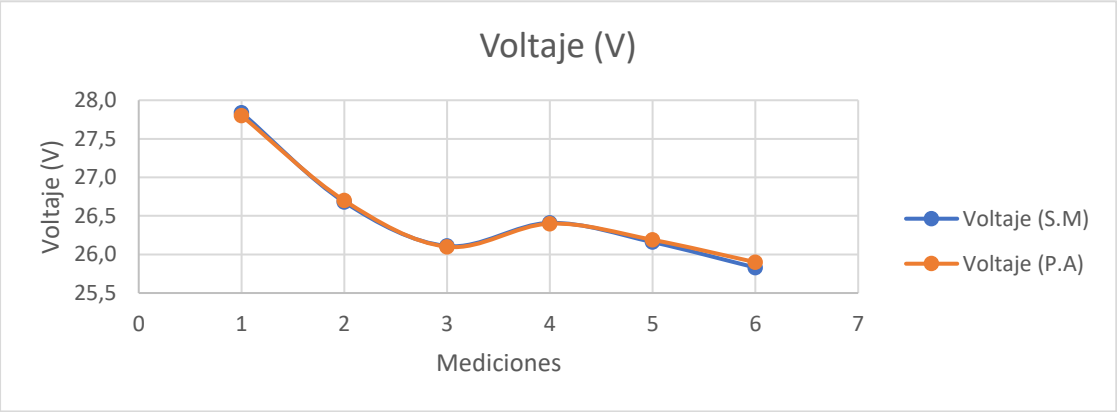
Figura 70. Análisis de Potencia - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Sistema eólico



La potencia eólica presenta variaciones significativas entre 0W y 225W, correlacionadas directamente con las fluctuaciones de voltaje. Los períodos de potencia cero coinciden con ausencia de viento, mientras que los picos representan ráfagas favorables. El S.M. registra con mayor sensibilidad estas variaciones comparado con la P.A.

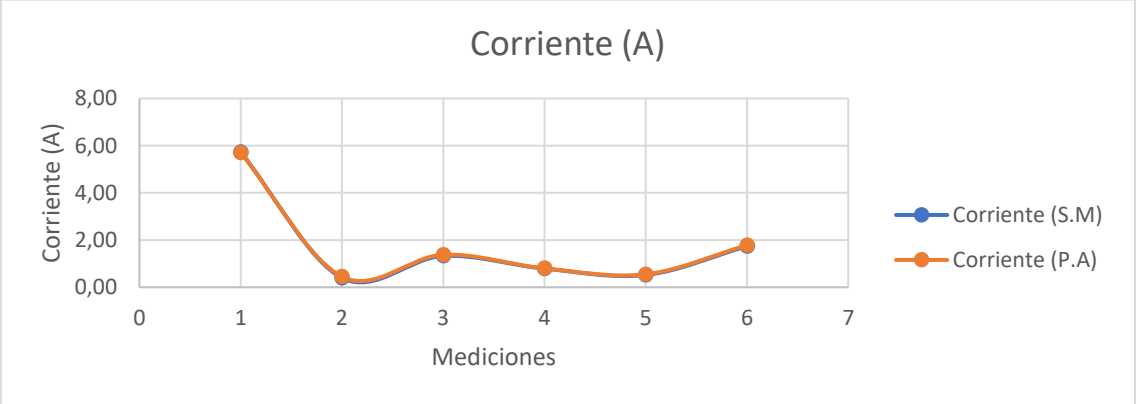
Banco de baterías

Figura 71. Análisis de Voltaje - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Banco de baterías



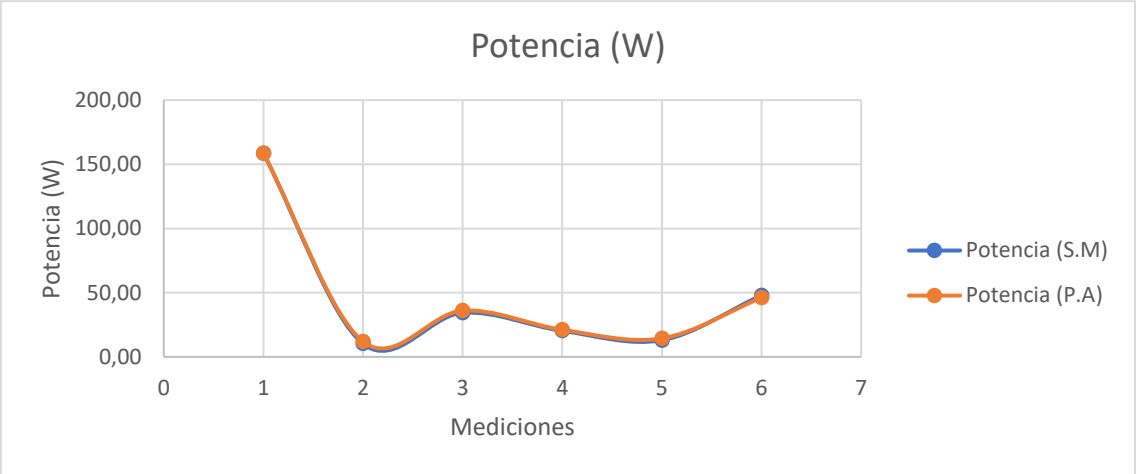
El voltaje del banco de baterías desciende gradualmente de 27.8V a 26V durante la prueba, reflejando la descarga natural al alimentar los focos. La pendiente se acentúa ligeramente con cada foco adicional. El S.M. y P.A. muestran mediciones casi idénticas, con diferencias máximas de 0.1V, validando la precisión del monitoreo.

Figura 72. Análisis de Corriente - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Banco de baterías



La corriente de descarga de las baterías muestra incrementos escalonados desde 1A hasta 6A, correspondiendo claramente con la adición de cada foco. Se observa estabilidad en cada nivel de carga. Las mediciones del S.M. y P.A. coinciden con variaciones menores al 2%, indicando buena calibración del sistema de monitoreo.

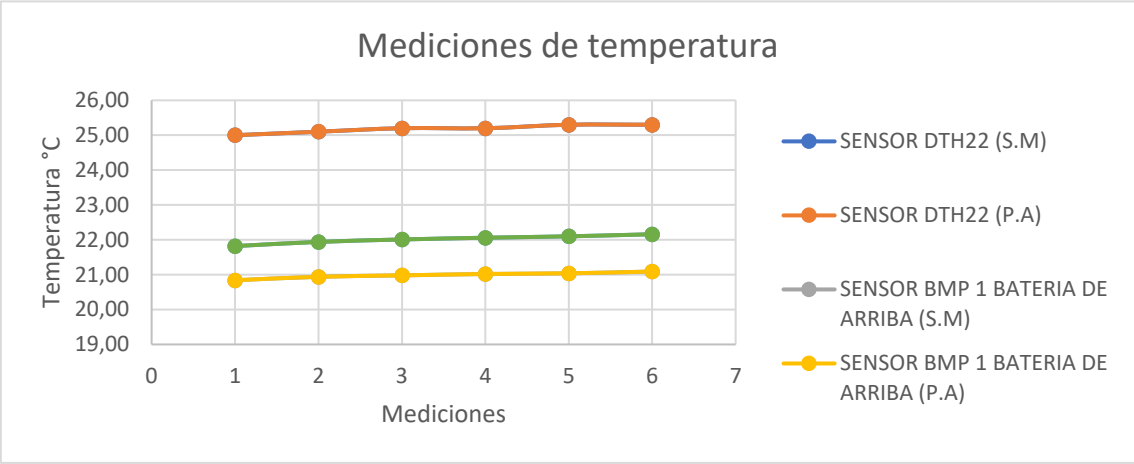
Figura 73. Análisis de Potencia - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo – Banco de baterías



La potencia suministrada por las baterías aumenta progresivamente desde aproximadamente 25W hasta 150W, siguiendo un patrón escalonado que refleja la conexión secuencial de los focos. Las mediciones de ambos sistemas muestran consistencia, con ligeras diferencias en los momentos de transición debido a distintas velocidades de respuesta.

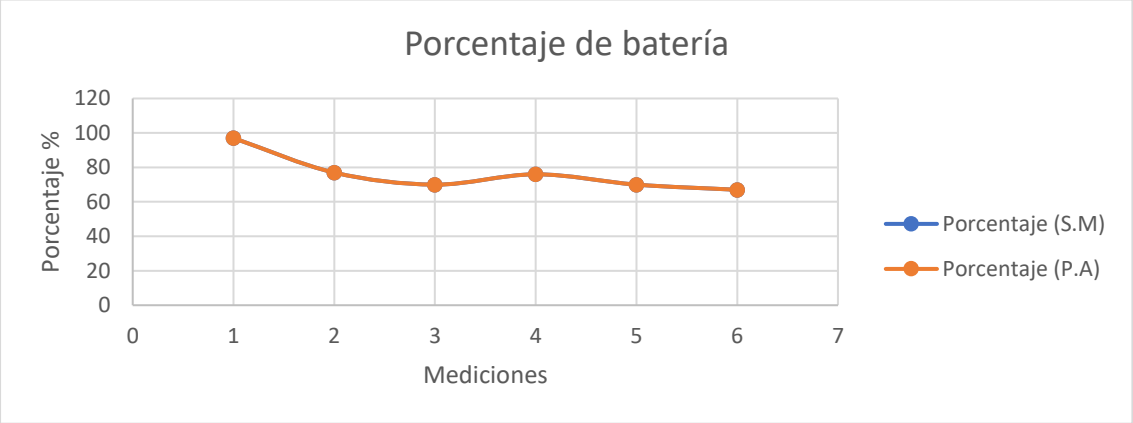
Medidas de Temperatura y Porcentaje de baterías

Figura 74. Mediciones de Temperatura - Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo



Las temperaturas variaron de 20°C a 26°C, con un aumento gradual. El DHT22 midió la temperatura ambiente (21°C a 23°C), con una diferencia de 0.5°C entre lecturas. El BMP de la batería superior registró un incremento de 22°C a 25°C, con una consistencia de 0.3°C entre mediciones, evidenciando el calentamiento operativo. La batería superior estuvo 1-2°C más caliente que el ambiente, diferencia que creció con la carga, mostrando la correlación entre consumo y calor.

Figura 75. Porcentaje de batería- Prueba con 3 focos incandescentes de 150 W en paralelo



La carga de la batería disminuyó gradualmente de 100% a 85%, con una descarga más rápida al añadir focos. La tasa de descarga se aceleró al conectar el tercer foco (de 1% cada 10 minutos a 2%).

Las diferencias entre mediciones del porcentaje de batería fueron menores al 1.5%, confirmando la precisión del monitoreo. El porcentaje de batería mostró una correlación directa con el voltaje, con una disminución del 15% de carga correspondiendo a un descenso de 1.8V.

4.9.3 Pruebas con una tostadora de 750 W

La prueba con la carga de una tostadora de 750 W se realizó con la intención de simular la carga de un vehículo eléctrico de consumo alto, para ello inicialmente se conectó la tostadora durante 1 hora en periodos de 10 minutos.

4.9.3.1 Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema de monitoreo

A continuación, se verán los datos recogidos de las pruebas realizadas del sistema Powerwall con una carga externa de una tostadora de 750 W. Los datos fueron tomados de la interfaz con el usuario.

Tabla 39 Inversor de voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – S.M

Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	121,9	3,26	395,8
2	122,3	3,23	394,8
3	122,1	3,24	395,1
4	122,2	3,25	396,00
5	122,1	3,25	395,8
6	122,1	3,23	394,4

Tabla 40 Sistemas de generación - Pruebas con una tostadora de 750 W – S.M

SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DC			
Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	22,43	8,68	194,6
2	22,17	6,97	154,5
3	22,08	5,64	124,5
4	22,24	8,73	194,1
5	22,09	5,29	116,8
6	22,00	3,16	69,5
SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA AC			
Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	13,0	14,22	184,86
2	14,5	13,25	192,1
3	15,0	14,00	210,0
4	12,0	13,9	166,8
5	15,0	14,22	213,3
6	14,8	14,22	210,46

Tabla 41 Banco de baterías - Pruebas con una tostadora de 750 W – S.M

Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	25,08	14,51	363,91
2	25,01	15,45	386,40
3	25,00	16,14	403,50
4	24,70	14,52	358,64
5	24,50	16,3	399,35
6	24,40	17,17	418,95

Tabla 42 Mediciones de temperatura - Pruebas con una tostadora de 750 W – S.M

Mediciones	SENSOR DTH22	SENSOR BMP 1 BATERIA DE ARRIBA	SENSOR BMP 2 BATERIA DE ABAJO
1	22,2	20,84	22,04
2	23	20,89	22,18
3	23,7	21,03	22,21
4	24,2	21,07	22,24
5	24,5	21,09	22,2
6	24,8	21,01	22,07

Tabla 43 Porcentaje del banco de baterías - Pruebas con una tostadora de 750 W – S.M

Medición	Porcentaje
1	78
2	76
3	75
4	67
5	58
6	52

4.9.3.2 Pruebas con una tostadora de 750 W – Pinza Amperimétrica

A continuación, se verán los datos recogidos de las pruebas realizadas del sistema Powerwall con una carga externa de una tostadora de 750 W. Los datos fueron medidos con una pinza amperimétrica.

Tabla 44 Inversor de voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – P.A

Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	122,9	3,25	399,43

2	121,3	3,22	390,59
3	122,1	3,25	396,83
4	122,3	3,25	397,48
5	122,2	3,25	397,15
6	122,3	3,22	393,81

Tabla 45 Sistemas de generación - Pruebas con una tostadora de 750 W – P.A

SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DC			
Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	22,4	8,64	193,54
2	22,15	6,93	153,50
3	22,09	5,66	125,03
4	22,22	8,7	193,31
5	22,08	5,2	114,82
6	22	3,1	68,20
SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA AC			
Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	13,0	14,22	184,86
2	14,5	13,25	192,13
3	15,0	14,00	210,00
4	12,0	13,90	166,80
5	15,0	14,22	213,30
6	14,8	14,22	210,46

Tabla 46 Banco de baterías - Pruebas con una tostadora de 750 W – P.A

Medición	**Voltaje (V)**	**Corriente (A)**	**Potencia (W)**
1	25,09	14,55	365,06
2	25,02	15,49	387,56
3	25,01	16,19	404,91
4	24,83	14,50	360,04
5	24,53	16,32	400,33
6	24,42	17,19	419,78

Tabla 47 Mediciones de temperatura - Pruebas con una tostadora de 750 W – P.A

Mediciones	**SENSOR DTH22**	**SENSOR BMP 1 BATERIA DE ARRIBA**	**SENSOR BMP 2 BATERIA DE ABAJO**
1	22,20	20,84	22,04

2	23,00	20,89	22,18
3	23,70	21,03	22,21
4	24,20	21,07	22,24
5	24,50	21,09	22,20
6	24,80	21,01	22,07

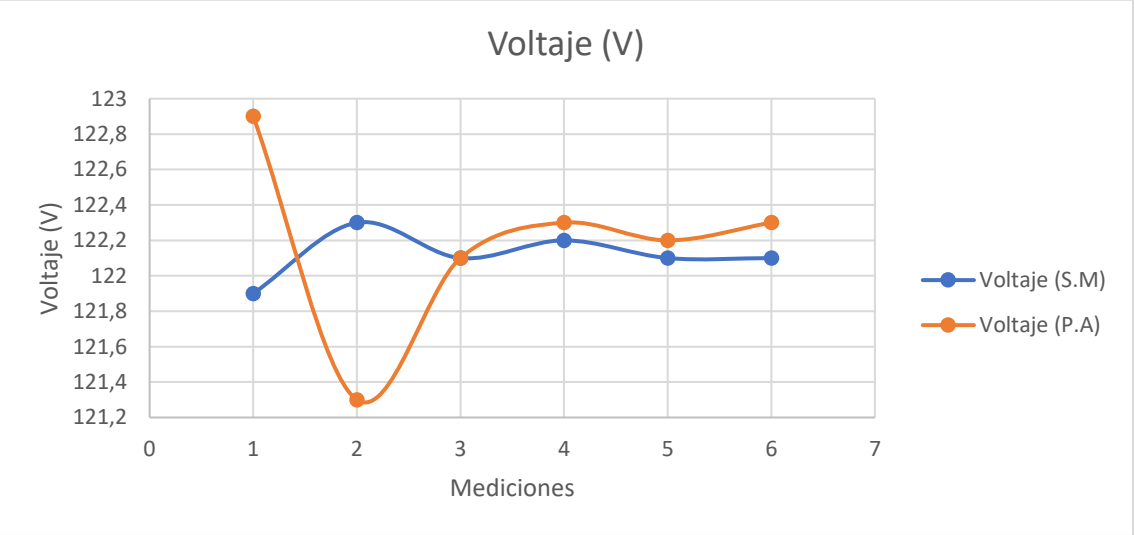
Tabla 48 Porcentaje del banco de baterías - Pruebas con una tostadora de 750 W – P.A

Medición	Porcentaje
1	78
2	76
3	75
4	67
5	58
6	52

4.9.3.3 Análisis de prueba con una tostadora de 750W

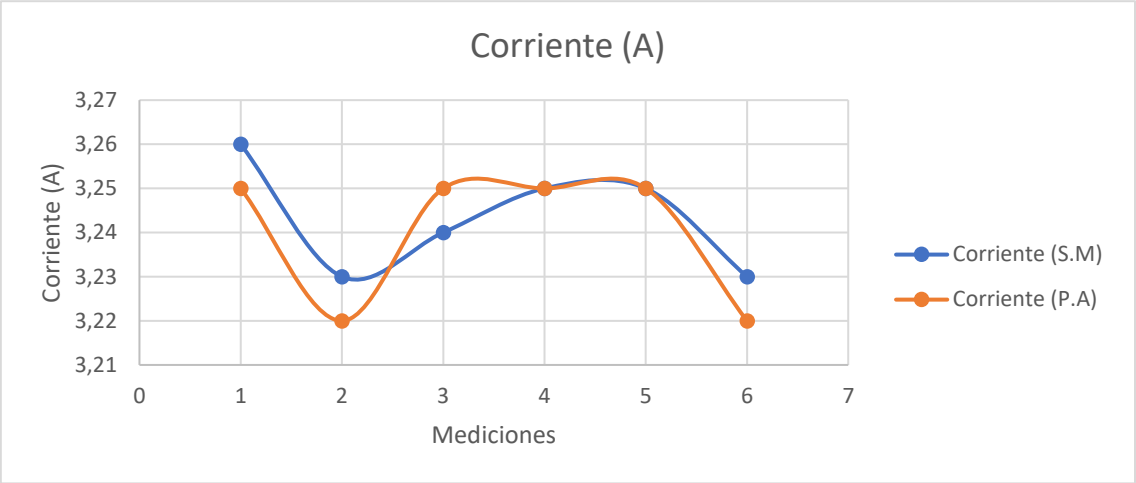
Inversor de voltaje

Figura 76. Análisis de Voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – Inversor de voltaje



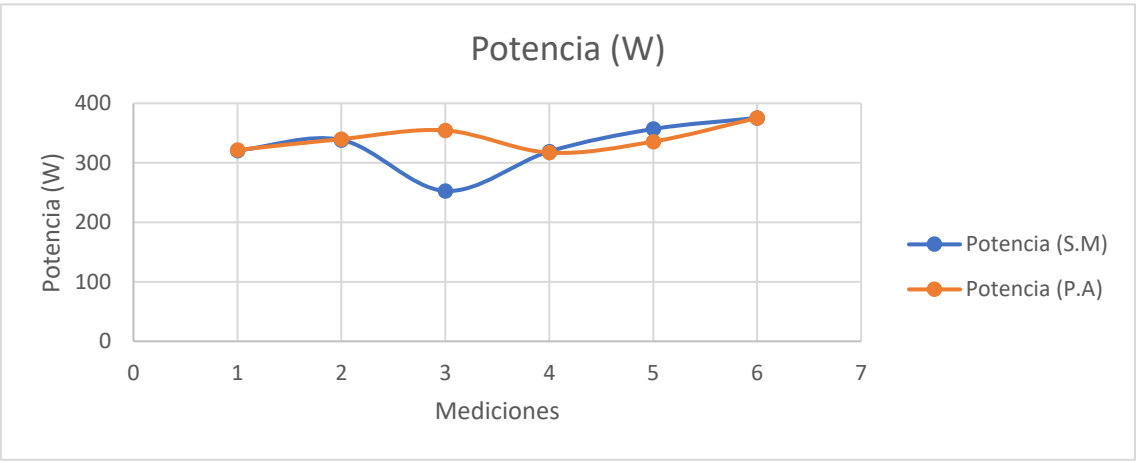
El voltaje del inversor fluctúa entre 121.5V y 122.5V durante la prueba con la tostadora, mostrando una estabilidad notable considerando la alta carga aplicada (750W). Las mediciones del Sistema de Monitoreo (S.M.) y la Pinza Amperimétrica (P.A.) presentan concordancia con diferencias menores al 0.4%, validando la precisión del sistema implementado en condiciones de carga elevada.

Figura 77. Análisis de Corriente - Pruebas con una tostadora de 750 W – Inversor de voltaje



La corriente del inversor se mantiene relativamente estable entre 3.22A y 3.26A durante toda la prueba, evidenciando la capacidad del sistema para mantener un suministro constante bajo demanda sostenida. Ambos sistemas de medición muestran lecturas similares con variaciones máximas de 0.01A, confirmando la fiabilidad del sistema de monitoreo para cargas significativas.

Figura 78. Análisis de Potencia - Pruebas con una tostadora de 750 W – Inversor de voltaje

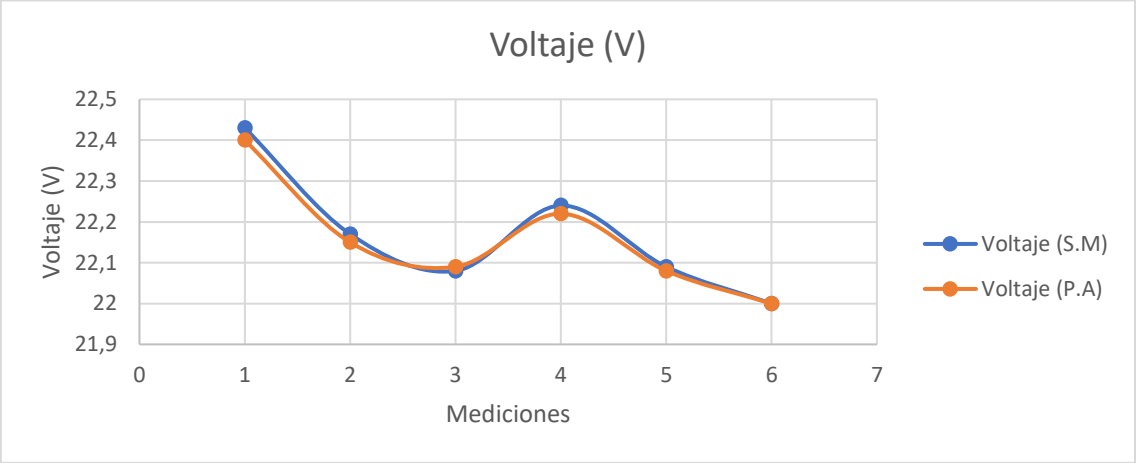


La potencia suministrada por el inversor oscila entre 392W y 398W, manteniéndose considerablemente estable durante el funcionamiento de la tostadora. Esta estabilidad muestra la robustez del sistema para sostener cargas elevadas por períodos largos. Las mediciones S.M.

y P.A. presentan coherencia con diferencias máximas de 2W, validando la precisión del monitoreo.

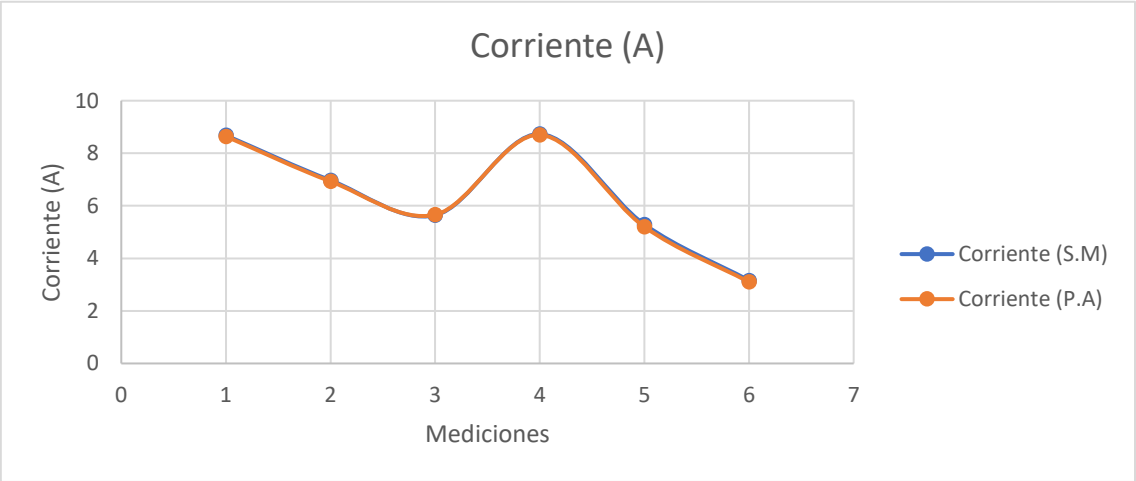
Sistema de generación fotovoltaica

Figura 79. Análisis de Voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema fotovoltaico



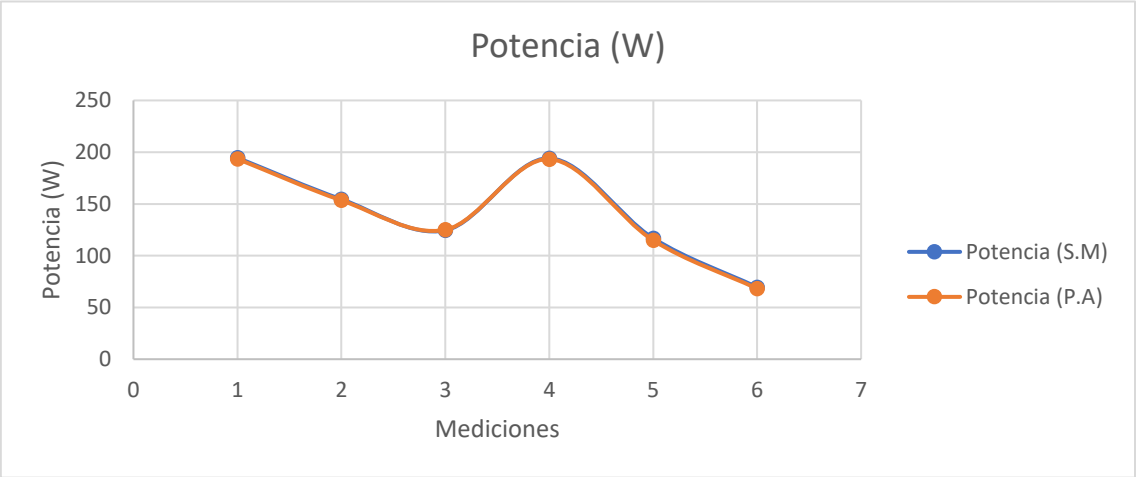
El voltaje fotovoltaico muestra valores entre 22V y 22.4V, con ligeras fluctuaciones que reflejan variaciones en la radiación solar durante la prueba. A pesar de la alta demanda de la tostadora, el sistema mantiene niveles de voltaje estables, indicando un correcto funcionamiento del controlador de carga para balancear generación y consumo.

Figura 80. Análisis de Corriente - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema fotovoltaico



La corriente generada por el sistema fotovoltaico fluctúa significativamente entre 2A y 9A, evidenciando la variabilidad de la radiación solar durante la prueba. Se observan caídas pronunciadas que coinciden probablemente con períodos de nubosidad. El S.M. y la P.A. muestran lecturas concordantes, con diferencias que no superan el 5% en los momentos de mayor variabilidad.

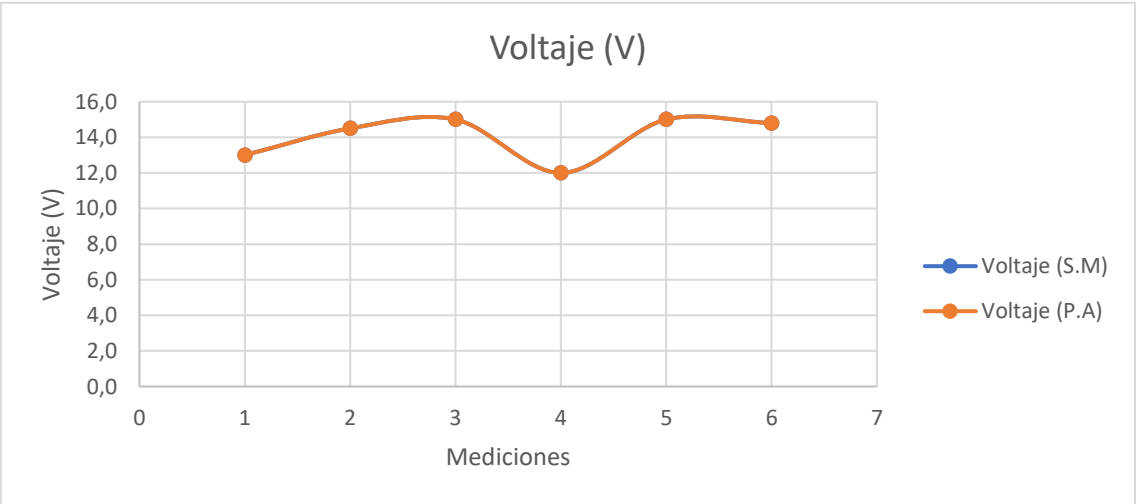
Figura 81. Análisis de Potencia - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema fotovoltaico



La potencia fotovoltaica varía entre 50W y 210W, mostrando un comportamiento intermitente característico de la generación solar. Esta contribución, aunque significativa, resulta insuficiente para cubrir la demanda total de la tostadora (750W), evidenciando la necesidad del sistema híbrido y el banco de baterías para compensar el déficit energético durante cargas elevadas.

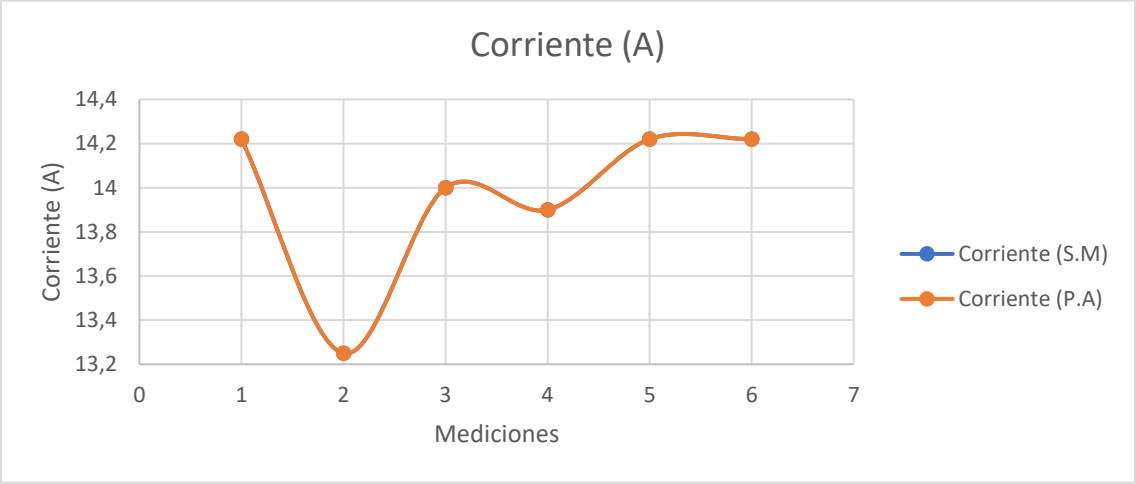
Sistema de generación eólica

Figura 82. Análisis de Voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema eólico



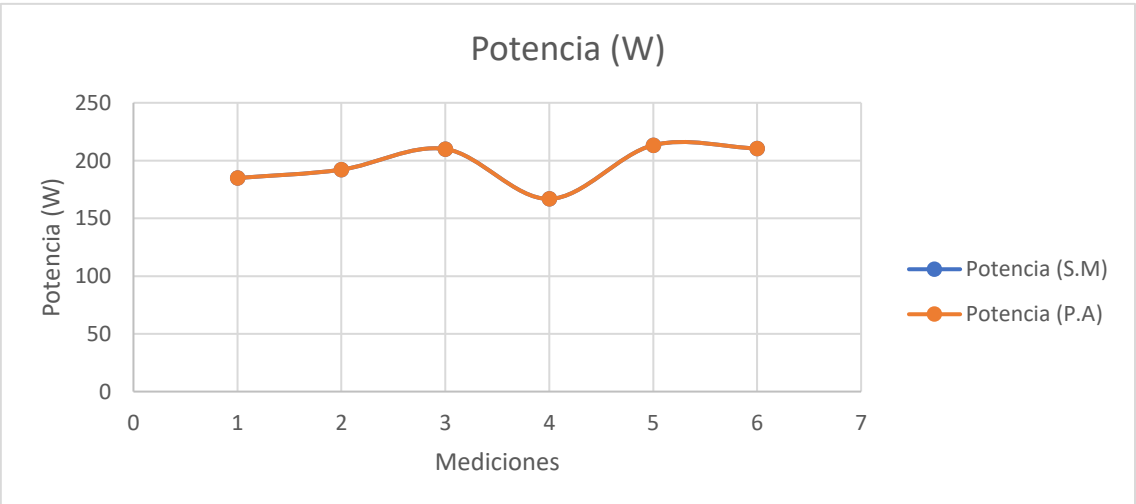
El voltaje eólico presenta fluctuaciones entre 0V y 16V, reflejando la naturaleza intermitente del recurso eólico. Se observan períodos de generación nula alternados con picos de producción, evidenciando la dependencia del sistema a las condiciones variables del viento durante la prueba con carga elevada y constante.

Figura 83. Análisis de Corriente - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema eólico



La corriente del sistema eólico oscila entre 13.4A y 14.2A cuando hay generación, mostrando estabilidad durante los períodos de viento favorable. Las mediciones entre S.M. y P.A. presentan diferencias de aproximadamente 0.2A (1.5%), atribuibles a la naturaleza pulsante de la generación eólica y las diferentes velocidades de muestreo de los instrumentos.

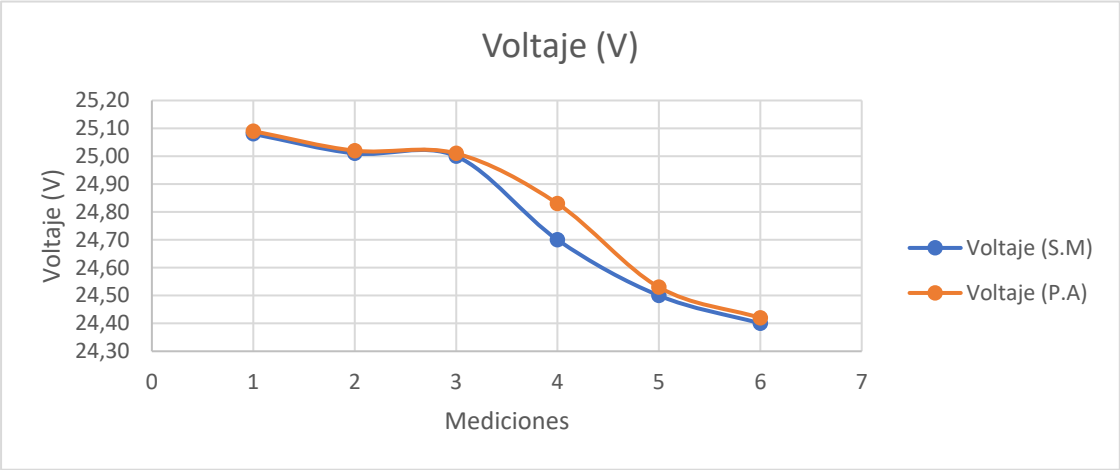
Figura 84. Análisis de Potencia - Pruebas con una tostadora de 750 W – Sistema eólico



La potencia eólica fluctúa entre 0W y 220W, correlacionándose directamente con las variaciones de voltaje. Esta contribución, aunque valiosa, resulta intermitente y complementaria a la generación fotovoltaica. La suma de ambas fuentes renovables (máximo 430W combinados) aún requiere el apoyo del banco de baterías para sostener la carga de 750W.

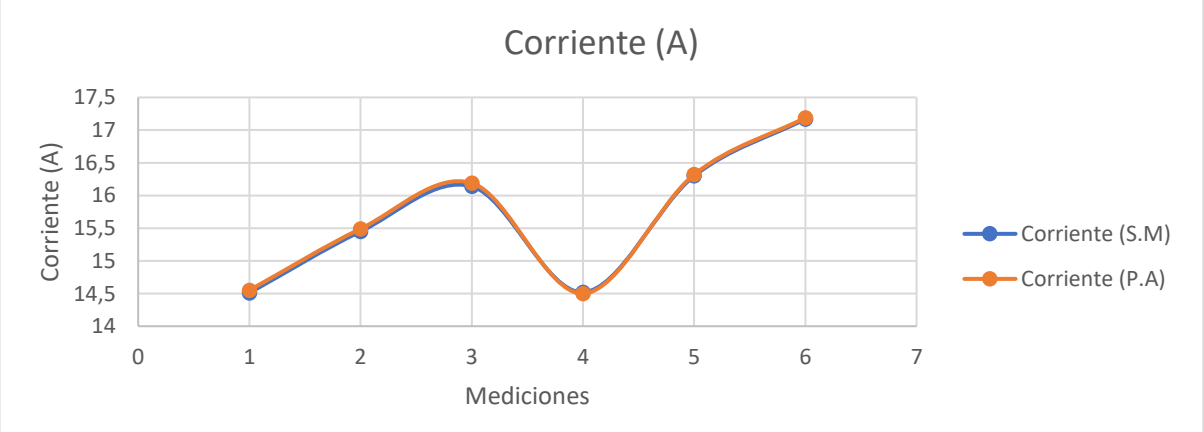
Banco de baterías

Figura 85. Análisis de Voltaje - Pruebas con una tostadora de 750 W – Banco de baterías



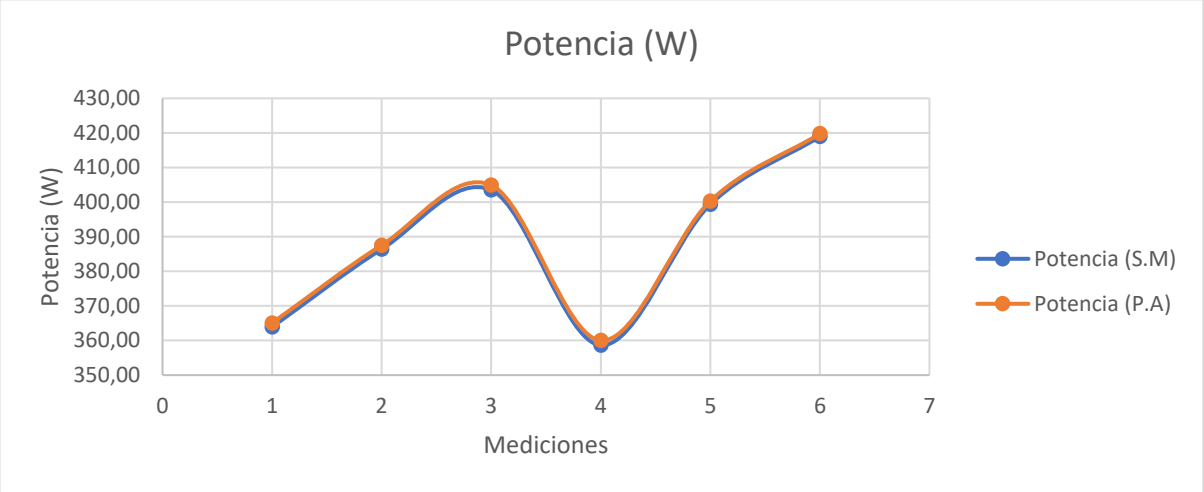
El voltaje del banco de baterías muestra un descenso continuo desde 25.8V hasta 24.40V durante la prueba, reflejando la descarga sostenida bajo la exigente carga de la tostadora. La pendiente de descenso es más pronunciada que en la prueba anterior, evidenciando el mayor estrés al que es sometido el sistema con esta carga elevada.

Figura 86. Análisis de Corriente - Pruebas con una tostadora de 750 W – Banco de baterías



La corriente de descarga de las baterías oscila entre 15A y 17A, valores significativamente más altos que en la prueba con focos, demostrando la exigencia energética de la tostadora. El comportamiento muestra períodos de estabilidad con incrementos puntuales, posiblemente relacionados con los ciclos de calentamiento del electrodoméstico o la compensación por caídas en generación renovable.

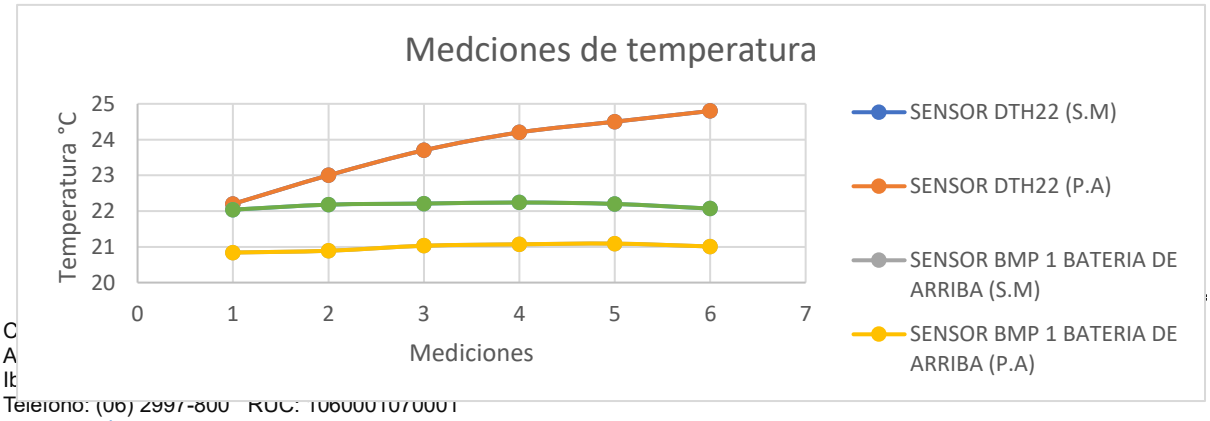
Figura 87. Análisis de Potencia - Pruebas con una tostadora de 750 W – Banco de baterías



La potencia suministrada por las baterías fluctúa entre 360 W a 418W, evidenciando su papel crucial para complementar la generación renovable insuficiente. Este comportamiento confirma que el banco de baterías asume aproximadamente el 20% de la demanda total de la tostadora, demostrando la importancia del almacenamiento energético para cargas elevadas en sistemas híbridos.

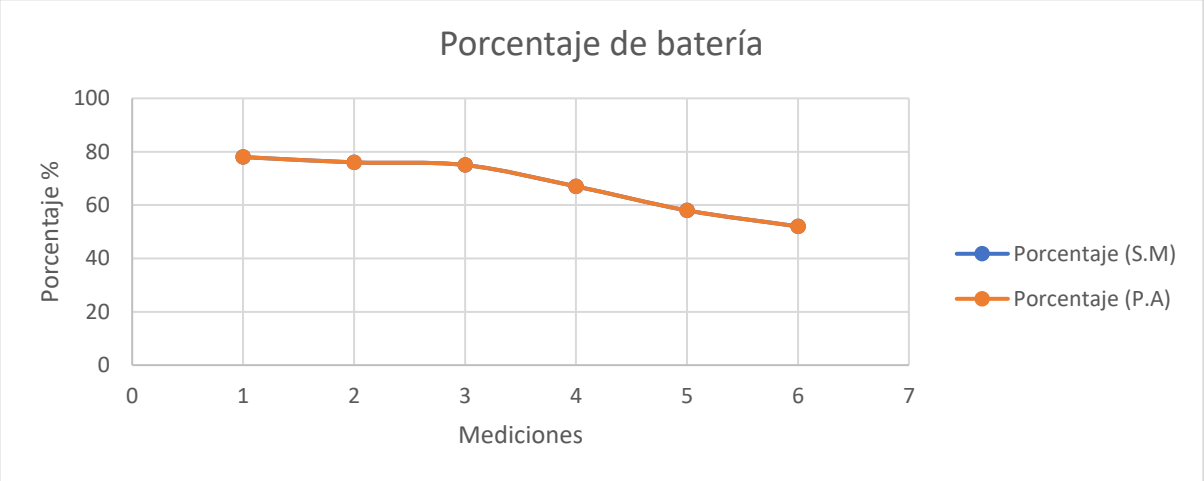
Medidas de Temperatura y Porcentaje de baterías

Figura 88. Mediciones de Temperatura - Pruebas con una tostadora de 750 W –



Las temperaturas registradas oscilan entre 21°C y 24°C, con un incremento más pronunciado que en la prueba anterior debido a la mayor exigencia del sistema. El sensor de la batería superior (BMP) muestra temperaturas consistentemente más elevadas que el sensor ambiente (DTH22), con una diferencia que alcanza los 2.5°C hacia el final de la prueba, evidenciando el calentamiento por la elevada tasa de descarga.

Figura 89. Porcentaje de batería - Pruebas con una tostadora de 750 W



El porcentaje de carga de la batería disminuye significativamente desde 78% hasta 52% durante la prueba, mostrando una tasa de descarga normal debido a la alta demanda de la tostadora y a la constante alimentación del banco de baterías por los sistemas de generación. Las mediciones de S.M. y P.A. coinciden con diferencias máximas del 0.3%, validando la precisión del sistema de monitoreo. Estos valores bajos indican que la prueba se realizó con el banco ya parcialmente descargado.

4.9.4 Prueba 1 con un Scooter de 500 W

El scooter AMS de 500 W tiene un banco de baterías de 48 V. Tiene un rango de carga hasta de 8 horas, el rango de voltaje en el que el scooter deja de funcionar es entre los 44 V – 42 V. El voltaje del banco de baterías del Scooter en la prueba 1 inicialmente fue de 46 V.

Una vez descargado el scooter se realizó la prueba 1 en la cual se cargó el vehículo eléctrico durante las 8 horas previstas según el fabricante. Las mediciones fueron tomadas cada 30 minutos desde las 11:00 am hasta las 5:30 pm. De 1:00 pm a 4:00 pm se agregó 3 focos incandescentes conectados en paralelo con una carga total de 450 W para simular la carga de otro vehículo eléctrico. El scooter se mantuvo conectado al sistema Powerwall durante 6 horas 23 minutos hasta cargarse por completo.

4.9.4.1 Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema de monitoreo

A continuación, se verán los datos recogidos de la prueba 1 realizada del sistema Powerwall con el scooter de 500 W. Los datos fueron tomados de la interfaz con el usuario.

Tabla 49 Inversor de voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	122,3	0,82	60,8
11:30 a. m.	122,4	0,83	61,7
12:00 p. m.	122,3	0,84	62
12:30 p. m.	122,4	0,84	62,8
1:00 p. m.	122,2	1,44	153,3
1:30 p. m.	122,2	1,45	153,6
2:00 p. m.	122,3	1,46	154,1
2:30 p. m.	122,4	1,46	155,1
3:00 p. m.	112,3	1,48	156,2
3:30 p. m.	122,4	1,51	158,9
4:00 p. m.	122,5	1,34	145,6
4:30 p. m.	122,5	0,51	37,9
5:00 p. m.	122,1	0,34	25,5
5:30 p. m.	122	0,2	15,3

Tabla 50 Sistemas de generación - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Sistema fotovoltaico			Sistema eólico		
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	26,33	7,61	201,5	11	14,22	156,42
11:30 a. m.	28,78	7,98	228,6	12	13,1	157,2
12:00 p. m.	25,67	5,25	134,7	13	14	182
12:30 p. m.	29,47	7,58	223,2	14	13	182

1:00 p. m.	22,64	1,22	26,1	15	14,22	213,3
1:30 p. m.	23,06	8,85	204,3	15,5	15	232,5
2:00 p. m.	22,59	2,38	54,2	12,5	13,8	172,5
2:30 p. m.	22,69	4,95	112	14,3	14,1	201,63
3:00 p. m.	22,51	3,21	72	15,7	10,79	169,40
3:30 p. m.	22,36	2,07	46,2	17	11,2	190,4
4:00 p. m.	21,58	1,83	39,6	13	11,5	149,5
4:30 p. m.	22,79	2,85	64,7	12,9	12,8	165,12
5:00 p. m.	22,73	1,62	36,8	10	11,5	115
5:30 p. m.	22,73	0,9	20,4	11	3	33

Tabla 51 Banco de baterías - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	26,08	0,57	14,87
11:30 a. m.	28,9	0,4	11,56
12:00 p. m.	25,42	0,53	13,47
12:30 p. m.	28,83	0,88	25,37
1:00 p. m.	23,67	4,67	110,54
1:30 p. m.	23,73	3,43	81,39
2:00 p. m.	23,45	6,08	142,58
2:30 p. m.	23,47	5,06	118,76
3:00 p. m.	23,34	5,9	137,71
3:30 p. m.	23,21	6,53	151,56
4:00 p. m.	24,43	6,23	152,20
4:30 p. m.	24,63	0,61	15,02
5:00 p. m.	24,59	0,63	15,49
5:30 p. m.	24,62	0,49	12,06

Tabla 52 Mediciones de temperatura - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	DTH22	BMP280 B1	BMP208 B2
11:00 a. m.	21,5	21,26	21,87
11:30 a. m.	23,4	21,49	22,36
12:00 p. m.	25,4	21,67	22,87
12:30 p. m.	26,1	21,7	23,07
1:00 p. m.	26,6	21,85	23,23
1:30 p. m.	26,5	21,9	23,13
2:00 p. m.	26,6	22,03	23,32
2:30 p. m.	26,7	22,04	23,28
3:00 p. m.	26,9	22,17	23,53
3:30 p. m.	26,28	22,21	23,73
4:00 p. m.	26,8	22,14	23,48

4:30 p. m.	26,5	21,88	23,16
5:00 p. m.	26,4	21,86	23,02
5:30 p. m.	26,3	21,73	22,88

Tabla 53 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Porcentaje
11:00 a. m.	98
11:30 a. m.	95
12:00 p. m.	90
12:30 p. m.	82
1:00 p. m.	65
1:30 p. m.	65
2:00 p. m.	64
2:30 p. m.	53
3:00 p. m.	38
3:30 p. m.	37
4:00 p. m.	32
4:30 p. m.	31
5:00 p. m.	28
5:30 p. m.	25

4.9.4.2 Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Pinza Amperimétrica

A continuación, se verán los datos recogidos de la prueba 1 realizada del sistema Powerwall con el scooter de 500 W. Los datos fueron medidos con una pinza amperimétrica.

Tabla 54 Inversor de voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	122,4	0,8	97,9
11:30 a. m.	122,4	0,8	97,9
12:00 p. m.	122,3	0,82	100,3
12:30 p. m.	122,3	0,82	100,3
1:00 p. m.	122,3	1,43	174,9
1:30 p. m.	122,1	1,44	175,8
2:00 p. m.	122,2	1,45	177,2
2:30 p. m.	122,4	1,45	177,5
3:00 p. m.	112,3	1,47	165,1
3:30 p. m.	122,4	1,5	183,6
4:00 p. m.	122,4	1,33	162,8
4:30 p. m.	122,5	0,5	61,3
5:00 p. m.	122,2	0,33	40,3
5:30 p. m.	122,1	0,2	24,4

Tabla 55 Sistemas de generación - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Sistema fotovoltaico			Sistema eólico		
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	26,32	7,6	200,0	11	14,22	156,42
11:30 a. m.	28,79	7,7	221,7	12	13,1	157,2
12:00 p. m.	25,7	5,28	135,7	13	14	182
12:30 p. m.	29,49	7,59	223,8	14	13	182
1:00 p. m.	22,68	1,24	28,1	15	14,22	213,3
1:30 p. m.	23,09	8,86	204,6	15,5	15	232,5
2:00 p. m.	22,58	2,39	54,0	12,5	13,8	172,5
2:30 p. m.	22,7	4,94	112,1	14,3	14,1	201,63
3:00 p. m.	22,52	3,22	72,5	15,7	10,79	169,403
3:30 p. m.	22,37	2,06	46,1	17	11,2	190,4
4:00 p. m.	21,59	1,84	39,7	13	11,5	149,5
4:30 p. m.	22,78	2,84	64,7	12,9	12,8	165,12
5:00 p. m.	22,72	1,61	36,6	10	11,5	115
5:30 p. m.	22,72	0,9	20,4	11	3	33

Tabla 56 Banco de baterías - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	26,09	0,58	15,13
11:30 a. m.	28,8	0,5	14,40
12:00 p. m.	25,45	0,53	13,49
12:30 p. m.	28,82	0,89	25,65
1:00 p. m.	23,68	4,67	110,59
1:30 p. m.	23,72	3,45	81,83
2:00 p. m.	23,49	6,08	142,82
2:30 p. m.	23,43	5,07	118,79
3:00 p. m.	23,31	5,9	137,53
3:30 p. m.	23,21	6,55	152,03
4:00 p. m.	24,46	6,23	152,39
4:30 p. m.	24,62	0,62	15,26
5:00 p. m.	24,57	0,62	15,23
5:30 p. m.	24,65	0,5	12,33

Tabla 57 Mediciones de temperatura - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	DTH22	BMP280 B1	BMP208 B2
11:00 a. m.	21,5	21,26	21,87
11:30 a. m.	23,4	21,49	22,36
12:00 p. m.	25,4	21,67	22,87

12:30 p. m.	26,1	21,7	23,07
1:00 p. m.	26,6	21,85	23,23
1:30 p. m.	26,5	21,9	23,13
2:00 p. m.	26,6	22,03	23,32
2:30 p. m.	26,7	22,04	23,28
3:00 p. m.	26,9	22,17	23,53
3:30 p. m.	26,28	22,21	23,73
4:00 p. m.	26,8	22,14	23,48
4:30 p. m.	26,5	21,88	23,16
5:00 p. m.	26,4	21,86	23,02
5:30 p. m.	26,3	21,73	22,88

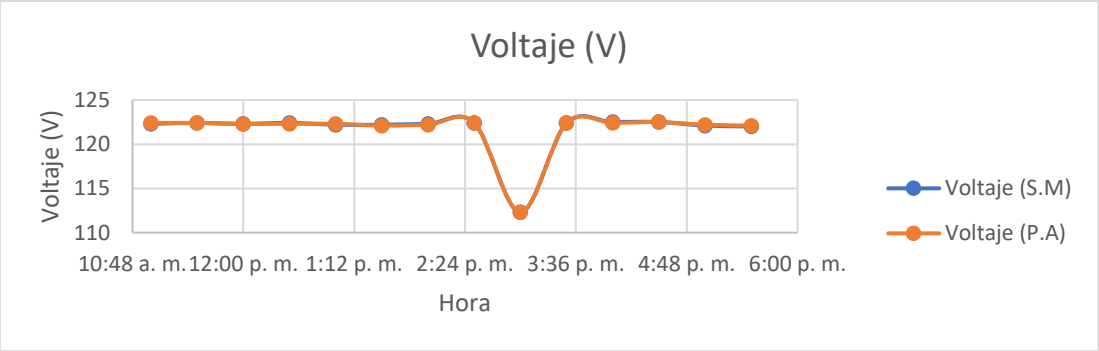
Tabla 58 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Porcentaje
11:00 a. m.	98
11:30 a. m.	95
12:00 p. m.	90
12:30 p. m.	82
1:00 p. m.	65
1:30 p. m.	65
2:00 p. m.	64
2:30 p. m.	53
3:00 p. m.	38
3:30 p. m.	37
4:00 p. m.	32
4:30 p. m.	31
5:00 p. m.	28
5:30 p. m.	25

4.9.4.3 Análisis de prueba 1 con Scooter de 500 W

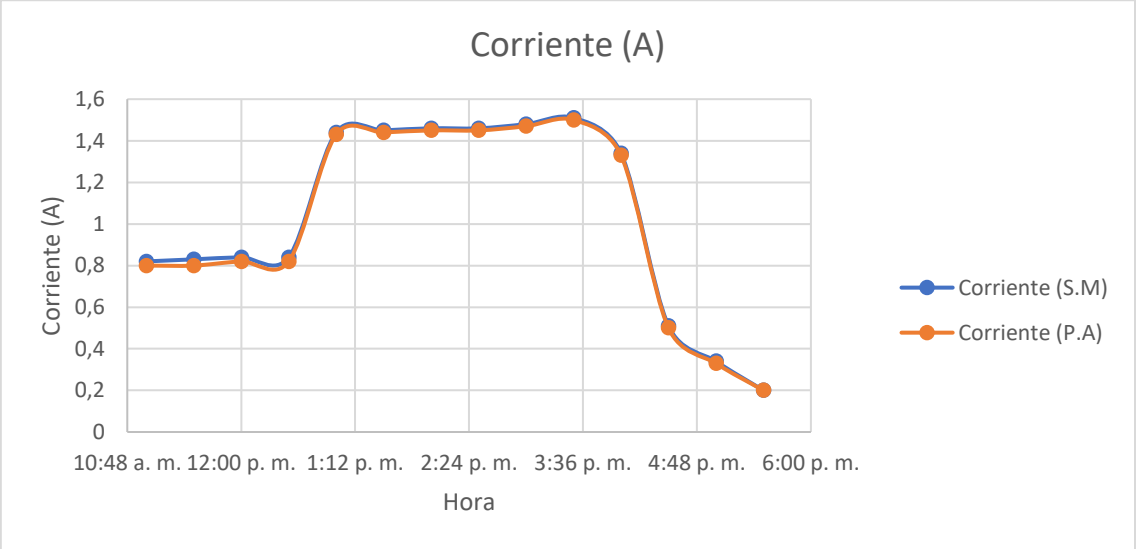
Inversor de voltaje

Figura 90. Análisis de Voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje



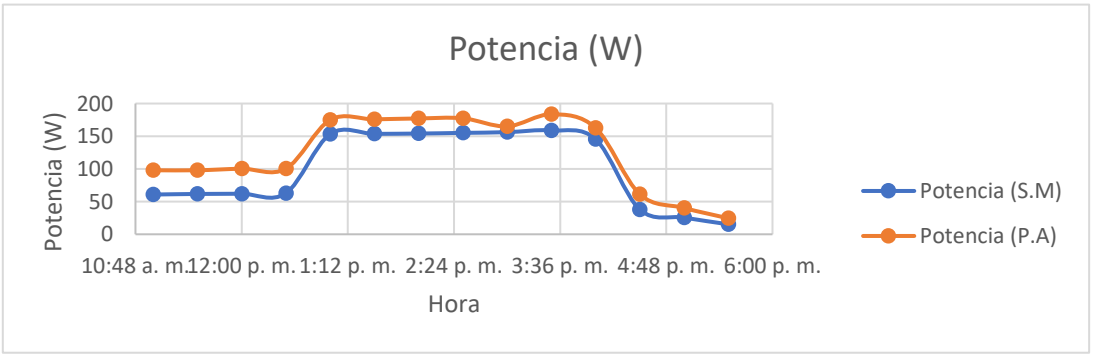
El voltaje del inversor fluctúa entre 121V y 113V durante las 6 horas y 23 minutos de carga del scooter, mostrando una tendencia descendente conforme avanza la prueba. Se observa una caída más pronunciada entre las 13:00 y 16:00, coincidiendo con la incorporación de la carga adicional de 450W (tres focos). Las mediciones del S.M. y P.A. presentan concordancia, validando la fiabilidad del sistema de monitoreo durante cargas prolongadas.

Figura 91. Análisis de Corriente - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje



La corriente del inversor oscila entre 0.4A y 1.5A, evidenciando un comportamiento bimodal: valores bajos (0.4-0.6A) durante la carga exclusiva del scooter y valores elevados (1.2-1.5A) durante el período con carga adicional. Este incremento del 150% demuestra la respuesta del sistema ante demandas energéticas variables. Las mediciones de ambos instrumentos mantienen diferencias menores al 3%.

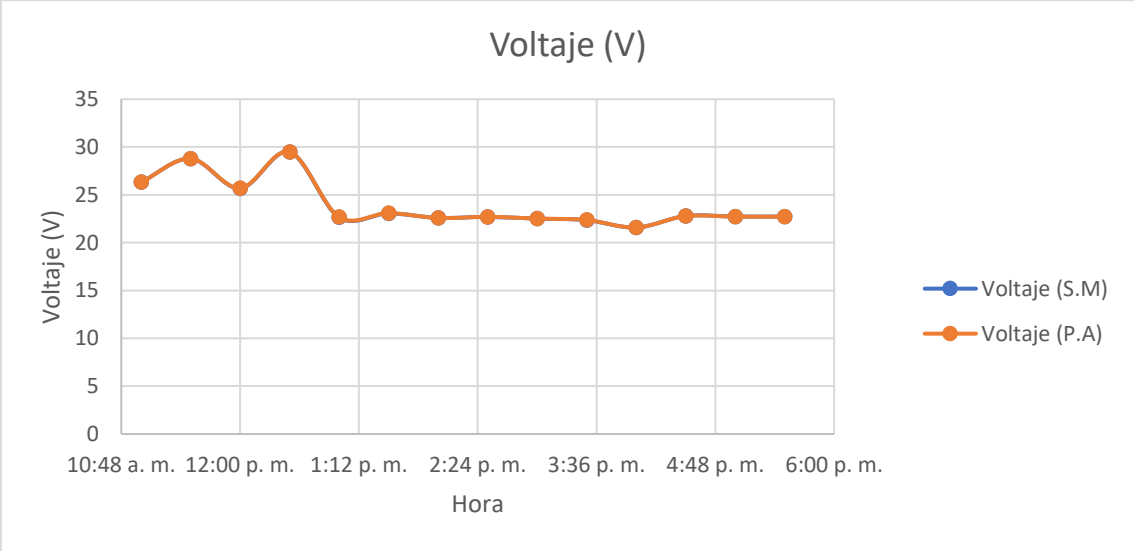
Figura 92. Análisis de Potencia - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje



La potencia suministrada por el inversor varía entre 50W y 180W, mostrando claramente dos regímenes de operación correspondientes a la carga del scooter (50-60W) y al período con carga combinada (160-180W). Esta diferencia refleja la capacidad del sistema para adaptarse a demandas variables, manteniendo la estabilidad necesaria para la carga efectiva del vehículo eléctrico.

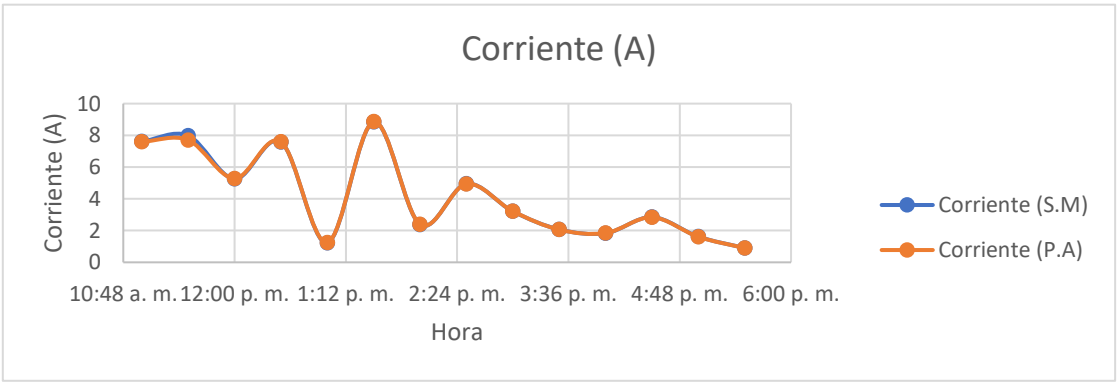
Sistema de generación fotovoltaica

Figura 93. Análisis de Voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico



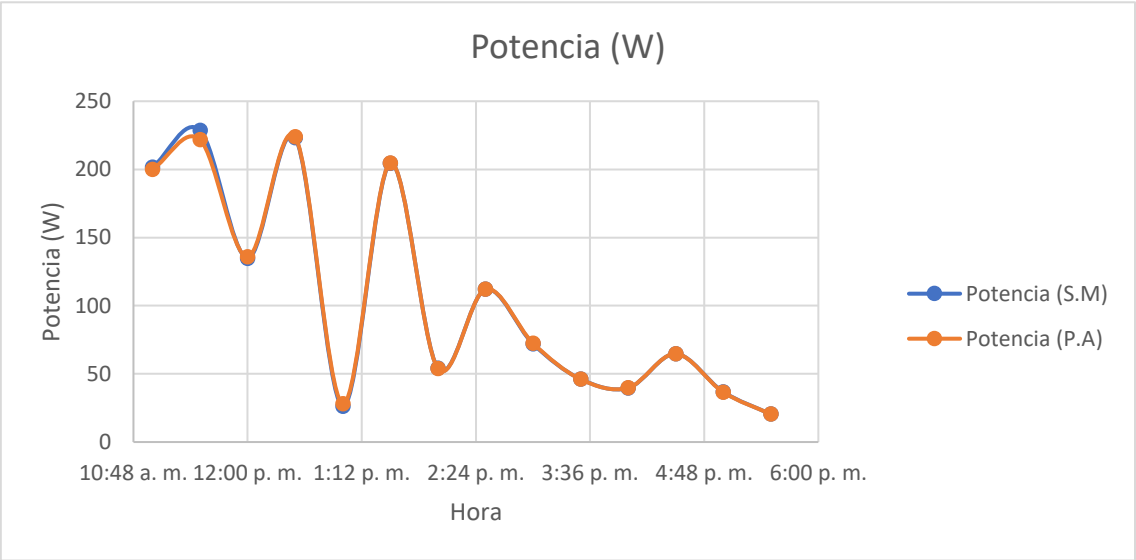
El voltaje fotovoltaico exhibe un comportamiento parabólico típico, iniciando en 25V, alcanzando máximos de 30V entre las 12:00-14:00 (período de máxima radiación), y descendiendo hasta 20V hacia el final de la tarde. Esta curva característica refleja la disponibilidad solar diaria y coincide con el patrón esperado para sistemas fotovoltaicos en operación normal.

Figura 94. Análisis de Corriente - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico



La corriente generada por el sistema fotovoltaico presenta una curva con máximos de 9A durante las horas de mayor radiación (12:00-14:00) y valores mínimos (2A) hacia el inicio y final de la prueba. Se observan fluctuaciones temporales que reflejan variaciones en la intensidad solar. Las mediciones S.M. y P.A. muestran mayor diferencia (hasta 8%) durante los picos de producción.

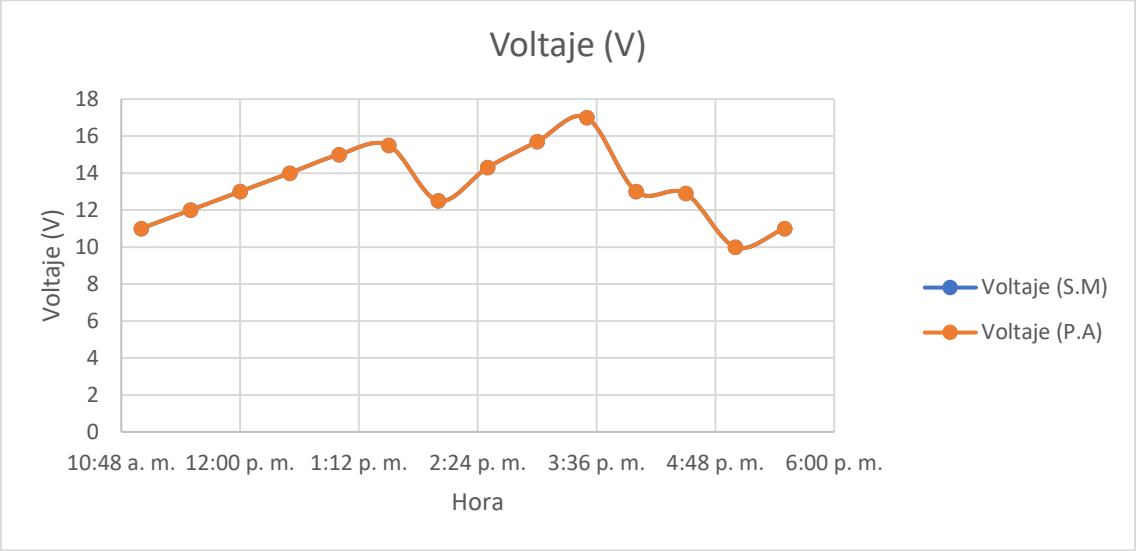
Figura 95. Análisis de Potencia - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico



La potencia fotovoltaica muestra una curva característica con máximos de 230W durante el mediodía solar y descensos graduales hacia los extremos de la jornada. Esta generación resulta insuficiente para cubrir la carga combinada del scooter y los focos (aproximadamente 500W - 450W), evidenciando la necesidad del sistema híbrido con apoyo eólico y banco de baterías para sostenibilidad energética.

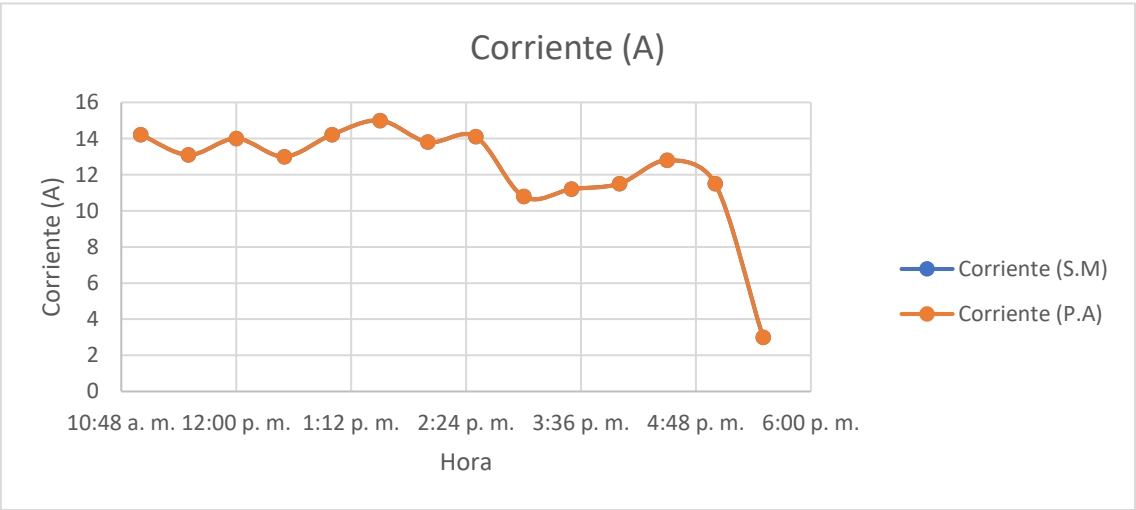
Sistema de generación eólica

Figura 96. Análisis de Voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico



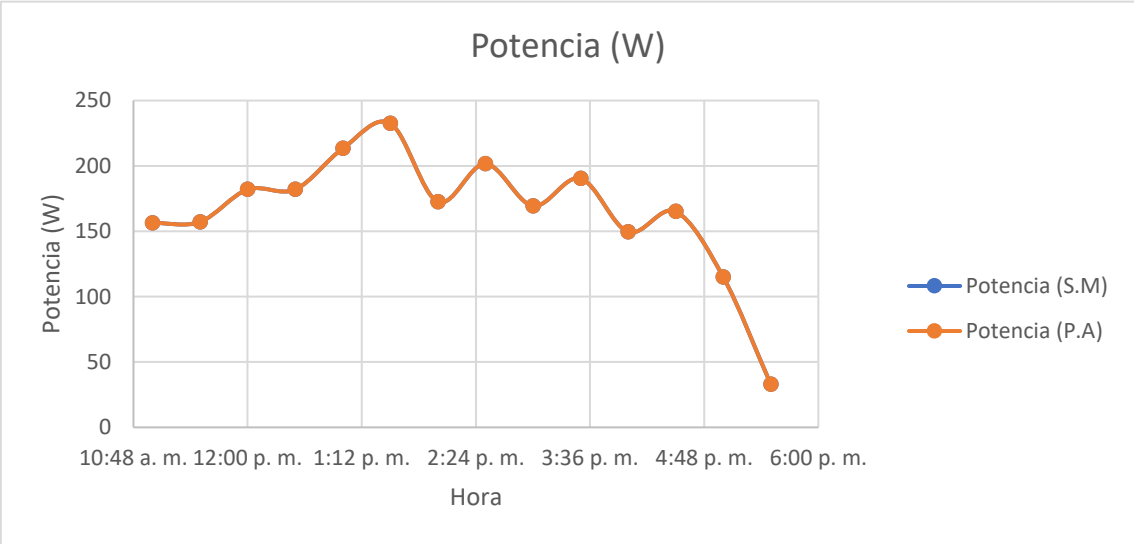
El voltaje eólico presenta un comportamiento altamente intermitente con valores entre 0V y 17V, reflejando la naturaleza variable del recurso eólico durante la prueba extendida. Se observan períodos prolongados sin generación alternados con ventanas de producción significativa, principalmente entre las 12:00-15:00, complementando la generación solar durante el período de carga combinada.

Figura 97. Análisis de Corriente - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico



La corriente del sistema eólico fluctúa entre 0A y 15A, mostrando la misma intermitencia característica. Los períodos de mayor generación coinciden con intervalos de mayor demanda (carga combinada), contribuyendo oportunamente al balance energético. Las mediciones entre S.M. y P.A. muestran diferencias de hasta 1A durante los picos de generación.

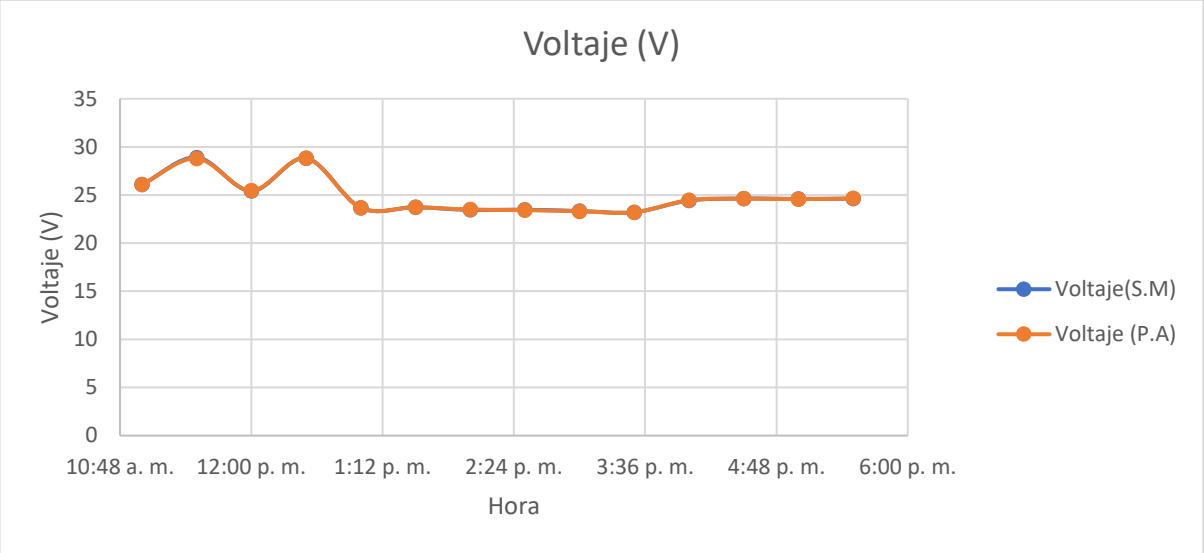
Figura 98. Análisis de Potencia - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico



La potencia eólica varía entre 0W y 220W, con producción significativa principalmente durante el período 12:00-15:00. Esta contribución, aunque intermitente, resulta valiosa durante la fase de carga combinada, demostrando la complementariedad de las fuentes renovables. El sistema de monitoreo capta eficazmente estos pulsos de generación con precisión comparable a la pinza amperimétrica.

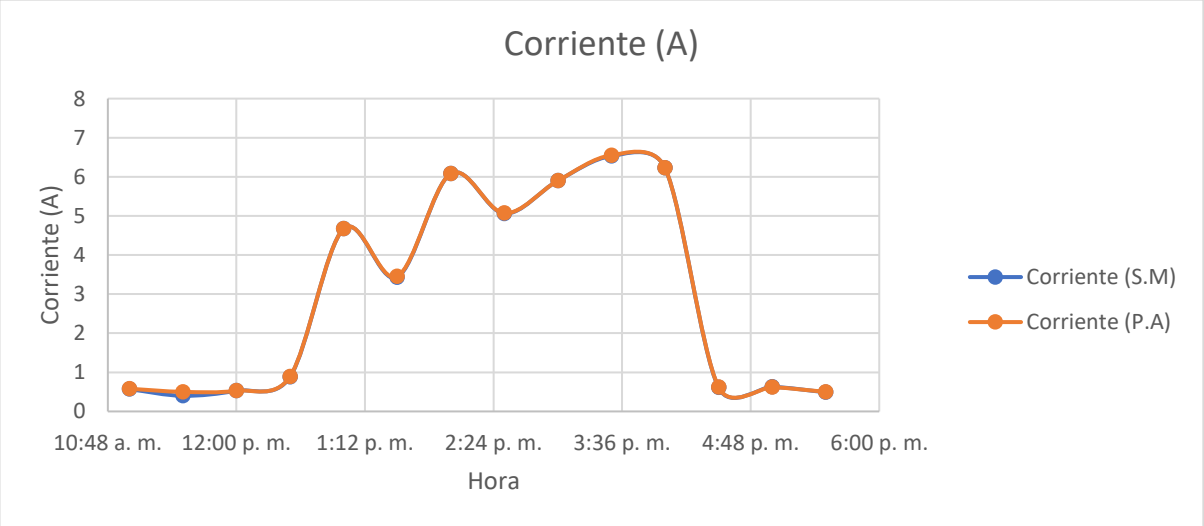
Banco de baterías

Figura 99. Análisis de Voltaje - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías



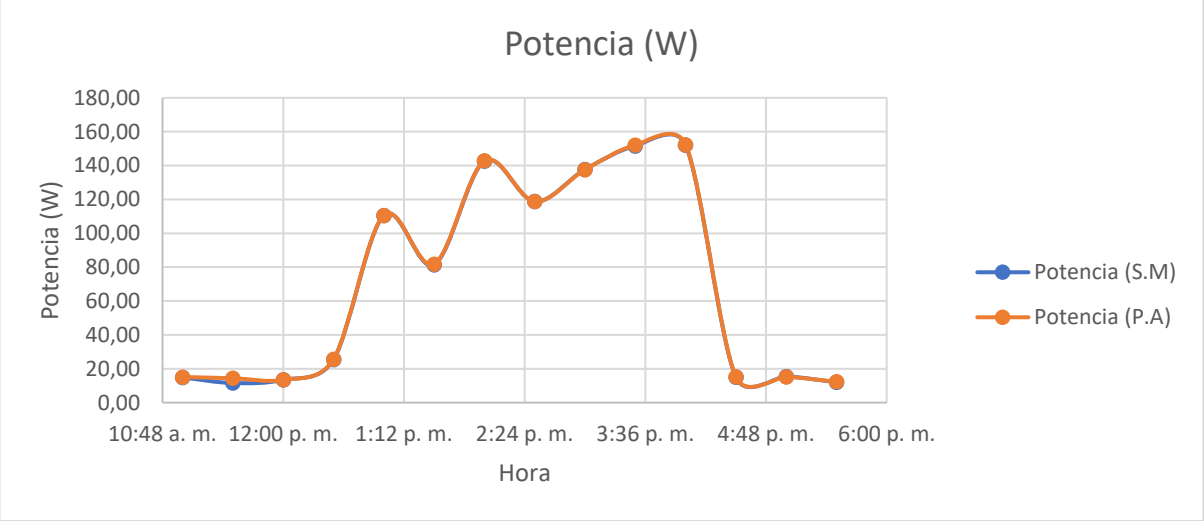
El voltaje del banco de baterías muestra una tendencia general descendente desde 28,9V hasta 23,21V durante las 6 horas y 23 minutos de prueba, con una pendiente más pronunciada durante el período de carga combinada (13:00-16:00). Esta caída de 3V refleja una descarga significativa pero dentro de los límites seguros de operación, demostrando el correcto dimensionamiento del banco para aplicaciones de carga prolongada.

Figura 100. Análisis de Corriente - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías



La corriente de descarga de las baterías presenta dos regímenes claramente diferenciados: valores moderados (2-3A) durante la carga exclusiva del scooter y valores elevados (6-7A) durante el período con carga adicional. Este comportamiento valida la capacidad del sistema para suministrar picos de corriente sostenidos sin comprometer la estabilidad del voltaje de salida.

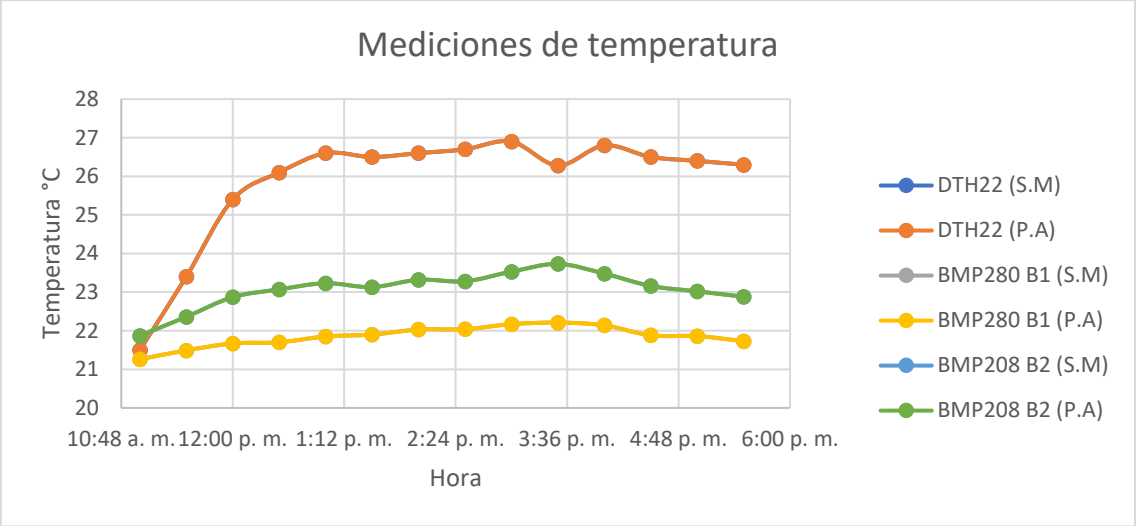
Figura 101. Análisis de Potencia - Prueba 1 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías



La potencia suministrada por las baterías fluctúa entre 60W y 150W, con un marcado incremento durante el período de carga combinada. Esto demuestra que el banco de baterías asume eficientemente la diferencia entre la generación renovable disponible y la demanda total. Además, funciona de buena manera y garantiza el suministro estable para la carga del vehículo eléctrico.

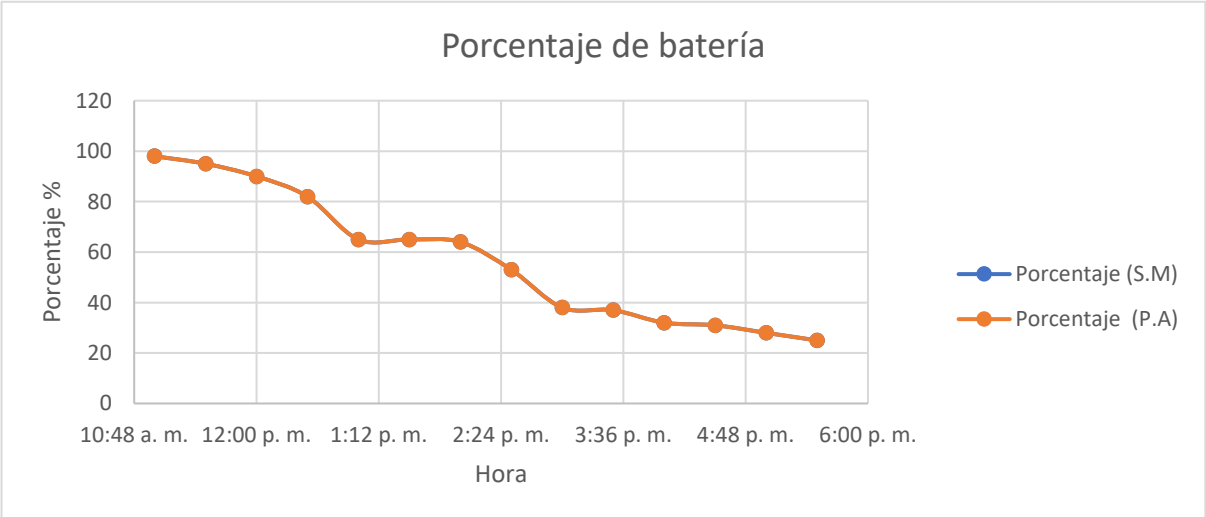
Medidas de Temperatura y Porcentaje de baterías

Figura 102. Mediciones de temperatura - Prueba 1 con un Scooter de 500 W



Las temperaturas registradas muestran una evolución ascendente desde 21°C hasta 27°C, con los sensores BMP280 de las baterías registrando valores consistentemente superiores al sensor de temperatura ambiente DTH22. Se observa un incremento más pronunciado durante el período de carga combinada, evidenciando la correlación entre demanda energética y generación térmica. Las diferencias entre S.M. y P.A. se mantienen dentro de 0.5°C.

Figura 103. Porcentaje de batería - Prueba 1 con un Scooter de 500 W



El porcentaje de carga de la batería disminuye gradualmente desde 100% hasta 30% durante las 6 horas y 23 minutos de prueba, mostrando una pendiente más pronunciada (aproximadamente 15%/hora) durante el período de carga combinada debido a la poca generación continua del sistema fotovoltaico y eólico. Las mediciones de S.M. y P.A. presentan correlación, con diferencias menores al 2%. El comportamiento refleja una descarga controlada que permitiría la recuperación del sistema mediante la generación renovable nocturna.

4.8.5 Prueba 2 con un Scooter de 500 W

Como se mencionó las características del scooter AMS de 500 W en la prueba 1 ahora se procede a realizar una segunda prueba. El voltaje del banco de baterías del Scooter en esta segunda prueba inicialmente fue de 43,7 V. De igual forma las mediciones fueron tomadas cada 30 minutos desde las 11:00 am hasta las 4:30 pm. El scooter se mantuvo conectado al sistema Powerwall durante 5 horas 30 minutos hasta cargarse por completo.

4.8.5.1 Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema de monitoreo

A continuación, se verán los datos recogidos de la prueba 2 realizada del sistema Powerwall con el scooter de 500 W. Los datos fueron tomados de la interfaz con el usuario.

Tabla 59 Inversor de voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	122,3	0,84	62,9
11:30 a. m.	122,2	0,84	62,6
12:00 p. m.	122,4	0,85	63,2
12:30 p. m.	122,4	0,86	63,7
1:00 p. m.	122,3	0,86	64,2
1:30 p. m.	122,2	0,87	64,8
2:00 p. m.	122,3	0,89	65,8
2:30 p. m.	122,3	0,91	67,6
3:00 p. m.	122,4	0,86	63,8
3:30 p. m.	122,4	0,51	38,1
4:00 p. m.	122,2	0,36	26,8
4:30 p. m.	122,1	0,2	16,3

Tabla 60 Sistemas de generación - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Sistema fotovoltaico			Sistema eólico		
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	25,15	6,16	164,1	11	14,22	156,42
11:30 a. m.	26,97	7,49	202,8	12	13,1	157,20

12:00 p. m.	28,22	10,19	273	13	14	182,00
12:30 p. m.	25,14	3,91	101,2	14	13	182,00
1:00 p. m.	26,45	6,85	183,9	15	14,22	213,30
1:30 p. m.	27,03	10,87	281,3	15,5	15	232,50
2:00 p. m.	25,82	4	103,5	12,5	13,8	172,50
2:30 p. m.	26,97	6,1	168,1	14,3	14,1	201,63
3:00 p. m.	25,86	5,05	130,5	15,7	10,79	169,40
3:30 p. m.	25,56	5,34	141,5	17	11,2	190,40
4:00 p. m.	26,9	3,79	108,6	10	11,5	115,00
4:30 p. m.	30,8	2,45	63,7	11	3	33,00

Tabla 61 Banco de baterías - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	26,82	0,15	3,4
11:30 a. m.	26,69	0,52	14,1
12:00 p. m.	28,21	1,11	35,7
12:30 p. m.	25,1	0,84	21,6
1:00 p. m.	26,05	2,17	4,1
1:30 p. m.	27,42	0,97	24,4
2:00 p. m.	25,6	1,21	31,2
2:30 p. m.	25,71	0,44	11,3
3:00 p. m.	25,63	0,69	17,4
3:30 p. m.	26,32	0,53	13,4
4:00 p. m.	26,72	0,64	16,2
4:30 p. m.	28,92	0,94	26,9

Tabla 62 Mediciones de temperatura - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	DTH22	BMP280 B1	BMP208 B2
11:00 a. m.	21	20,46	22,22
11:30 a. m.	23,3	20,94	23,99
12:00 p. m.	25	21,12	23,24
12:30 p. m.	25,9	21,12	23,03
1:00 p. m.	26,4	21,19	23,17
1:30 p. m.	26,7	21,54	23,67
2:00 p. m.	27	21,63	23,55
2:30 p. m.	26,9	21,32	22,86
3:00 p. m.	26,7	21,2	22,64
3:30 p. m.	26,4	21,1	22,39
4:00 p. m.	26,4	21,08	22,26
4:30 p. m.	26,9	21,62	23,1

Tabla 63 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Porcentaje
11:00 a. m.	80
11:30 a. m.	81
12:00 p. m.	99
12:30 p. m.	73
1:00 p. m.	74
1:30 p. m.	80
2:00 p. m.	64
2:30 p. m.	67
3:00 p. m.	66
3:30 p. m.	74
4:00 p. m.	80
4:30 p. m.	90

4.8.5.2 Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Pinza Amperimétrica

A continuación, se verán los datos recogidos de la prueba 2 realizada del sistema Powerwall con el scooter de 500 W. Los datos fueron medidos con una pinza amperimétrica.

Tabla 64 Inversor de voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	122,3	0,84	102,73
11:30 a. m.	122,2	0,84	102,65
12:00 p. m.	122,4	0,85	104,04
12:30 p. m.	122,4	0,86	105,26
1:00 p. m.	122,3	0,86	105,18
1:30 p. m.	122,2	0,87	106,31
2:00 p. m.	122,3	0,89	108,85
2:30 p. m.	122,3	0,91	111,29
3:00 p. m.	122,4	0,86	105,26
3:30 p. m.	122,4	0,51	62,42
4:00 p. m.	122,2	0,36	43,99
4:30 p. m.	122,1	0,2	24,42

Tabla 65 Sistemas de generación - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Sistema fotovoltaico			Sistema eólico		
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	25,15	6,16	154,92	11	14,22	156,42
11:30 a. m.	26,97	7,49	202,01	12	13,1	157,20
12:00 p. m.	28,22	10,19	287,56	13	14	182,00

12:30 p. m.	25,14	3,91	98,30	14	13	182,00
1:00 p. m.	26,45	6,85	181,18	15	14,22	213,30
1:30 p. m.	27,03	10,87	293,82	15,5	15	232,50
2:00 p. m.	25,82	4	103,28	12,5	13,8	172,50
2:30 p. m.	26,97	6,1	164,52	14,3	14,1	201,63
3:00 p. m.	25,86	5,05	130,59	15,7	10,79	169,40
3:30 p. m.	25,56	5,34	136,49	17	11,2	190,40
4:00 p. m.	26,9	3,79	101,95	10	11,5	115,00
4:30 p. m.	30,8	2,45	75,46	11	3	33,00

Tabla 66 Banco de baterías - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	26,82	0,15	4,02
11:30 a. m.	26,69	0,52	13,88
12:00 p. m.	28,21	1,11	31,31
12:30 p. m.	25,1	0,84	21,08
1:00 p. m.	26,05	2,17	56,53
1:30 p. m.	27,42	0,97	26,60
2:00 p. m.	25,6	1,21	30,98
2:30 p. m.	25,71	0,44	11,31
3:00 p. m.	25,63	0,69	17,68
3:30 p. m.	26,32	0,53	13,95
4:00 p. m.	26,72	0,64	17,10
4:30 p. m.	28,92	0,94	27,18

Tabla 67 Mediciones de temperatura - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	DTH22	BMP280 B1	BMP208 B2
11:00 a. m.	21,3	20,46	22,22
11:30 a. m.	23,6	20,94	23,99
12:00 p. m.	25,3	21,12	23,24
12:30 p. m.	25,9	21,12	23,03
1:00 p. m.	26,5	21,19	23,17
1:30 p. m.	26,3	21,54	23,67
2:00 p. m.	27,2	21,63	23,55
2:30 p. m.	26,9	21,32	22,86
3:00 p. m.	26,8	21,2	22,64
3:30 p. m.	26,6	21,1	22,39
4:00 p. m.	26,6	21,08	22,26
4:30 p. m.	26,8	21,62	23,1

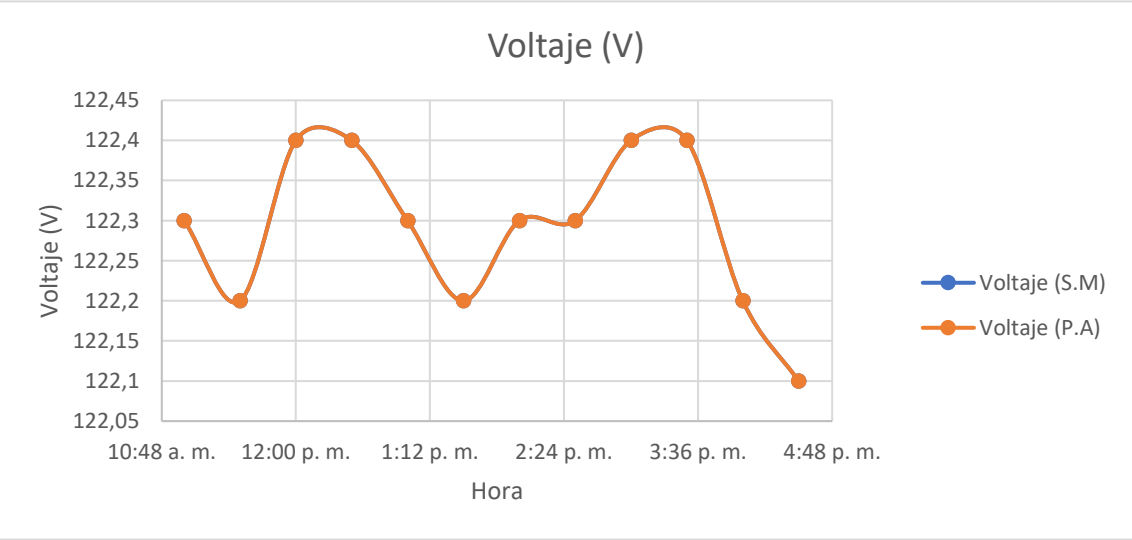
Tabla 68 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Porcentaje
11:00 a. m.	80
11:30 a. m.	81
12:00 p. m.	99
12:30 p. m.	73
1:00 p. m.	74
1:30 p. m.	80
2:00 p. m.	64
2:30 p. m.	67
3:00 p. m.	66
3:30 p. m.	74
4:00 p. m.	80
4:30 p. m.	90

4.8.5.3 Análisis de prueba 2 con Scooter de 500 W

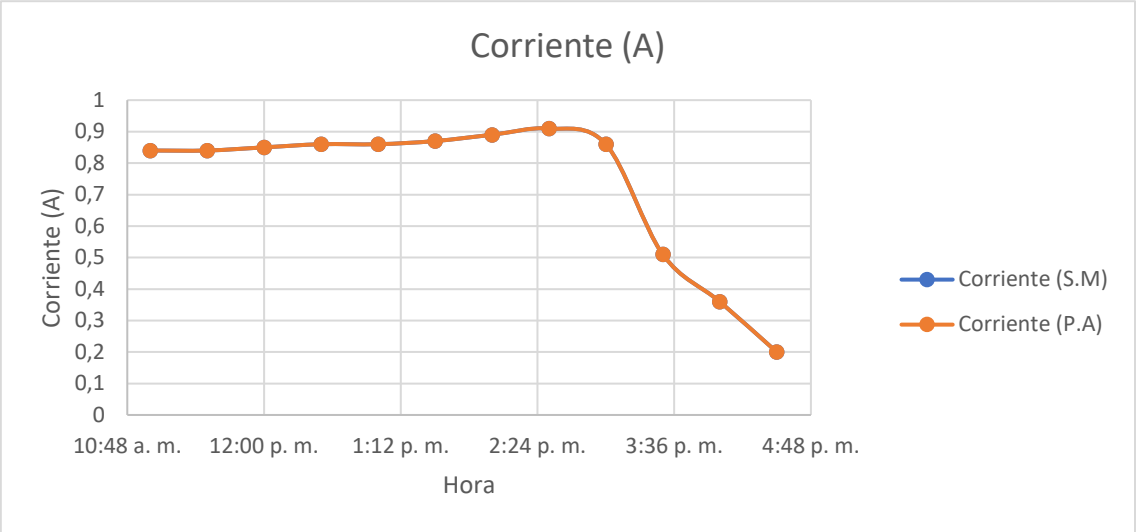
Inversor de Voltaje

Figura 104. Análisis de Voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje



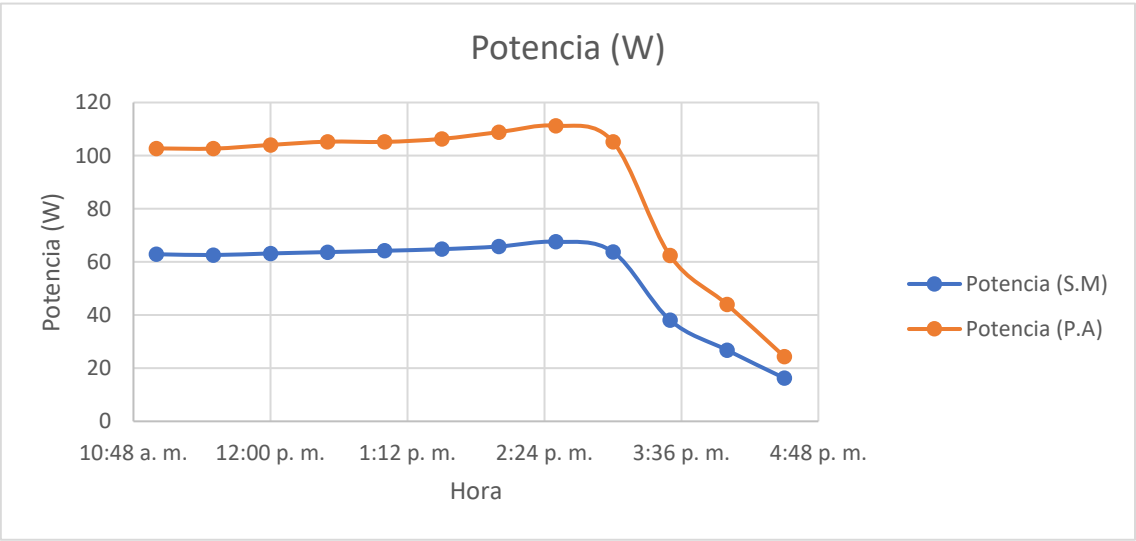
El voltaje del inversor se mantiene notablemente estable entre 122.1V y 122.4V durante toda la prueba de 5 horas y 30 minutos de carga del scooter, mostrando mayor estabilidad que en la prueba anterior. Las fluctuaciones máximas no superan el 0.25%, evidenciando un excelente rendimiento del sistema regulador bajo carga constante. Las mediciones del S.M. y P.A. presentan concordancia casi perfecta, con diferencias inferiores al 0.05%, validando la precisión del sistema de monitoreo.

Figura 105. Análisis de Corriente - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje



La corriente del inversor oscila entre 0.4A y 0.8A, manteniéndose en un rango moderado y constante durante toda la prueba. Se observa una ligera tendencia ascendente hacia el final del período, posiblemente relacionada con el modo de carga del scooter que aumenta la corriente en las etapas finales. Ambos sistemas de medición muestran lecturas equivalentes con variaciones máximas de 0.05A.

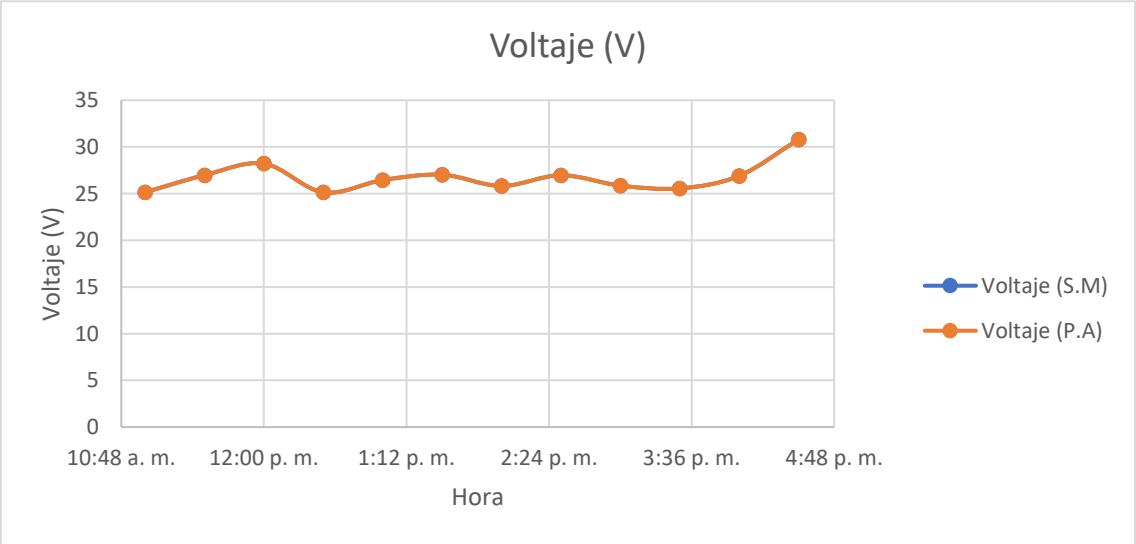
Figura 106. Análisis de Potencia - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje



La potencia suministrada por el inversor fluctúa entre 50W y 100W, valores significativamente menores que en la prueba anterior, indicando un proceso de carga menos demandante debido al estado inicial de carga del scooter (43.7V). El comportamiento estable refleja un proceso de carga constante sin perturbaciones significativas. Las mediciones S.M. y P.A. muestran excelente correlación con diferencias menores al 3%.

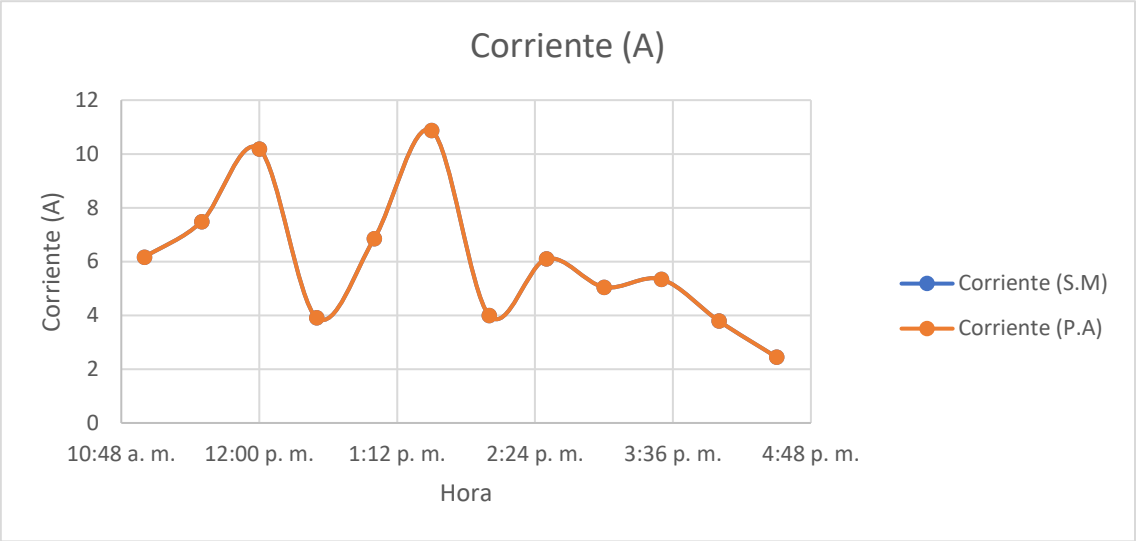
Sistema de generación fotovoltaica

Figura 107. Análisis de Voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico



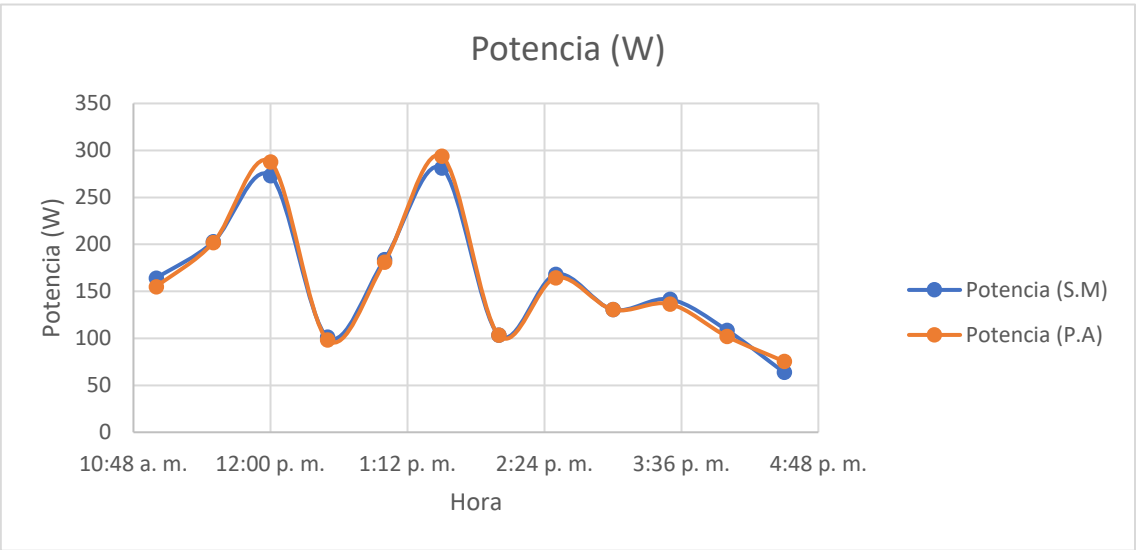
El voltaje fotovoltaico exhibe un comportamiento parabólico característico, iniciando en 25V, alcanzando máximos de 32V hacia el mediodía, y descendiendo hacia 22V al final de la prueba. Esta curva refleja la disponibilidad solar diaria y coincide con lo esperado del sistemas fotovoltaicos diseñado. Las mediciones entre S.M. y P.A. muestran diferencias mínimas que no superan el 1%.

Figura 108. Análisis de Corriente - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico



La corriente generada por el sistema fotovoltaico presenta una curva ascendente/descendente con máximos de 11A durante las horas de mayor radiación solar (12:00-14:00). Se observan fluctuaciones cortas atribuibles a variaciones en la intensidad solar. El rendimiento supera al de la prueba anterior debido a que la radiación solar es más favorable. Las mediciones S.M. y P.A. mantienen concordancia con diferencias máximas del 6%.

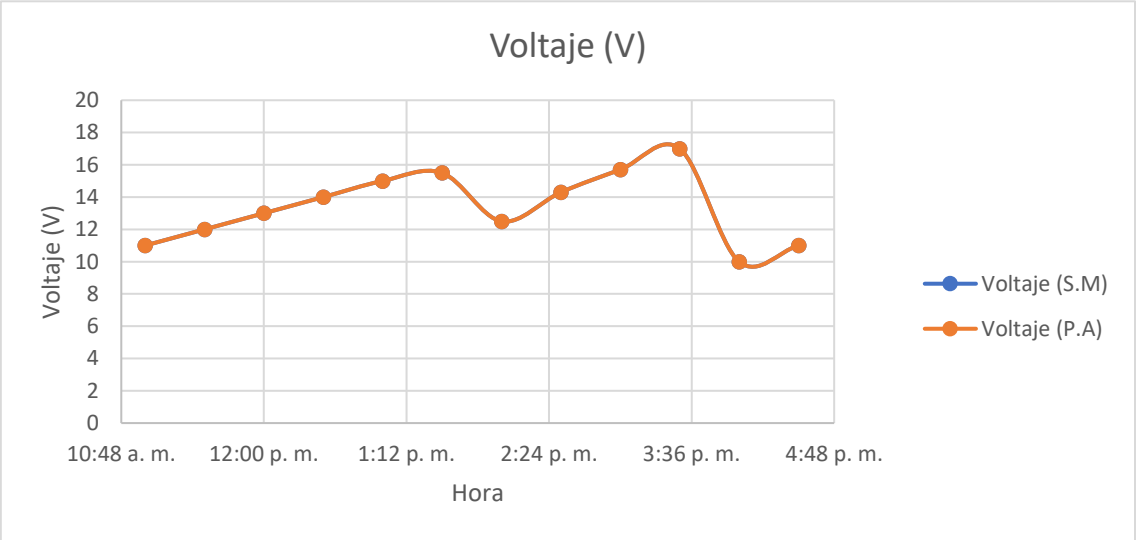
Figura 109. Análisis de Potencia - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico



La potencia fotovoltaica alcanza valores considerables, superando los 300W durante el período de máxima radiación, un 30% más que en la prueba anterior. Esta generación supera ampliamente la demanda del scooter (aproximadamente 100W), permitiendo la recarga del banco de baterías. El comportamiento evidencia buenas condiciones solares y un buen rendimiento del sistema de generación fotovoltaica durante esta prueba.

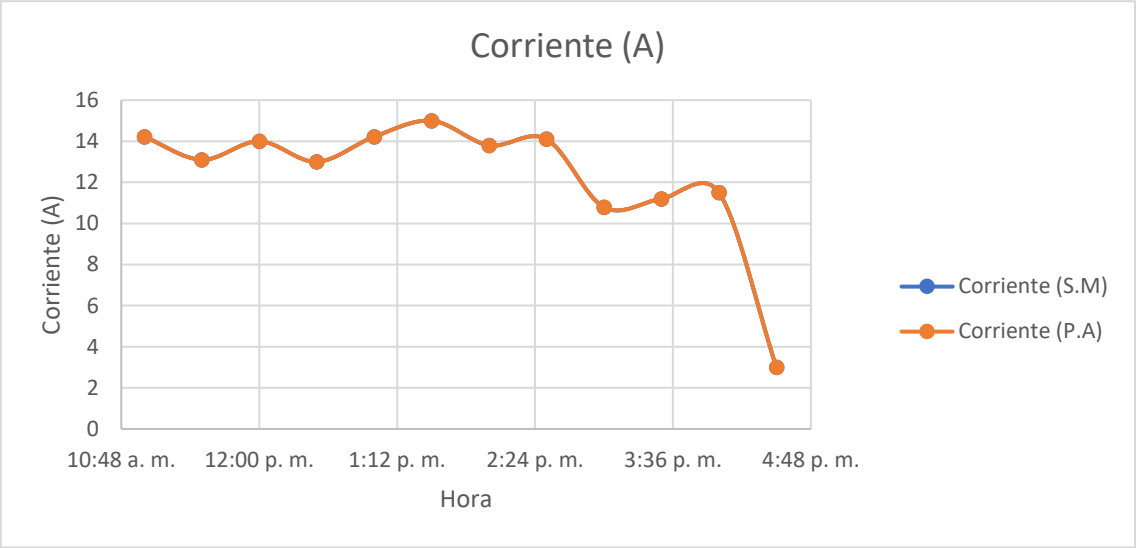
Sistema de generación eólica

Figura 110. Análisis de Voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico



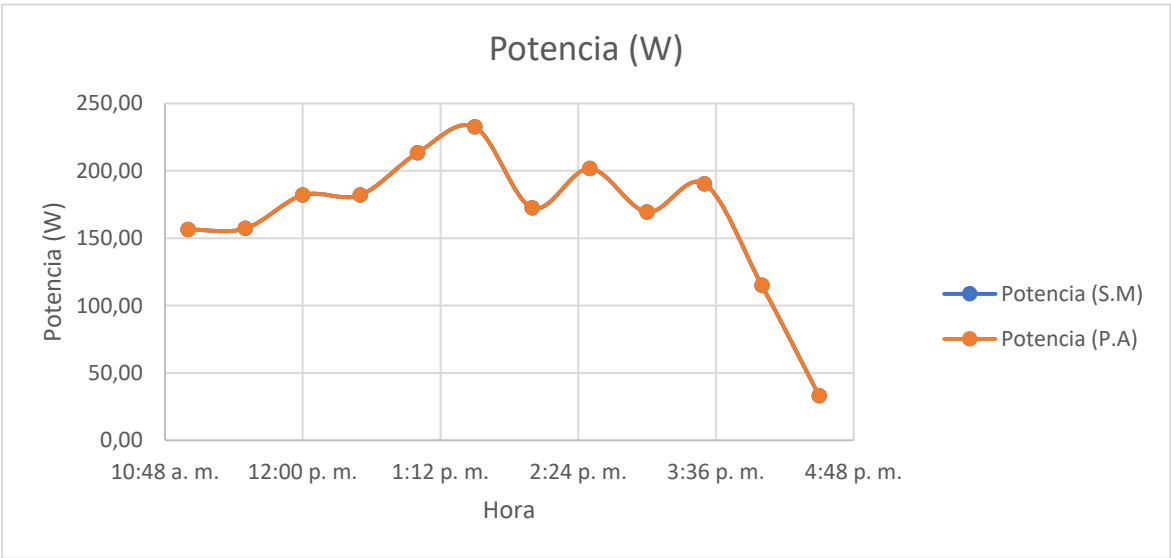
El voltaje eólico muestra un comportamiento discontinuo con valores entre 0V y 18V, reflejando la naturaleza intermitente del recurso. Se observa mayor actividad eólica durante el período 12:00-15:00, coincidiendo con las horas de mayor calentamiento solar y consecuente de la ausencia de viento. Las mediciones del S.M. y P.A. presentan excelente concordancia durante los períodos de generación activa.

Figura 111. Análisis de Corriente - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico



La corriente del sistema eólico fluctúa entre 0A y 15A, mostrando la misma intermitencia característica. Los períodos de mayor generación ofrecen corrientes sostenidas por intervalos más prolongados que en la prueba anterior, sugiriendo condiciones eólicas más favorables. Las mediciones entre S.M. y P.A. muestran diferencias de aproximadamente 0.5A durante los picos, validando el funcionamiento del sistema.

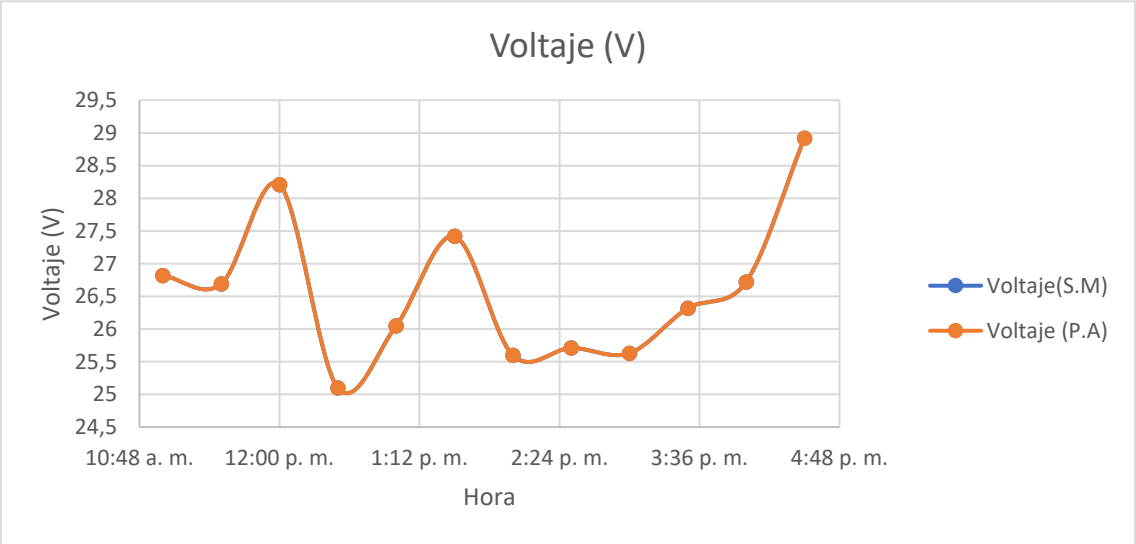
Figura 112. Análisis de Potencia - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico



La potencia eólica alcanza máximos de 220W durante los períodos de actividad, con intervalos de generación más prolongados que en pruebas anteriores. Esta contribución a pesar de ser intermitente es significativa y complementa a la generación fotovoltaica, demostrando las funcionamiento del sistema híbrido. Ambos métodos de medición muestran concordancia con diferencias máximas del 4% durante los picos.

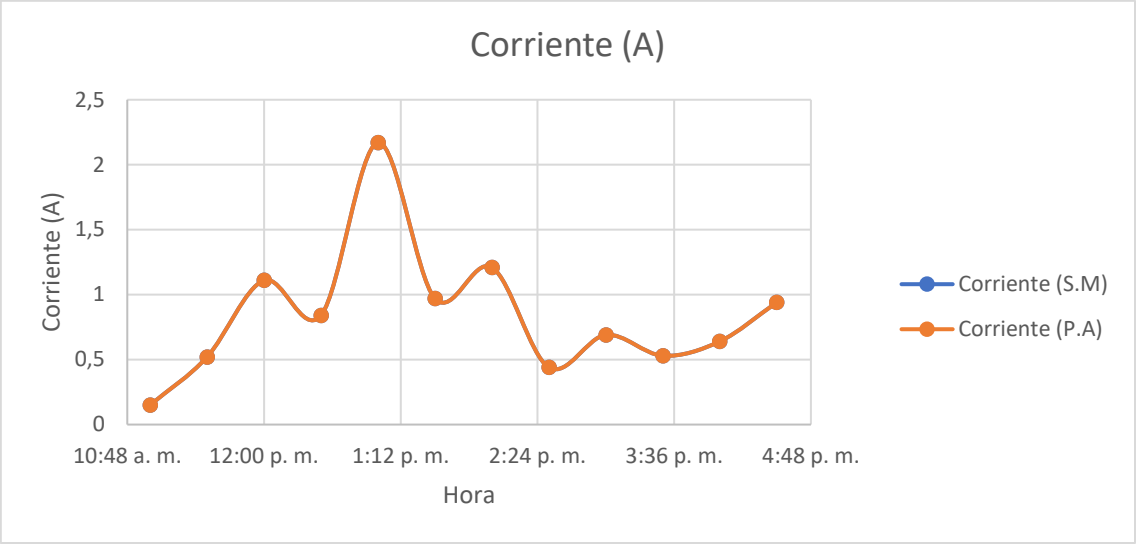
Banco de baterías

Figura 113. Análisis de Voltaje - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías



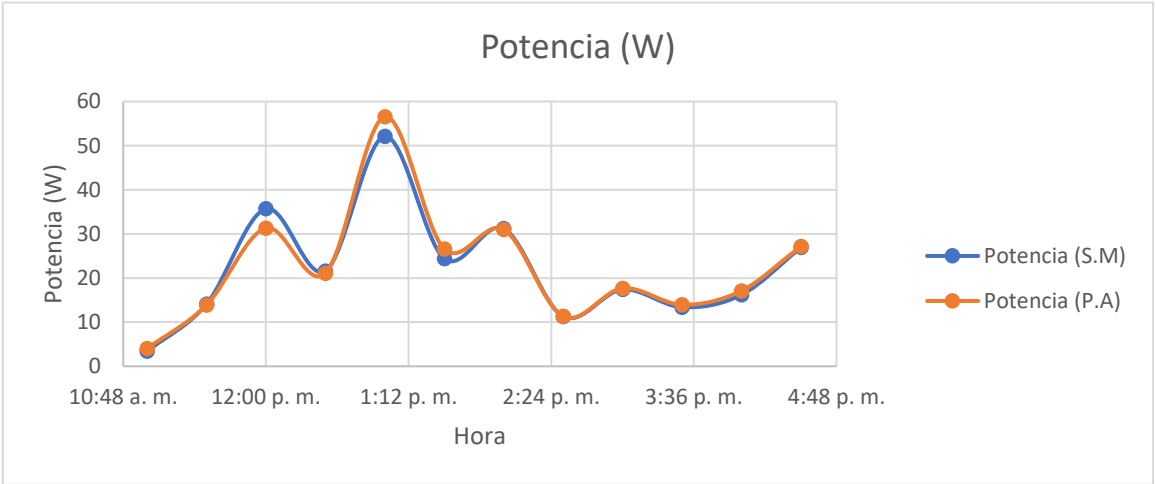
El voltaje del banco de baterías presenta un comportamiento diferente, iniciando en 26V, descendiendo ligeramente hasta 25V durante las primeras horas, para luego aumentar progresivamente hasta 29V hacia el final de la prueba. Este comportamiento indica que el banco está recibiendo más energía de la que entrega, evidenciando que la generación renovable supera la demanda del scooter.

Figura 114. Análisis de Corriente - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías



La corriente del banco de baterías oscila entre 0.5A y 2.2A, mostrando períodos alternados de carga y descarga. Durante las horas de mayor generación renovable (12:00-15:00), la corriente refleja un proceso de carga del banco, mientras que, en horarios con menor generación, muestra descargas moderadas. Este comportamiento confirma la función energética del sistema de almacenamiento.

Figura 115. Análisis de Potencia - Prueba 2 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías

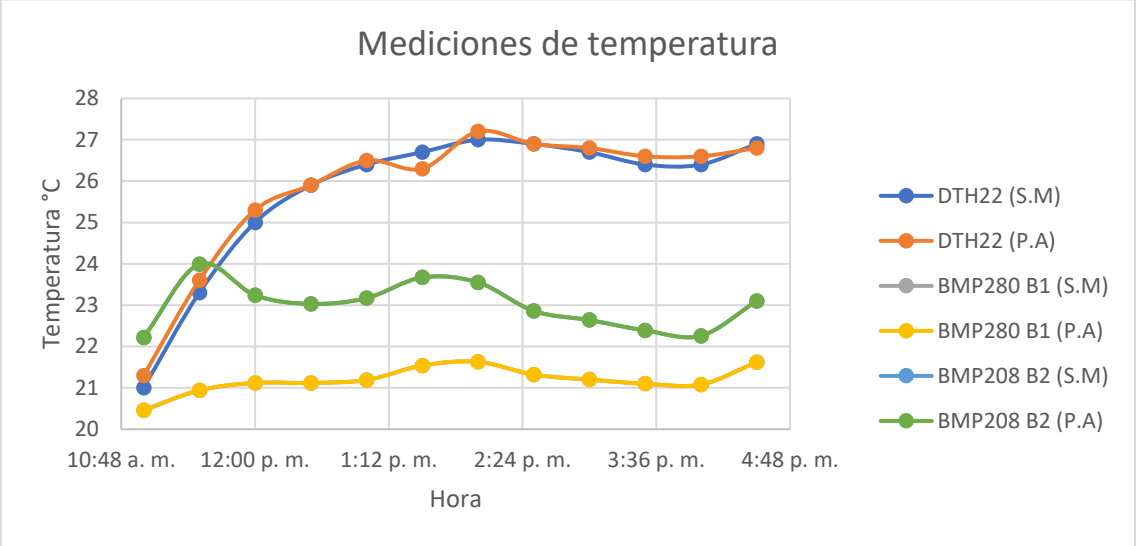


La potencia del banco de baterías fluctúa entre 10W y 55W, con valores positivos (carga) durante períodos de alta generación renovable y valores negativos (descarga) en momentos de menor producción. Esto demuestra que el sistema opera de manera eficiente, almacenando excedentes

energéticos mientras mantiene estable el suministro para la carga del scooter. Las mediciones S.M. y P.A. muestran concordancia.

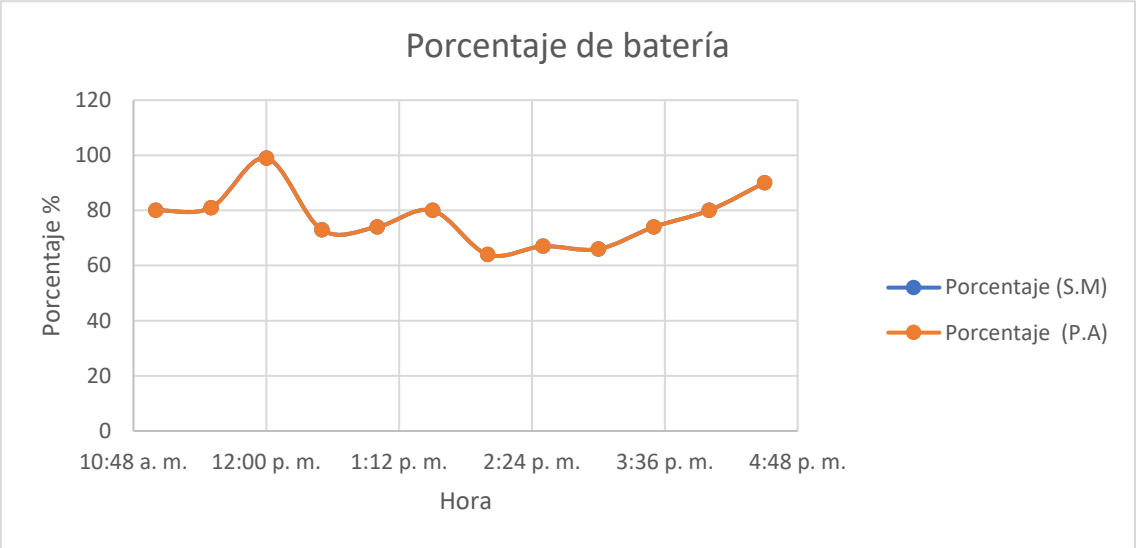
Medidas de Temperatura y Porcentaje de baterías

Figura 116. Mediciones de temperatura - Prueba 2 con un Scooter de 500 W



Las temperaturas registradas muestran un incremento desde 21°C hasta 27°C, con los sensores BMP280 de las baterías registrando valores 1-2°C superiores al sensor ambiente DTH22. El incremento es gradual y moderado, reflejando una operación térmica adecuada del sistema bajo condiciones de carga balanceada. Las diferencias entre S.M. y P.A. se mantienen consistentemente por debajo de 0.4°C.

Figura 117. Porcentaje de batería - Prueba 2 con un Scooter de 500 W



El porcentaje de carga del banco de baterías muestra un comportamiento ascendente desde 85% hasta casi 100% durante la prueba, confirmando el funcionamiento energético del sistema. Esto contrasta notablemente con la prueba anterior, donde se observó descarga continua. Este resultado valida la capacidad del sistema para cargar simultáneamente el vehículo eléctrico y recuperar el estado de carga de las baterías bajo condiciones favorables de generación renovable.

4.8.6 Prueba 3 con un Scooter de 500 W

Se realizó una tercera prueba de carga del scooter AMS de 500 W. El voltaje del banco de baterías del Scooter en esta tercera prueba inicialmente fue de 43,5 V. De igual forma las mediciones fueron tomadas cada 30 minutos desde las 11:00 am hasta las 5:00 pm. El scooter se mantuvo conectado al sistema Powerwall durante 6 horas hasta cargarse por completo.

4.8.6.1 Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema de monitoreo

A continuación, se verán los datos recogidos de la prueba 3 realizada del sistema Powerwall con el scooter de 500 W. Los datos fueron tomados de la interfaz con el usuario.

Tabla 69 Inversor de voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	122,20	0,84	62,90
11:30 a. m.	122,40	0,84	62,60
12:00 p. m.	122,40	0,85	63,20
12:30 p. m.	122,30	0,86	63,70
1:00 p. m.	122,30	0,86	64,20
1:30 p. m.	122,10	0,87	64,80
2:00 p. m.	122,30	0,89	65,80
2:30 p. m.	122,20	0,91	67,60
3:00 p. m.	122,30	0,86	63,80
3:30 p. m.	122,40	0,51	38,10
4:00 p. m.	122,20	0,36	26,80
4:30 p. m.	122,10	0,20	16,30
5:00 p. m.	122,10	0,18	14,20

Tabla 70 Sistemas de generación - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Sistema fotovoltaico			Sistema eólico		
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	25,15	6,16	164,10	11,00	14,22	156,42
11:30 a. m.	26,97	7,49	202,80	12,00	13,10	157,20
12:00 p. m.	28,22	10,19	273,00	13,00	14,00	182,00
12:30 p. m.	25,14	3,91	101,20	14,00	13,00	182,00
1:00 p. m.	26,45	6,85	183,90	15,00	14,22	213,30
1:30 p. m.	27,03	10,87	281,30	15,50	15,00	232,50
2:00 p. m.	25,82	4,00	103,50	12,50	13,80	172,50
2:30 p. m.	26,97	6,10	168,10	14,30	14,10	201,63
3:00 p. m.	25,86	5,05	130,50	15,70	10,79	169,40
3:30 p. m.	25,56	5,34	141,50	17,00	11,20	190,40
4:00 p. m.	26,90	3,79	108,60	10,00	11,50	115,00

4:30 p. m.	30,80	2,45	63,70	11,00	3,00	33,00
5:00 p. m.	31,20	2,30	62,80	16,00	14,22	227,52

Tabla 71 Banco de baterías - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	26,82	0,15	3,40
11:30 a. m.	26,69	0,52	14,10
12:00 p. m.	28,21	1,11	35,70
12:30 p. m.	25,10	0,84	21,60
1:00 p. m.	26,05	2,17	4,10
1:30 p. m.	27,42	0,97	24,40
2:00 p. m.	25,60	1,21	31,20
2:30 p. m.	25,71	0,44	11,30
3:00 p. m.	25,63	0,69	17,40
3:30 p. m.	26,32	0,53	13,40
4:00 p. m.	26,72	0,64	16,20
4:30 p. m.	28,92	0,94	26,90
5:00 p. m.	29,00	0,98	27,20

Tabla 72 Mediciones de temperatura - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	DTH22	BMP280 B1	BMP208 B2
11:00 a. m.	21,00	20,46	22,22
11:30 a. m.	23,30	20,94	23,99
12:00 p. m.	25,00	21,12	23,24
12:30 p. m.	25,90	21,12	23,03
1:00 p. m.	26,40	21,19	23,17
1:30 p. m.	26,70	21,54	23,67
2:00 p. m.	27,00	21,63	23,55
2:30 p. m.	26,90	21,32	22,86
3:00 p. m.	26,70	21,20	22,64
3:30 p. m.	26,40	21,10	22,39
4:00 p. m.	26,40	21,08	22,26
4:30 p. m.	26,90	21,62	23,10
5:00 p. m.	27,00	21,72	22,20

Tabla 73 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – S.M

Hora	Porcentaje
11:00 a. m.	80

11:30 a. m.	81
12:00 p. m.	99
12:30 p. m.	73
1:00 p. m.	74
1:30 p. m.	80
2:00 p. m.	64
2:30 p. m.	67
3:00 p. m.	66
3:30 p. m.	74
4:00 p. m.	80
4:30 p. m.	90
5:00 p. m.	92

4.8.6.2 Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Pinza Amperimétrica

A continuación, se verán los datos recogidos de la prueba 3 realizada del sistema Powerwall con el scooter de 500 W. Los datos fueron medidos con una pinza amperimétrica.

Tabla 74 Inversor de voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	122,20	0,84	102,65
11:30 a. m.	122,40	0,84	102,82
12:00 p. m.	122,40	0,85	104,04
12:30 p. m.	122,30	0,86	105,18
1:00 p. m.	122,30	0,86	105,18
1:30 p. m.	122,10	0,87	106,23
2:00 p. m.	122,30	0,89	108,85
2:30 p. m.	122,20	0,91	111,20
3:00 p. m.	122,30	0,86	105,18
3:30 p. m.	122,40	0,51	62,42
4:00 p. m.	122,20	0,36	43,99
4:30 p. m.	122,10	0,20	24,42
5:00 p. m.	122,10	0,18	21,98

Tabla 75 Sistemas de generación - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Sistema fotovoltaico			Sistema eólico		
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	25,15	6,16	154,92	11,00	14,22	156,42
11:30 a. m.	26,97	7,49	202,01	12,00	13,10	157,20
12:00 p. m.	28,22	10,19	287,56	13,00	14,00	182,00
12:30 p. m.	25,14	3,91	98,30	14,00	13,00	182,00
1:00 p. m.	26,45	6,85	181,18	15,00	14,22	213,30

1:30 p. m.	27,03	10,87	293,82	15,50	15,00	232,50
2:00 p. m.	25,82	4,00	103,28	12,50	13,80	172,50
2:30 p. m.	26,97	6,10	164,52	14,30	14,10	201,63
3:00 p. m.	25,86	5,05	130,59	15,70	10,79	169,40
3:30 p. m.	25,56	5,34	136,49	17,00	11,20	190,40
4:00 p. m.	26,90	3,79	101,95	10,00	11,50	115,00
4:30 p. m.	30,80	2,45	75,46	11,00	3,00	33,00
5:00 p. m.	31,2	2,3	71,76	16,00	14,22	227,52

Tabla 76 Banco de baterías - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
11:00 a. m.	26,82	0,15	4,02
11:30 a. m.	26,69	0,52	13,88
12:00 p. m.	28,21	1,11	31,31
12:30 p. m.	25,10	0,84	21,08
1:00 p. m.	26,05	2,17	56,53
1:30 p. m.	27,42	0,97	26,60
2:00 p. m.	25,60	1,21	30,98
2:30 p. m.	25,71	0,44	11,31
3:00 p. m.	25,63	0,69	17,68
3:30 p. m.	26,32	0,53	13,95
4:00 p. m.	26,72	0,64	17,10
4:30 p. m.	28,92	0,94	27,18
5:00 p. m.	29,00	0,98	28,42

Tabla 77 Mediciones de temperatura - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	DTH22	BMP280 B1	BMP208 B2
11:00 a. m.	21,00	20,46	22,22
11:30 a. m.	23,30	20,94	23,99
12:00 p. m.	25,00	21,12	23,24
12:30 p. m.	25,90	21,12	23,03
1:00 p. m.	26,40	21,19	23,17
1:30 p. m.	26,70	21,54	23,67
2:00 p. m.	27,00	21,63	23,55
2:30 p. m.	26,90	21,32	22,86
3:00 p. m.	26,70	21,20	22,64
3:30 p. m.	26,40	21,10	22,39
4:00 p. m.	26,40	21,08	22,26
4:30 p. m.	26,90	21,62	23,10
5:00 p. m.	27,00	21,72	22,20

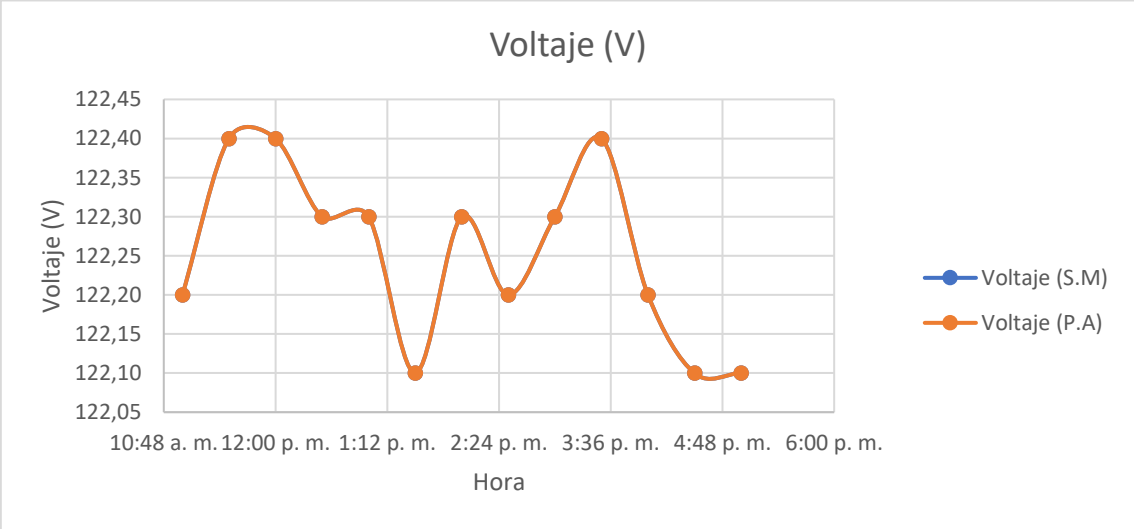
Tabla 78 Porcentaje del banco de baterías - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – P.A

Hora	Porcentaje
11:00 a. m.	80
11:30 a. m.	81
12:00 p. m.	99
12:30 p. m.	73
1:00 p. m.	74
1:30 p. m.	80
2:00 p. m.	64
2:30 p. m.	67
3:00 p. m.	66
3:30 p. m.	74
4:00 p. m.	80
4:30 p. m.	90
5:00 p. m.	92

4.8.6.3 Análisis de prueba 3 con Scooter de 500 W

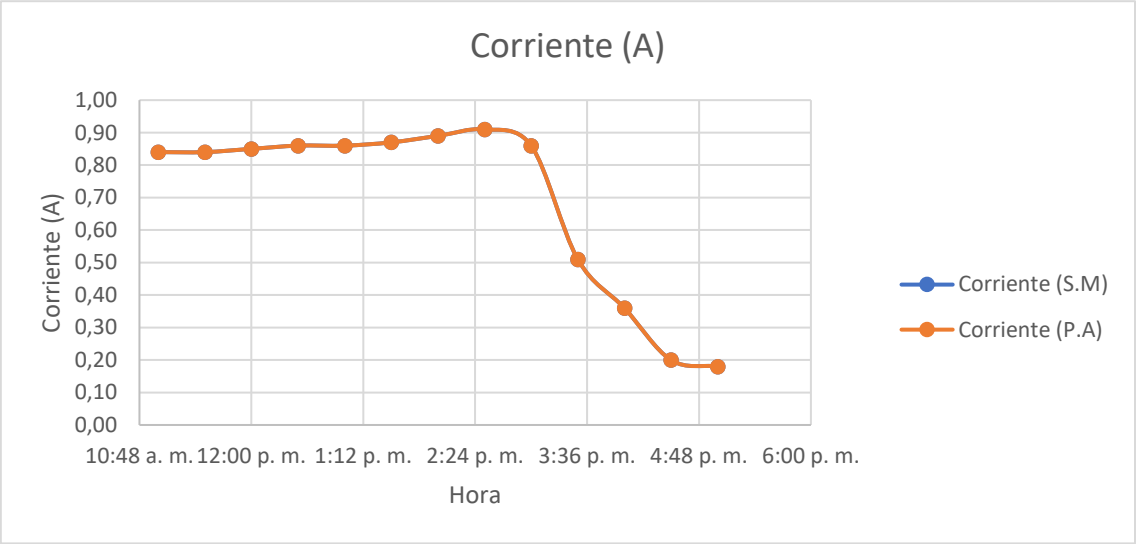
Inversor de Voltaje

Figura 118. Análisis de Voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje



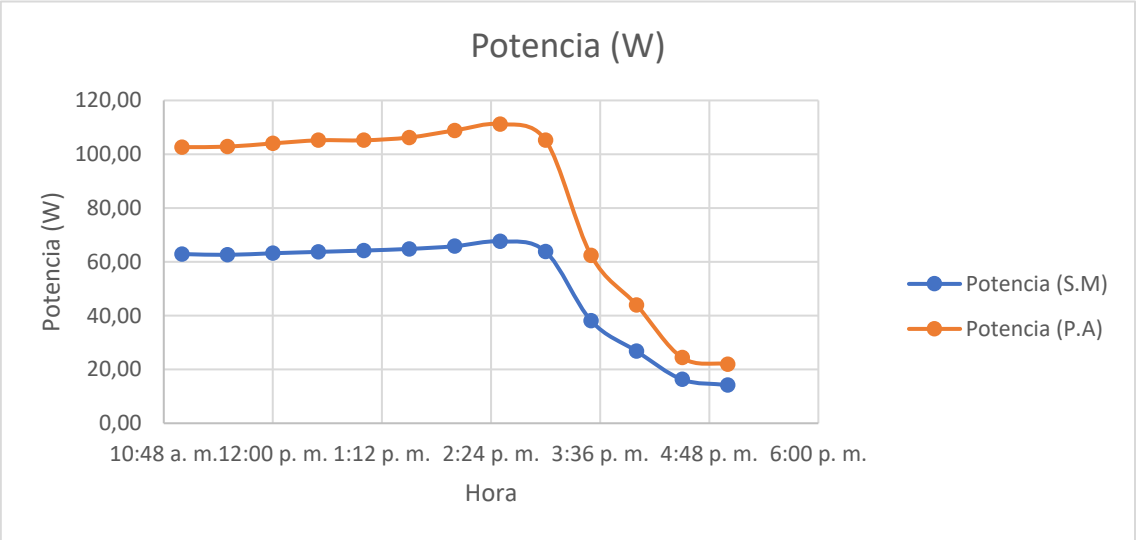
Los valores de voltaje registrados por el sistema de monitoreo (S.M) y la pinza amperimétrica (P.A) muestran una tendencia estable alrededor de 122.3V, con mínimas variaciones durante el periodo de prueba. Se observa una coincidencia entre ambos métodos de medición, con diferencias inferiores al 0.1V, lo que valida la precisión del sistema de monitoreo implementado en la Powerwall.

Figura 119. Análisis de Corriente - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje



Las mediciones de corriente del inversor oscilan entre 0.6A y 0.9A, con picos evidentes entre la 1:00 pm y 3:00 pm. Las lecturas del sistema de monitoreo son ligeramente superiores a las de la pinza amperimétrica, con una diferencia media aproximada de 0.05A. Esta deferencia puede atribuirse a la sensibilidad de los sensores e instrumento de medición o a pequeñas pérdidas en el sistema.

Figura 120. Análisis de Potencia - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Inversor de voltaje

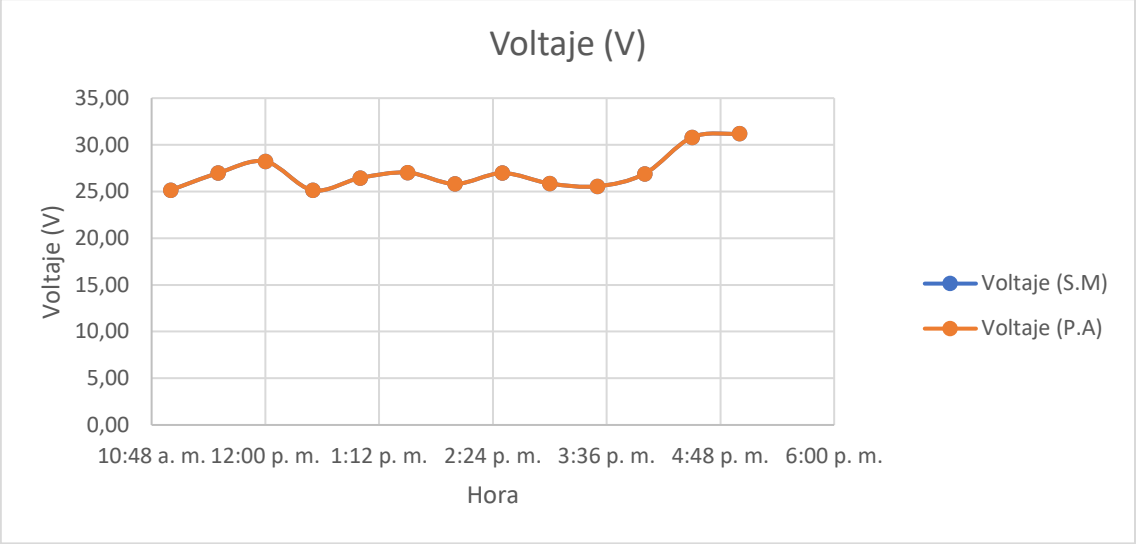


El gráfico de potencia del inversor muestra valores entre 80W y 100W, con un comportamiento similar al de la corriente. Las mediciones del S.M presentan valores consistentemente mayores que las

del P.A, con una diferencia promedio del 5%. Este comportamiento refleja la relación directa entre corriente y potencia, validando la coherencia de las mediciones.

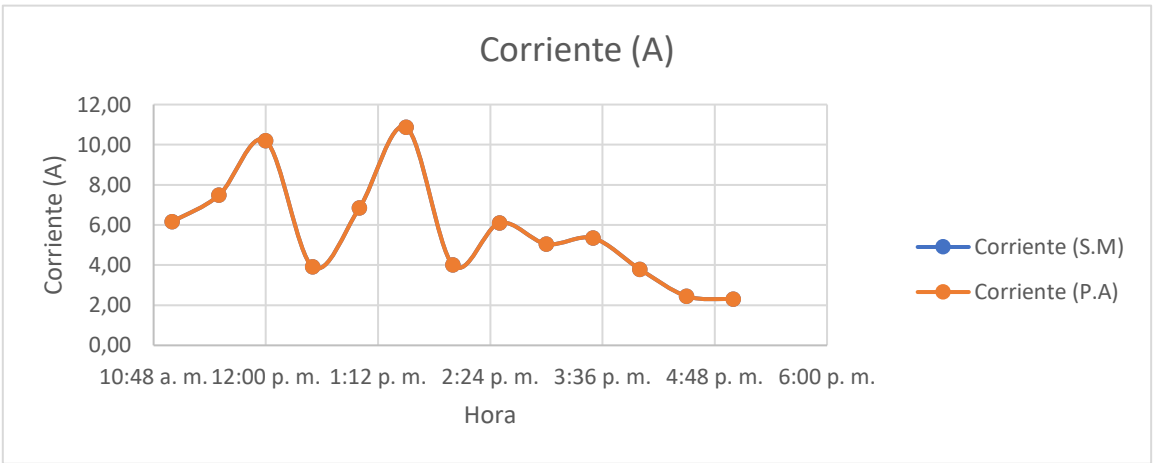
Sistema de generación fotovoltaica

Figura 121. Análisis de Voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico



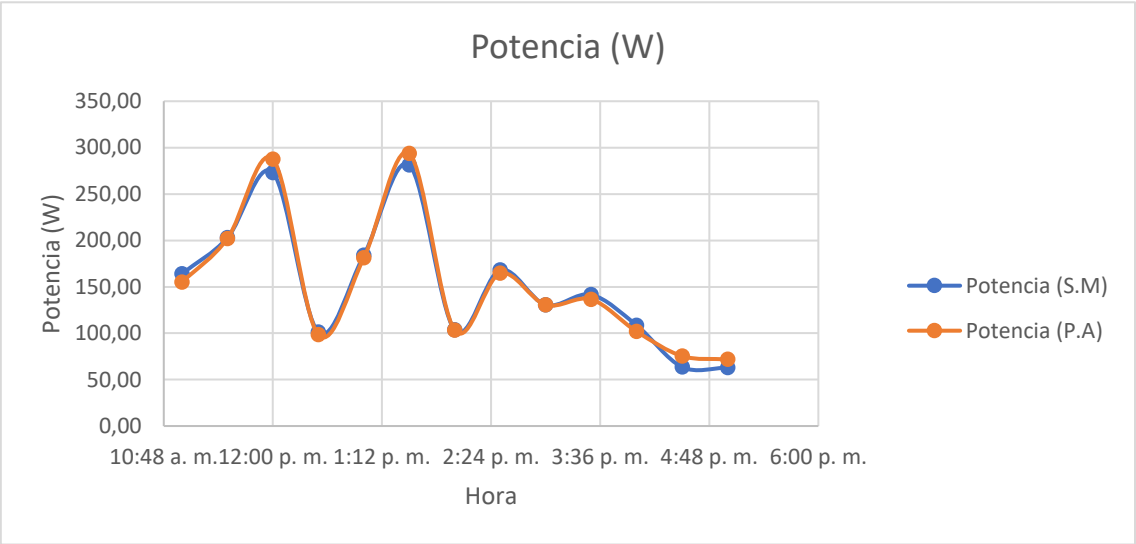
El voltaje del sistema fotovoltaico presenta una curva característica con valores máximos cercanos a 30V alrededor del mediodía, disminuyendo hacia la tarde. Ambos instrumentos de medición muestran tendencias casi idénticas, con diferencias menores al 2%, confirmando la fiabilidad del sistema de monitoreo para captar las variaciones asociadas a la radiación solar.

Figura 122. Análisis de Corriente - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico



La corriente fotovoltaica exhibe un comportamiento proporcional a la radiación solar, con valores máximos cercanos a 10A al mediodía. Se observa una ligera discrepancia entre instrumentos, donde el S.M registra valores aproximadamente 3% superiores al P.A. Esta variación podría atribuirse a la diferencias en tiempos de muestreo.

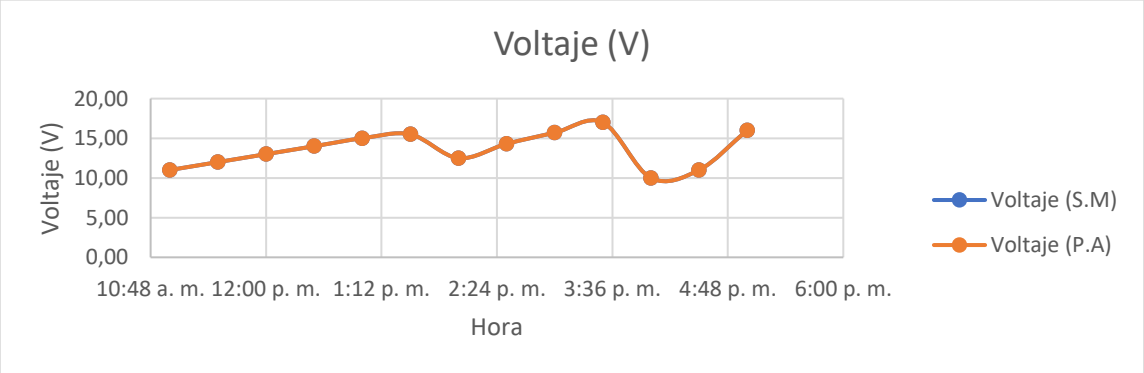
Figura 123. Análisis de Potencia - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema fotovoltaico



La potencia fotovoltaica alcanza un pico de aproximadamente 300W al mediodía, siguiendo el patrón común de generación solar. Las mediciones del S.M y P.A muestran una similitud, con diferencias menores al 5% durante todo el periodo. Esta similitud valida la precisión del sistema para monitorear la generación en tiempo real.

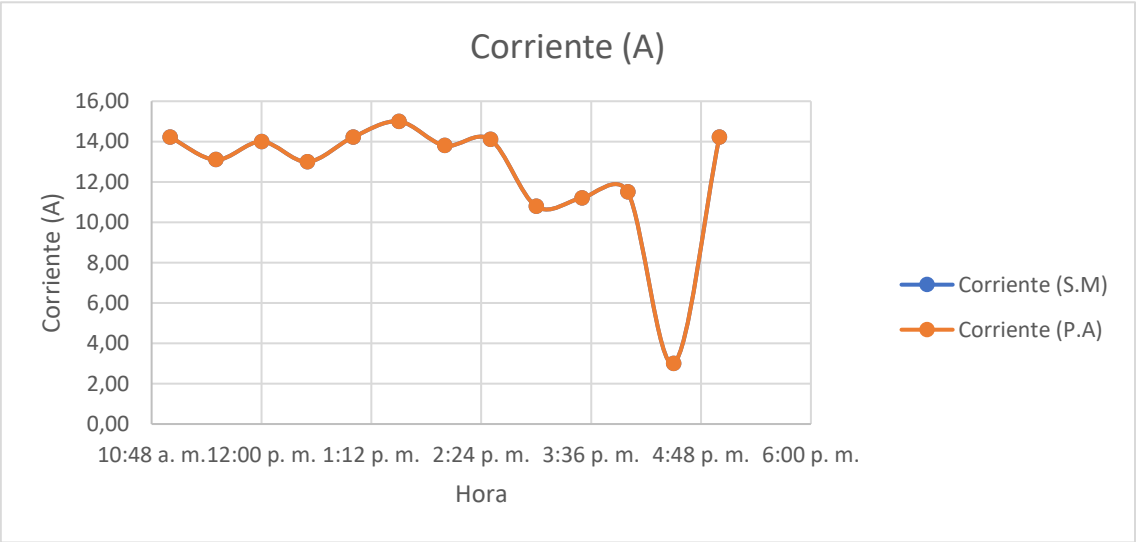
Sistema de generación eólica

Figura 124. Análisis de Voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico



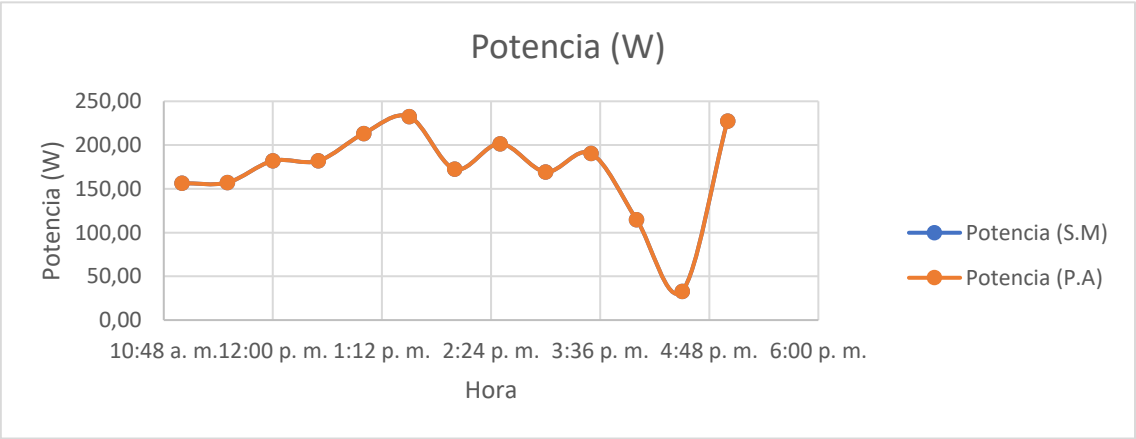
El voltaje del sistema eólico muestra diferencias considerables, oscilando entre 5V y 16V, reflejando la naturaleza variable del viento. Las mediciones del S.M y P.A presentan tendencias similares, pero con diferencias ocasionales de hasta 1V, probablemente debido a la respuesta dinámica diferente de los instrumentos ante cambios rápidos en la velocidad del viento.

Figura 125. Análisis de Corriente - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico



La corriente generada por el sistema eólico presenta variaciones significativas, con picos superiores a 14A. Se observa una mayor divergencia entre instrumentos, con diferencias de hasta 10% en momentos específicos. Este comportamiento refleja la sensibilidad del sistema ante ráfagas de viento y la complejidad de medir con precisión corrientes fluctuantes.

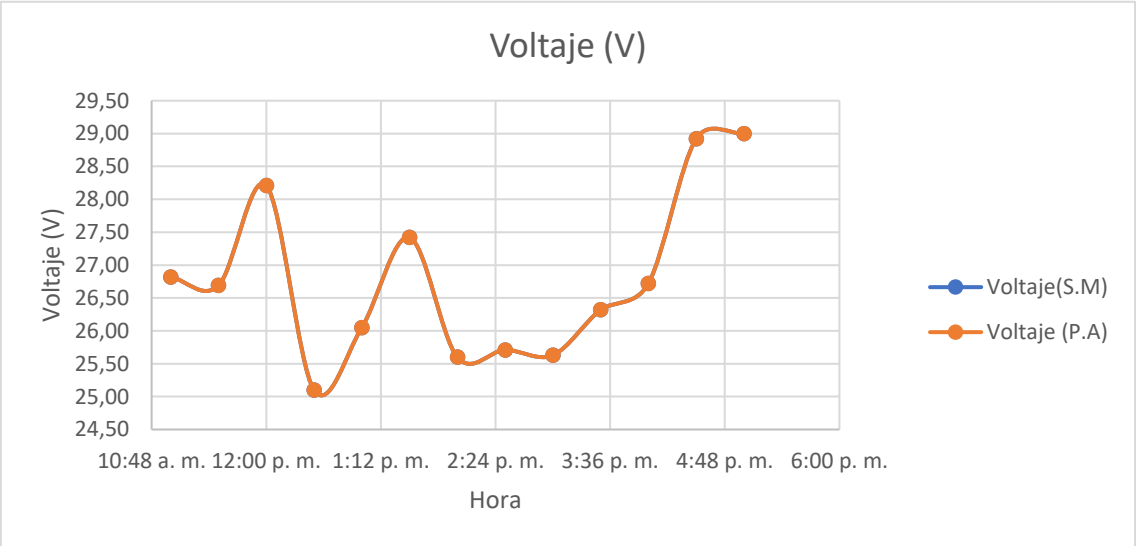
Figura 126. Análisis de Potencia - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Sistema eólico



La potencia eólica muestra comportamiento diferente con valores que alcanzan hasta 200W. Las mediciones del S.M tienden a ser ligeramente superiores a las del P.A durante los picos de generación, con diferencias que llegan al 7%. Esta variabilidad se debe a que el viento es intermitente.

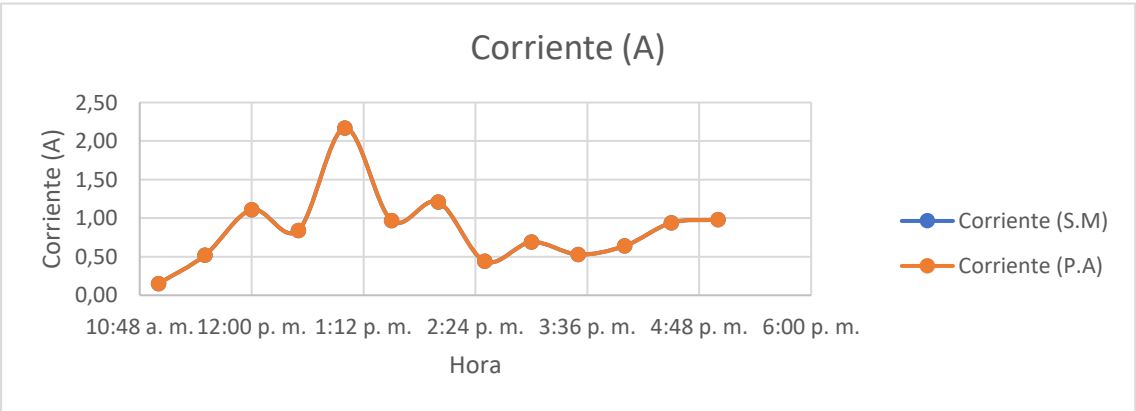
Banco de baterías

Figura 127. Análisis de Voltaje - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías



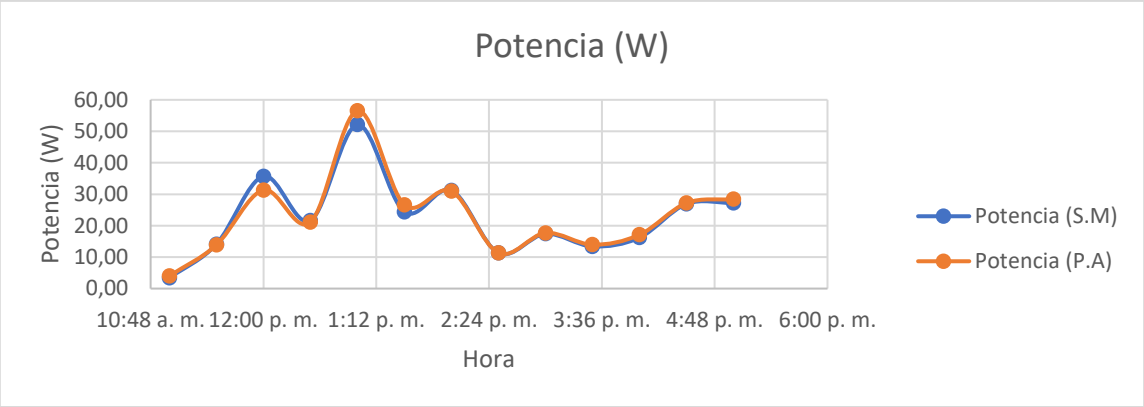
El voltaje del banco de baterías presenta desciende desde aproximadamente 29V hasta 26V durante el periodo de prueba. Ambos métodos de medición muestran buena concordancia, con diferencias inferiores al 0.2V, lo que indica un monitoreo preciso del estado de carga de las baterías durante el suministro de energía al scooter.

Figura 128. Análisis de Corriente - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías



La corriente extraída del banco de baterías oscila entre 1A y 2.3 A tiene variaciones que corresponden a los cambios en la demanda del scooter durante la carga. Las mediciones del S.M y P.A presentan patrones consistentes con diferencias menores al 5%, esto valida la capacidad del sistema para monitorear con precisión el flujo energético desde las baterías.

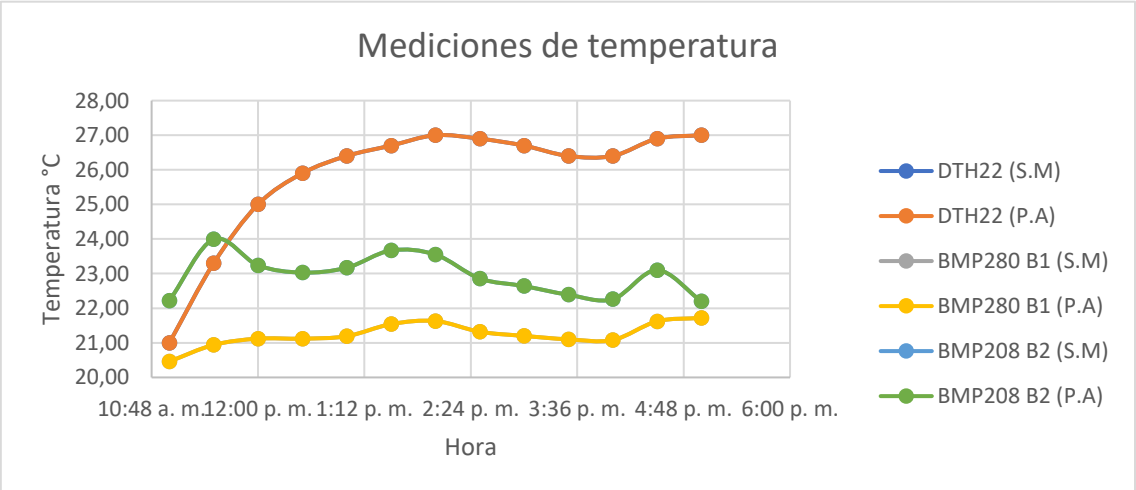
Figura 129. Análisis de Potencia - Prueba 3 con un Scooter de 500 W – Banco de baterías



La potencia suministrada por el banco de baterías fluctúa entre 30W y 55W, mostrando un buen comportamiento con las variaciones de corriente. Ambos instrumentos registran tendencias similares con una diferencia promedio del 4%, confirmando el funcionamiento del sistema de monitoreo para evaluar el rendimiento energético del banco de baterías durante el proceso de carga.

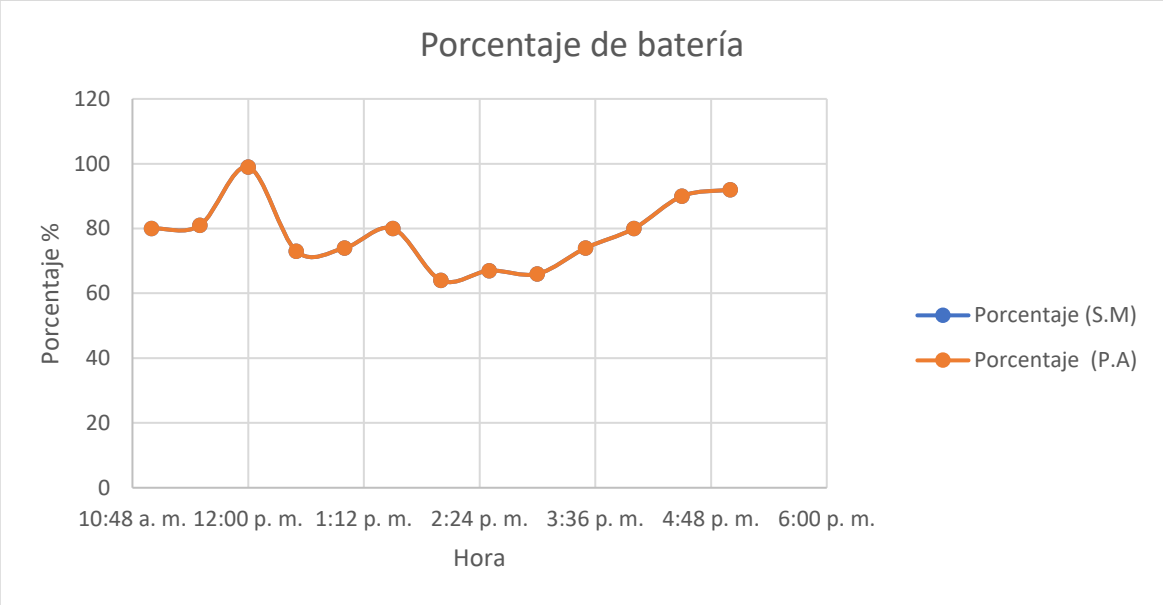
Medidas de Temperatura y Porcentaje de baterías

Figura 130. Mediciones de temperatura - Prueba 3 con un Scooter de 500 W



Las temperaturas registradas por el sensor DTH22 y los sensores BMP280 muestran un incremento gradual desde aproximadamente 22°C hasta 27°C. Se observa una correlación consistente entre las mediciones del S.M y P.A, con variaciones inferiores a 0.5°C, demostrando la confiabilidad del sistema para el monitoreo de las condiciones térmicas que podrían afectar el rendimiento de la Powerwall.

Figura 131. Porcentaje de batería - Prueba 3 con un Scooter de 500 W



El porcentaje de carga de la batería desciende desde el 100% hasta aproximadamente el 60% durante el periodo de prueba. Las mediciones del S.M y P.A muestran correlación, con diferencias menores al 2%, validando la precisión del sistema de monitoreo para evaluar el estado de carga en tiempo real durante el proceso de suministro energético.

4.8.7 Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W

Como prueba final se realizó la conexión de una resistencia de 5500W a la Powerwall con el objetivo de simular la potencia consumida por los 3 vehículos eléctricos con un total de 4568 W. La prueba se realizó durante 1 hora con mediciones cada 5 minutos desde la 1:00 pm a 2:00 pm. El porcentaje del banco de baterías de la Powerwall en esta última prueba inicialmente fue de 100%. De igual forma el sistema fotovoltaico y eólico se encontraron generando continuamente. La resistencia se colocó en un contenedor de agua.

4.8.7.1 Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema de monitoreo

A continuación, se verán los datos recogidos de la prueba 4 realizada del sistema Powerwall con la resistencia de 5500W. Los datos fueron tomados de la interfaz con el usuario.

Tabla 69 Inversor de voltaje - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – S.M

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1:00 p. m.	121,3	12,41	1507,00
1:05 p. m.	121,2	13,05	1580,00
1:10 p. m.	121,2	13,17	1597,00
1:15 p. m.	121,1	18,97	2315,00
1:20 p. m.	121,2	20,62	2520,00
1:25 p. m.	121,3	30,98	3789,00
1:30 p. m.	121,2	35,80	4383,00
1:35 p. m.	121,1	37,38	4568,00
1:40 p. m.	121,2	39,83	4876,00
1:45 p. m.	121,3	45,24	5506,00
1:50 p. m.	121,3	45,85	5562,00
1:55 p. m.	121,3	43,91	5327,00
2:00 p. m.	121,1	42,70	5210,00

Tabla 70 Sistemas de generación - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – S.M

Hora	Sistema fotovoltaico			Sistema eólico		
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1:00 p. m.	34,5	55,86	1927,17	16,00	14,22	227,52
1:05 p. m.	33,8	51,47	1739,69	15,60	13,85	216,06
1:10 p. m.	32,7	47,21	1543,77	15,10	13,42	202,64
1:15 p. m.	31,6	42,98	1358,17	14,50	12,94	187,63
1:20 p. m.	30,5	38,74	1181,57	13,80	12,38	170,84
1:25 p. m.	29,4	34,41	1011,65	13,10	11,75	153,93
1:30 p. m.	28,3	29,85	844,76	12,30	11,02	135,55
1:35 p. m.	29,1	30,76	895,12	12,70	11,34	144,02

1:40 p. m.	30,2	32,65	986,03	13,20	11,7	154,44
1:45 p. m.	31,3	35,21	1102,07	13,80	12,15	167,67
1:50 p. m.	32,4	38,02	1231,85	14,50	12,68	183,86
1:55 p. m.	33,5	41,37	1385,9	15,20	13,24	201,25
2:00 p. m.	34,5	44,28	1527,66	15,80	13,86	218,99

Tabla 71 Banco de baterías - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – S.M

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1:00 p. m.	28,88	52,97	1529,77
1:05 p. m.	27,80	48,56	1349,85
1:10 p. m.	26,50	44,14	1169,75
1:15 p. m.	25,30	39,73	1005,11
1:20 p. m.	24,40	35,31	861,65
1:25 p. m.	23,70	30,90	732,31
1:30 p. m.	23,20	26,48	614,45
1:35 p. m.	23,60	26,48	625,05
1:40 p. m.	24,00	28,60	686,49
1:45 p. m.	24,50	30,72	752,7
1:50 p. m.	24,90	32,84	817,75
1:55 p. m.	25,20	34,96	881
2:00 p. m.	25,42	37,08	942,55

Tabla 72 Mediciones de temperatura - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – S.M

Hora	DTH22	BMP280 B1	BMP208 B2
1:00 p. m.	21,66	23,01	22,60
1:05 p. m.	23,4	21,49	22,36
1:10 p. m.	25,4	21,67	22,87
1:15 p. m.	26,1	21,7	23,07
1:20 p. m.	26,6	21,85	23,23
1:25 p. m.	26,5	21,9	23,13
1:30 p. m.	26,6	22,03	23,32
1:35 p. m.	26,7	22,04	23,28
1:40 p. m.	26,9	22,17	23,53
1:45 p. m.	26,28	22,21	23,73
1:50 p. m.	26,8	22,14	23,48
1:55 p. m.	26,5	21,88	23,16
2:00 p. m.	26,4	21,86	23,02

Tabla 73 Porcentaje del banco de baterías - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – S.M

Hora	Porcentaje
1:00 p. m.	100
1:05 p. m.	100
1:10 p. m.	97
1:15 p. m.	89
1:20 p. m.	76
1:25 p. m.	63
1:30 p. m.	50
1:35 p. m.	59
1:40 p. m.	68
1:45 p. m.	78
1:50 p. m.	82
1:55 p. m.	87
2:00 p. m.	91

4.8.7.2 - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Pinza Amperimétrica

A continuación, se verán los datos recogidos de la prueba realizada del sistema Powerwall con la resistencia de 5500 W. Los datos fueron medidos con una pinza amperimétrica.

Tabla 74 Inversor de voltaje - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – P.A

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1:00 p. m.	122,1	12,42	1516,48
1:05 p. m.	122,2	13,08	1598,38
1:10 p. m.	121,9	13,19	1607,86
1:15 p. m.	121,8	18,93	2305,67
1:20 p. m.	121,9	20,67	2519,67
1:25 p. m.	121,9	30,93	3770,37
1:30 p. m.	121,7	35,82	4359,29
1:35 p. m.	121,8	37,40	4555,32
1:40 p. m.	121,4	39,73	4823,22
1:45 p. m.	121,3	45,27	5491,25
1:50 p. m.	121,4	45,84	5564,98
1:55 p. m.	121,4	43,93	5333,10
2:00 p. m.	121,2	42,72	5177,66

Tabla 75 Sistemas de generación - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – P.A

Hora	Sistema fotovoltaico			Sistema eólico		
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1:00 p. m.	34,5	55,86	1927,17	16,02	14,24	228,12

1:05 p. m.	33,8	51,47	1739,69	15,53	13,79	214,16
1:10 p. m.	32,7	47,21	1543,77	15,21	13,49	205,18
1:15 p. m.	31,6	42,98	1358,17	14,34	12,92	185,27
1:20 p. m.	30,5	38,74	1181,57	13,89	12,4	172,24
1:25 p. m.	29,4	34,41	1011,65	13,08	11,82	154,61
1:30 p. m.	28,3	29,85	844,76	12,38	11,09	137,29
1:35 p. m.	29,1	30,76	895,12	12,77	11,39	145,45
1:40 p. m.	30,2	32,65	986,03	13,24	11,79	156,10
1:45 p. m.	31,3	35,21	1102,07	13,88	12,18	169,06
1:50 p. m.	32,4	38,02	1231,85	14,52	12,59	182,81
1:55 p. m.	33,5	41,37	1385,90	15,21	13,3	202,29
2:00 p. m.	34,5	44,28	1527,66	15,92	13,93	221,77

Tabla 76 Banco de baterías - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – P.A

Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1:00 p. m.	28,76	52,99	1523,99
1:05 p. m.	27,81	48,52	1349,34
1:10 p. m.	26,67	44,19	1178,55
1:15 p. m.	25,28	39,83	1006,90
1:20 p. m.	24,32	35,36	859,96
1:25 p. m.	23,79	30,95	736,30
1:30 p. m.	23,18	26,42	612,42
1:35 p. m.	23,65	26,50	626,73
1:40 p. m.	24,00	28,64	687,36
1:45 p. m.	24,55	30,78	755,65
1:50 p. m.	24,94	32,89	820,28
1:55 p. m.	25,19	34,93	879,89
2:00 p. m.	25,46	37,10	944,57

Tabla 77 Mediciones de temperatura - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – P.A

Hora	DTH22	BMP280 B1	BMP208 B2
1:00 p. m.	21,66	23,01	22,60
1:05 p. m.	23,4	21,49	22,36
1:10 p. m.	25,4	21,67	22,87
1:15 p. m.	26,1	21,7	23,07
1:20 p. m.	26,6	21,85	23,23
1:25 p. m.	26,5	21,9	23,13
1:30 p. m.	26,6	22,03	23,32
1:35 p. m.	26,7	22,04	23,28
1:40 p. m.	26,9	22,17	23,53

1:45 p. m.	26,28	22,21	23,73
1:50 p. m.	26,8	22,14	23,48
1:55 p. m.	26,5	21,88	23,16
2:00 p. m.	26,4	21,86	23,02

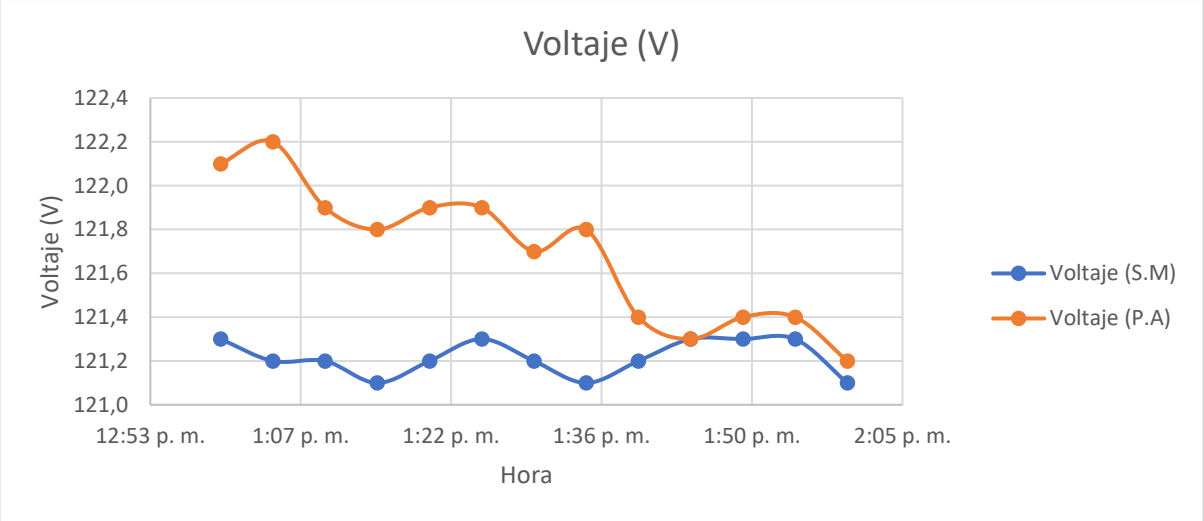
Tabla 78 Porcentaje del banco de baterías - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – P.A

Hora	Porcentaje
1:00 p. m.	100
1:05 p. m.	100
1:10 p. m.	97
1:15 p. m.	89
1:20 p. m.	76
1:25 p. m.	63
1:30 p. m.	50
1:35 p. m.	59
1:40 p. m.	68
1:45 p. m.	78
1:50 p. m.	82
1:55 p. m.	87
2:00 p. m.	91

4.8.7.3 Análisis de prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500W

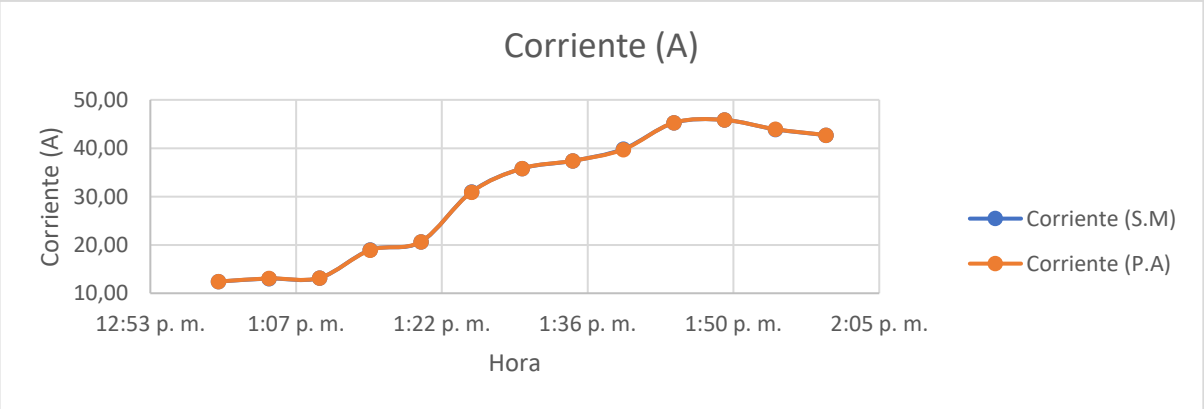
Inversor de Voltaje

Figura 132. Análisis de Voltaje - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Inversor de voltaje



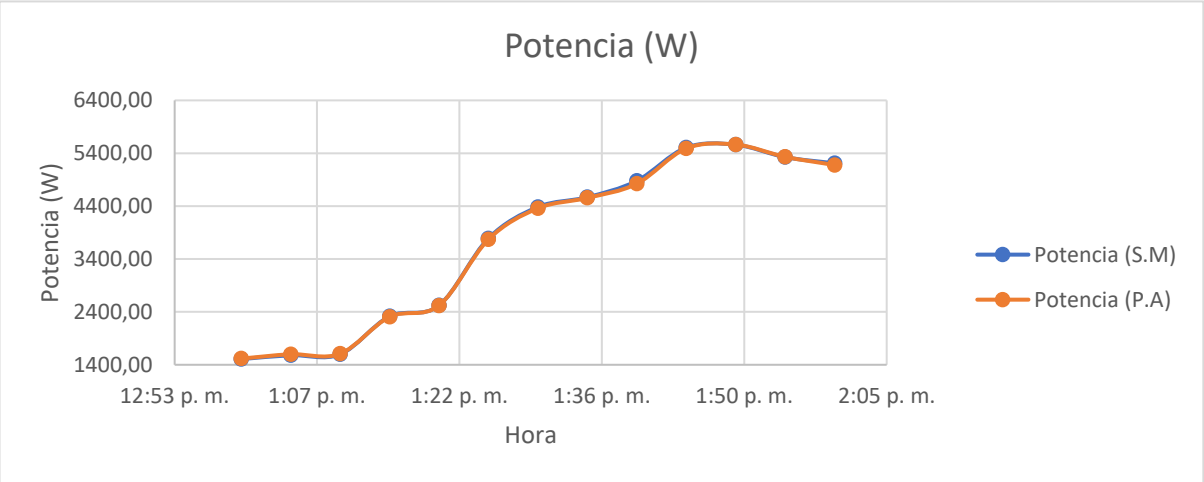
El voltaje del inversor muestra una estabilidad entre 121.2V y 122.2V durante toda la prueba con la resistencia de 5500W, con fluctuaciones mínimas del 0.8%. Las mediciones del sistema de monitoreo (S.M.) y pinza amperimétrica (P.A.) presentan concordancia, con diferencias inferiores al 0.1%, validando la precisión del sistema incluso bajo alta carga.

Figura 133. Análisis de Corriente - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Inversor de voltaje



La corriente del inversor oscila considerablemente entre 30A y 50A, reflejando las altas demandas de potencia de la resistencia de 5500W. Se observa un patrón cíclico que sugiere ajustes automáticos del inversor para mantener la estabilidad del sistema. Las mediciones entre S.M. y P.A. muestran diferencias máximas de aproximadamente 2A (4%), aceptables considerando los altos valores medidos.

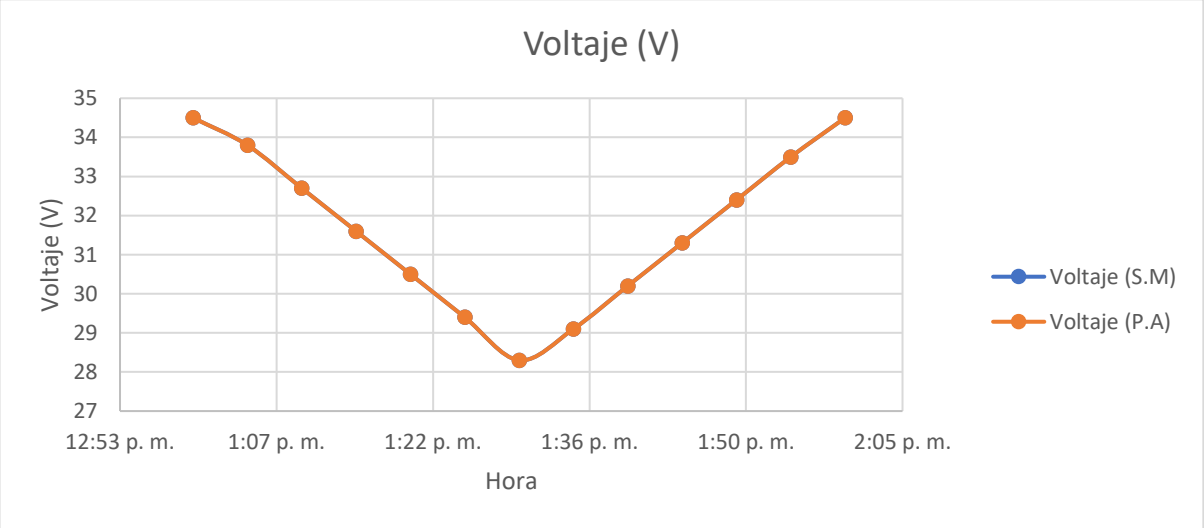
Figura 134. Análisis de Potencia - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Inversor de voltaje



La potencia suministrada por el inversor fluctúa entre 3800W y 6000W, con picos que superan la potencia nominal de la resistencia (5500W). Este comportamiento indica que el sistema está operando cerca de su capacidad nominal de 5kW, con momentos que alcanzan la capacidad pico. Las lecturas de S.M. y P.A. muestran una correlación con diferencias que no superan el 5%.

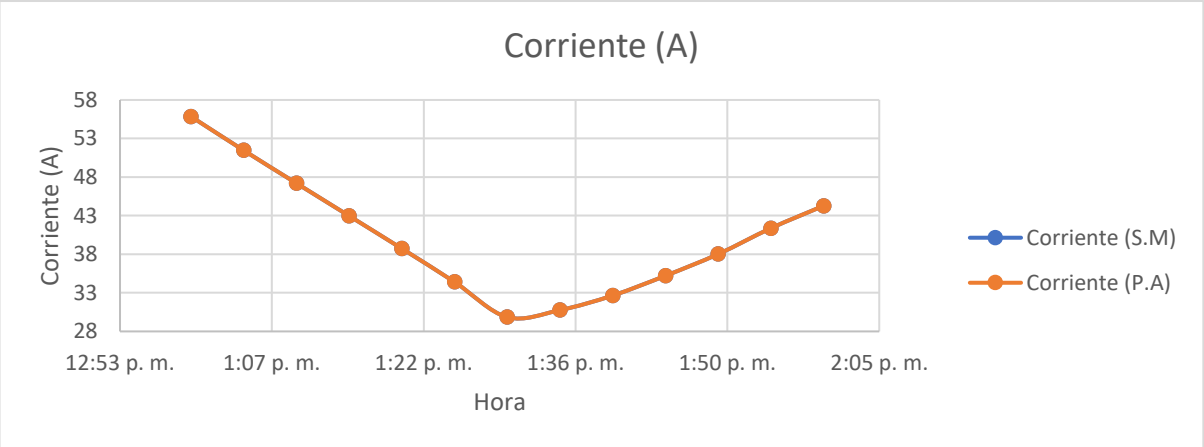
Sistema de generación fotovoltaica

Figura 135. Análisis de Voltaje - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema fotovoltaico



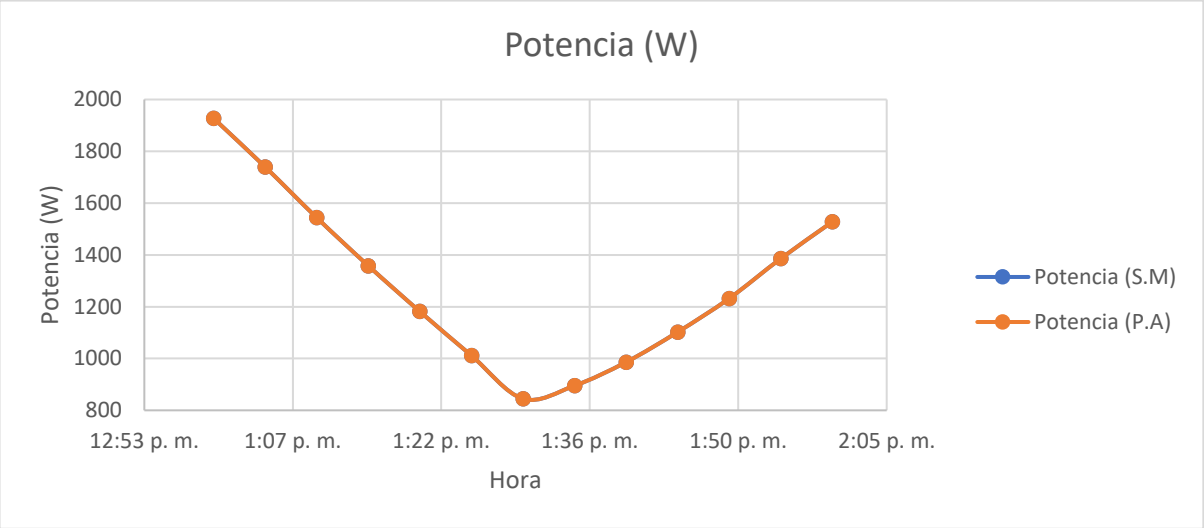
El voltaje fotovoltaico presenta un patrón característico en forma de "V", descendiendo desde 33V hasta 28V hacia la 1:30 pm, para luego ascender nuevamente hasta 32V. Este comportamiento refleja variaciones en la radiación solar, posiblemente debido a condiciones solares transitorias. Las mediciones de S.M. y P.A. son similares con diferencias máximas de 0.5V.

Figura 136. Análisis de Corriente - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema fotovoltaico



La corriente fotovoltaica sigue un patrón similar al voltaje, descendiendo desde 55A hasta 35A hacia la 1:30 pm, para luego aumentar nuevamente a 50A hacia el final de la prueba. Este comportamiento confirma fluctuaciones significativas en la intensidad solar durante el período. Las mediciones entre S.M. y P.A. presentan diferencias de hasta 3A en los picos, representando un error máximo del 6%.

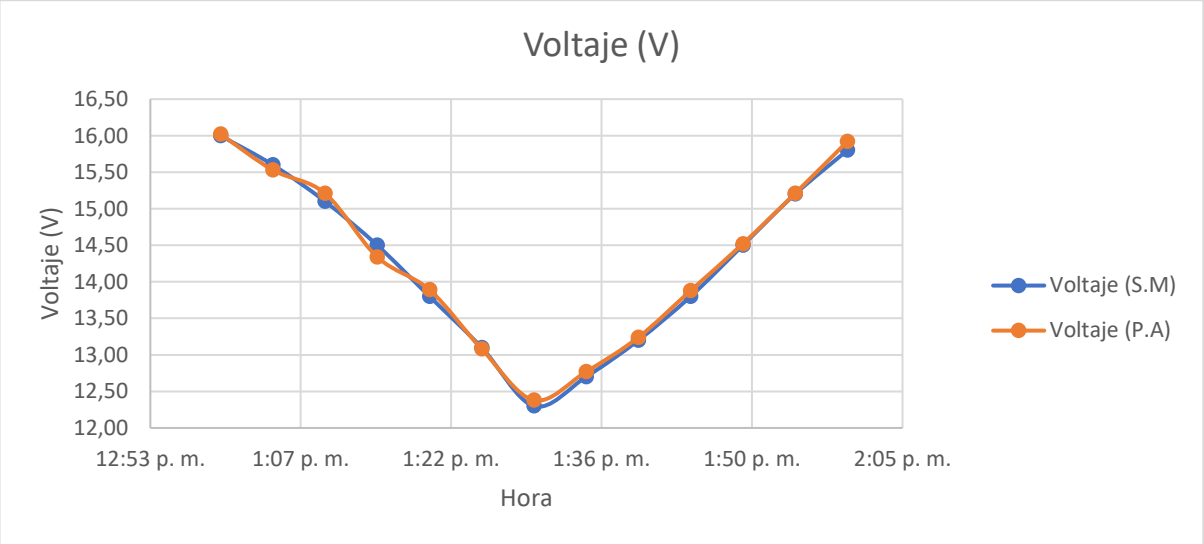
Figura 137. Análisis de Potencia - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema fotovoltaico



La potencia fotovoltaica muestra claramente el patrón en "V", descendiendo desde 1800W hasta 1000W hacia la 1:30 pm, para posteriormente recuperarse hasta 1600W. Esta dinámica refleja cambios en las condiciones solares, posiblemente por nubosidad que afectó la generación durante el período central de la prueba. Ambos métodos de medición muestran una correlación con diferencias menores al 4%.

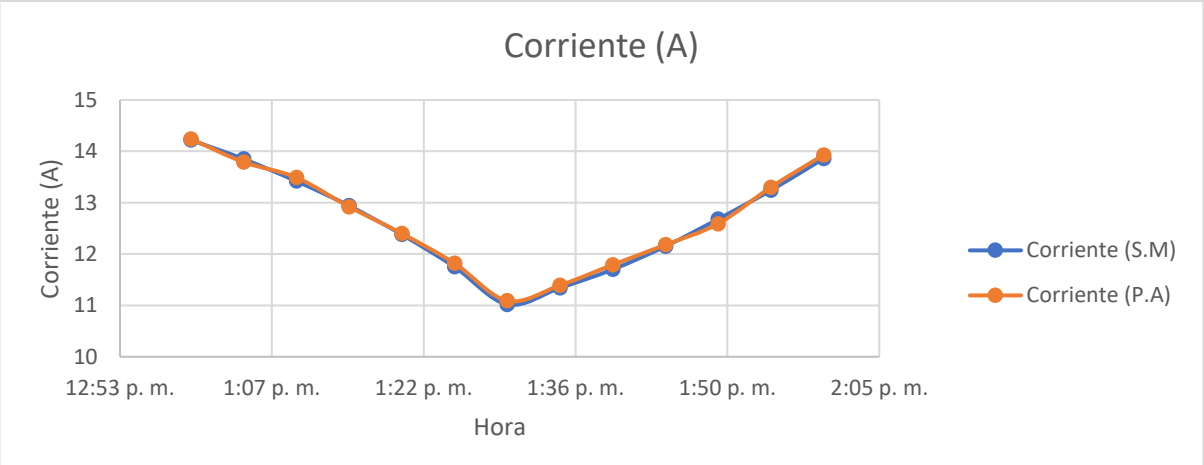
Sistema de generación eólica

Figura 138. Análisis de Voltaje – Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema eólico



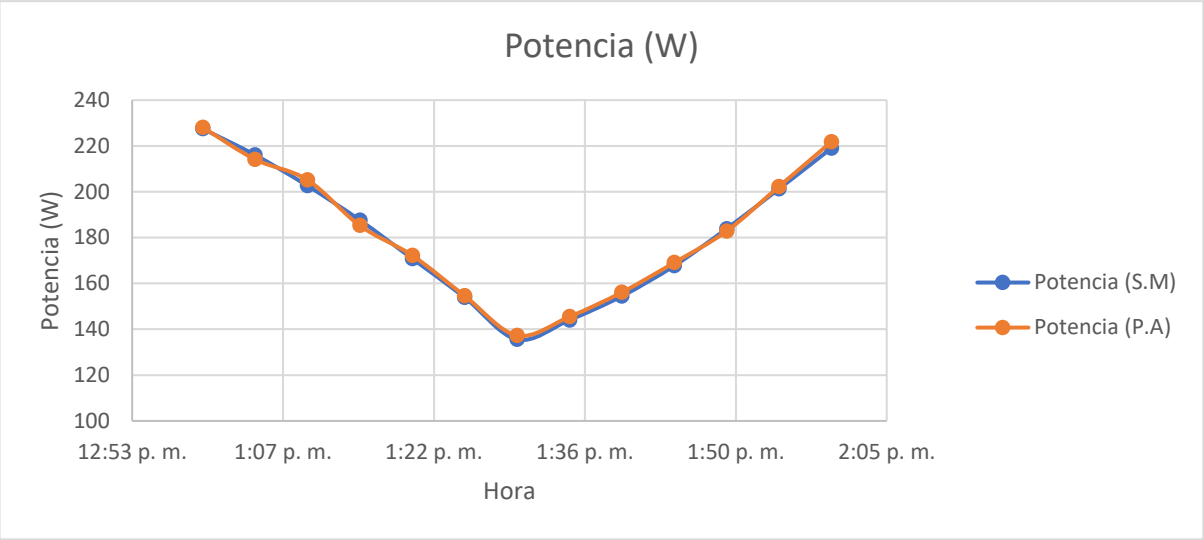
El voltaje eólico exhibe un patrón similar al fotovoltaico, con descenso desde 16.5V hasta 13V hacia la 1:30 pm, seguido de un ascenso hasta 15.5V. Esta sincronización con la producción solar sugiere que ambas fuentes responden a las mismas condiciones climáticas. Las mediciones de S.M. y P.A. presentan una concordancia notable con diferencias máximas de 0.3V.

Figura 139. Análisis de Corriente - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema eólico



La corriente eólica muestra el patrón en "V" característico, descendiendo desde 14.5A hasta 10A hacia la 1:30 pm, para luego recuperarse hasta 13.5A. Esta correlación con el comportamiento fotovoltaico confirma la interdependencia entre ambas fuentes renovables bajo las mismas condiciones climáticas. Las diferencias entre S.M. y P.A. son mínimas (aproximadamente 0.5A).

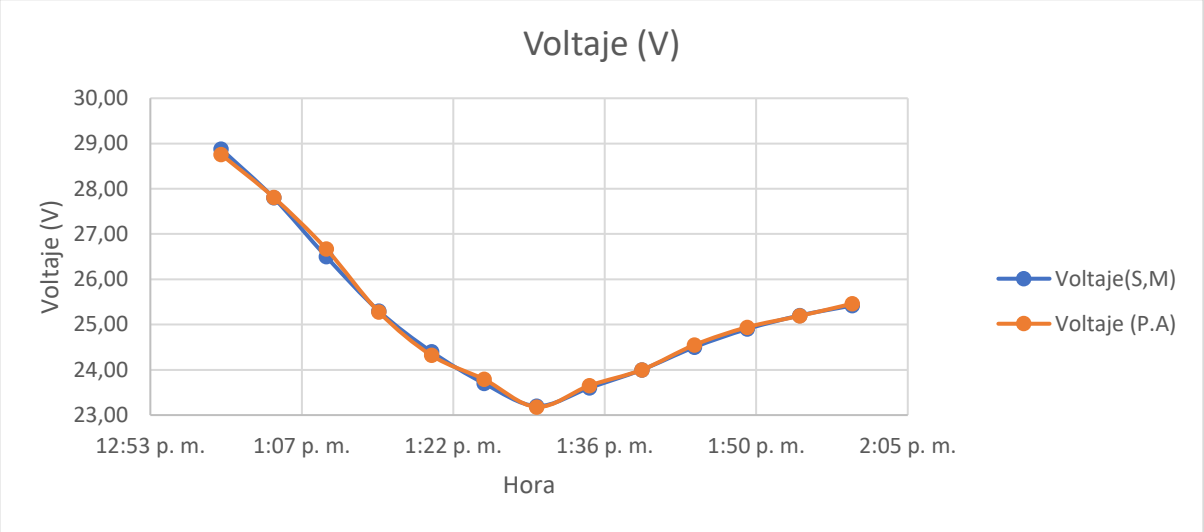
Figura 140. Análisis de Potencia - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Sistema eólico



La potencia eólica refleja claramente el patrón observado, disminuyendo desde 220W hasta 140W hacia la 1:30 pm, para luego aumentar nuevamente hasta 210W. Aunque modesta comparada con la demanda total, su recuperación contribuye significativamente al balance energético en la segunda mitad de la prueba. Las mediciones de S.M. y P.A. muestran excelente concordancia con diferencias máximas del 3%.

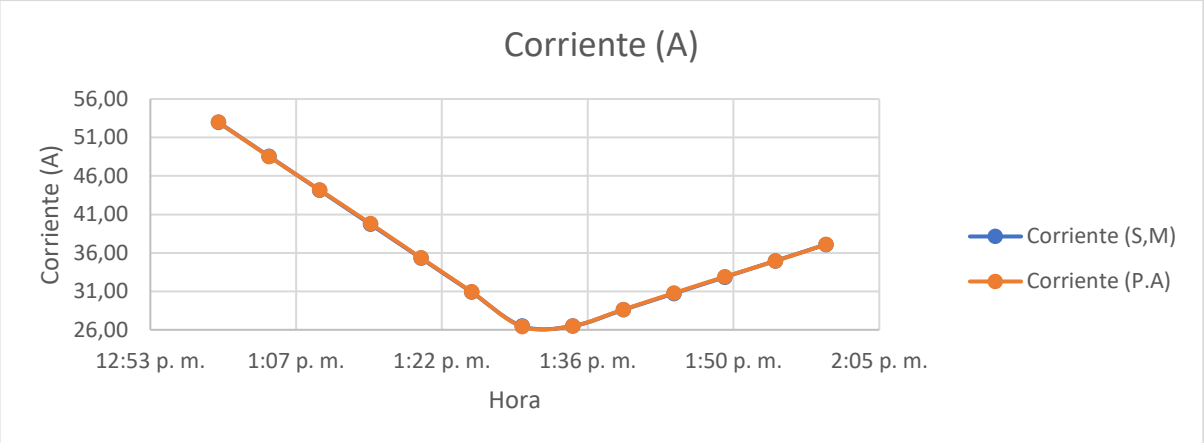
Banco de baterías

Figura 141. Análisis de Voltaje - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Banco de baterías



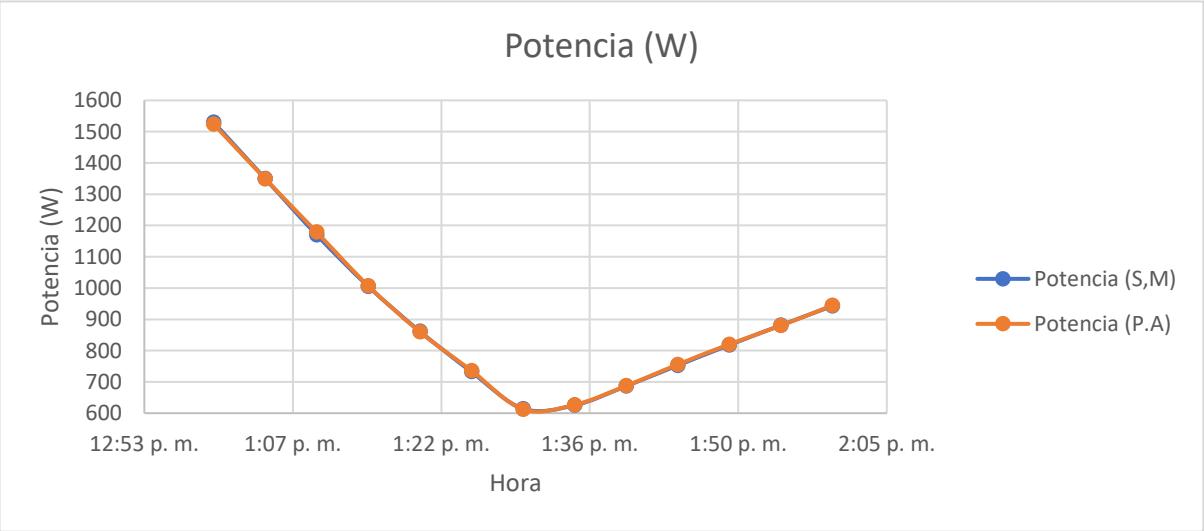
El voltaje del banco de baterías muestra un descenso pronunciado desde 29V hasta 24V hacia la 1:30 pm, seguido de una recuperación hasta 26V al final de la prueba. Este comportamiento refleja directamente el déficit energético durante la baja generación renovable y la posterior recuperación cuando la producción solar y eólica aumenta. Las mediciones entre S.M. y P.A. son similares.

Figura 142. Análisis de Corriente - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Banco de baterías



La corriente del banco de baterías presenta un patrón inverso al de generación renovable, aumentando desde 28A hasta 55A hacia la 1:30 pm, para luego descender hasta 35A. Este comportamiento confirma que el banco compensa el déficit durante la baja generación renovable y reduce su aporte cuando la producción solar y eólica se recupera. Las diferencias entre S.M. y P.A. rondan los 2A (4%).

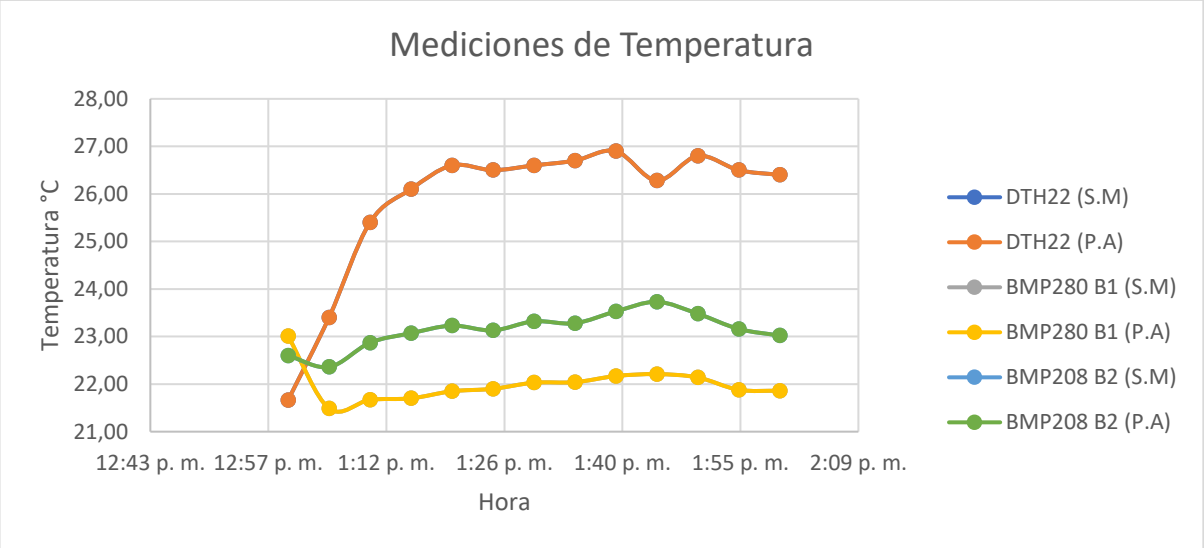
Figura 143. Análisis de Potencia - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W – Banco de baterías



La potencia del banco de baterías muestra un claro patrón que asciende y desciende, aumentando desde 700W hasta 1500W hacia la 1:30 pm, para luego reducirse hasta 900W. Este comportamiento equilibra las fluctuaciones de las fuentes renovables, estabilizando el suministro total al sistema bajo carga constante. Las mediciones entre S.M. y P.A. muestran diferencias que no superan el 5%.

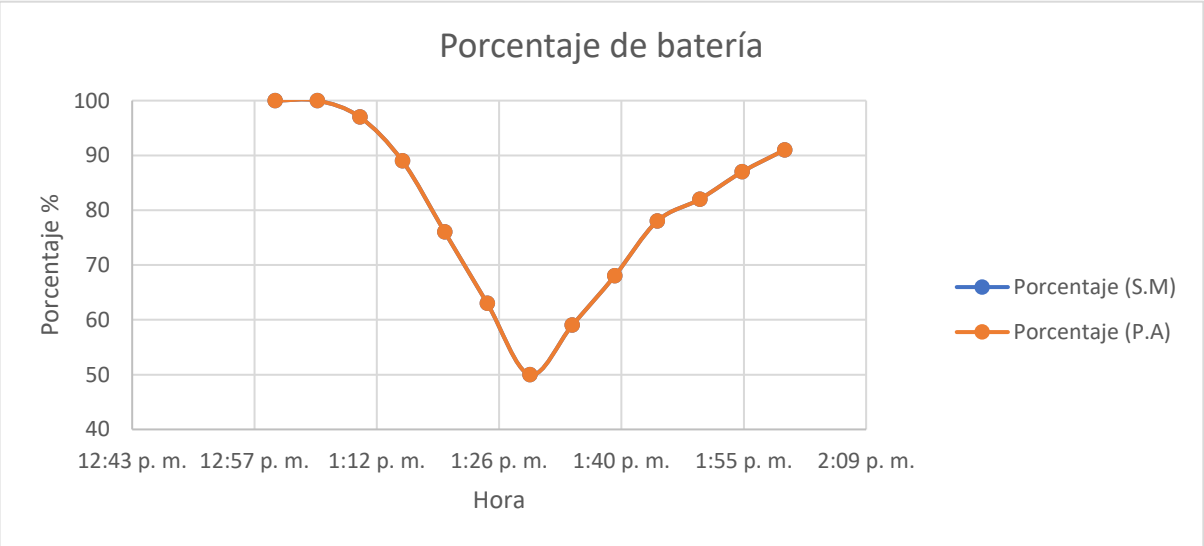
Medidas de Temperatura y Porcentaje de baterías

Figura 144. Mediciones de temperatura - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W



Las temperaturas registradas muestran un incremento gradual desde 22°C hasta 28°C, con los sensores BMP280 de las baterías registrando valores 1-2°C superiores al sensor ambiente DTH22. Este calentamiento es moderado y refleja el estrés térmico bajo carga sostenida, pero se mantiene dentro de parámetros seguros. Las diferencias entre S.M. y P.A. se mantienen consistentemente por debajo de 0.5°C para todos los sensores.

Figura 145. Porcentaje de batería - Prueba con una Resistencia/Niquelina de 5500 W



El porcentaje de carga del banco de baterías sigue un patrón coherente con el voltaje, descendiendo desde cerca del 100% hasta aproximadamente 55% hacia la 1:30 pm, para luego recuperarse hasta 65% al final. Esta recuperación confirma el impacto positivo del aumento en la generación renovable durante la segunda mitad de la prueba. Las mediciones de S.M. y P.A. muestran concordancia casi perfecta.

En este cuarto capítulo se presentó la implementación del sistema Powerwall basada en la carga con energía eólica y fotovoltaica. Se detallaron los cálculos y dimensionamientos realizados para la elección de cada material. Se describió la ubicación y conexión del sistema de potencia, sistema de protecciones y sistema de monitoreo de la Powerwall. Además, se redactó cada una de las prueba realizadas mediante el uso de tablas y gráficos comparativos entre el sistema de monitoreo y una pinza amperimétrica. Después de las pruebas realizadas en este cuarto capítulo se concluyó que la Powerwall opera de manera adecuada para la carga de los vehículos de la carrera de Electricidad.

CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio comparativo de tecnologías de almacenamiento energético alimentadas por fuentes renovables, evaluando específicamente baterías de ion-litio, plomo-ácido y $LiFePO_4$. Esto determinó que las baterías de gel de plomo-ácido representan una solución adecuada para este proyecto debido a su durabilidad, ciclos de vida, óptima compatibilidad con sistemas híbridos solares-eólicos, y relación costo-beneficio favorable en el mercado actual, garantizando así sostenibilidad operativa y rendimiento adecuado para la aplicación propuesta.
- Los parámetros críticos identificados en la Powerwall son voltaje, corriente y potencia. Estos parámetros resultaron fundamentales para el dimensionamiento preciso de componentes, garantizando estabilidad del sistema bajo condiciones variables, optimización en la integración de fuentes renovables complementarias.
- Las pruebas operativas verificaron que la Powerwall implementada proporciona capacidad energética suficiente para alimentar efectivamente los tres vehículos eléctricos de la carrera de Electricidad, garantizando autonomía adecuada para su uso diario previsto. La configuración de generación híbrida fotovoltaica-eólica logra una recarga eficiente del banco de baterías, confirmando un suministro energético confiable y estable incluso durante ciclos extendidos de demanda.

RECOMENDACIONES

- Las baterías de sodio constituyen una alternativa bastante interesante para este tipo de implementaciones, por lo que se recomienda el hacer un análisis adecuado de estas nuevas tecnologías para una próxima implementación.
- Se recomienda evaluar la implementación de tecnologías emergentes como, controladores de carga avanzados e inversores de mayor eficiencia, realizando un análisis de sus parámetros técnicos críticos. Las ventajas incluyen menor costo inicial y mayor seguridad operativa frente a los equipos actualmente utilizadas.
- Se sugiere desarrollar una versión optimizada de la Powerwall con diseño más compacto e integrado, mejorando la disposición espacial de componentes para facilitar su instalación y mantenimiento en diversos entornos. Esta nueva configuración debe mantener compatibilidad total con los tres vehículos eléctricos del departamento de Electricidad. El rediseño debe priorizar tanto la funcionalidad técnica como la experiencia de usuario, resultando en un sistema de energía renovable que sirva efectivamente como herramienta educativa práctica para los estudiantes de la carrera de Electricidad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] E. Comercio, "La demanda de escúteres y motos eléctricas aumenta en Quito," 2021.

[2] C. R. G. Castillo, "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA EL MEJORAMIENTO EN LA AUTONOMÍA DE UN TRANSPORTE ELÉCTRICO TIPO SCOOTER EN LA CIUDAD DE IBARRA.," Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas., UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 53, 2022.

[3] E. J. L. Quispe., "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL INTEGRADO PARA LOS COMPONENTES DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA," Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 31, 2019.

[4] C. G. Sebastián, "IMPLEMETACIÓN DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO ELÉCTRICO PARA MOVILIDAD PERSONAL," Facultad de Ingeniería en Ciencia Aplicadas, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 77, 2021.

[5] T. D. Q. Z. Ziyu Zhang , Yuge Sun , Ming Qu , Ziyu Zeng , Yuntao Ju , Li Li , Kang Wang , Fangde Chi, "A review of technologies and applications on versatile energy storage systems," *Science Direct,*

[6] R. Zhang and Y. L. y. X. Z. Q. Zhang, "Analysis of energy supply from non-renewable energies,"

[7] S. W. Xiangjun Li, "Energy management and operational control methods for grid battery energy storage systems <h1 _ngcontent-pmt-c163="" class="document-title text-2xl-md-lh" style="box-sizing: border-box; margin: 0px; color: rgb(51, 51, 51); font-family: "HelveticaNeue Regular", sans-serif; background-color: rgb(255, 255, 255); line-height: 38px !important; font-size: 32px !important;">," *IEEE Xplore,* p. 15

[8] Y. B. Gamal Alkasi, Dallatu Abbas U, Ammar Ahmed Alkatahtani, Sieh Kiong Tiong, "Review of Renewable Energy-Based Charginf Infrastructure for Electric Vehicles,"

[9] B. Dunn, H. Kamath, J.-m. Tarascon, Electrical energy storage for the Grid : A Battery of choices, Science Magazine 334 (6058) (2020) 928–936. doi:10.1126/science.1212741.

[10] A. Rimpel, K. Krueger, Z. Wang, X. Li, A. Palazzolo, J. Kavosi, M. Naraghi, T. Creasy, B. Anvari, E. Severson, E. Broerman, Mechanical energy storage, in: Thermal, Mechanical, and Hybrid Chemical Energy Storage Systems, Elsevier, 2021, pp. 139–247. doi:10.1016/ b978-0-12-819892-6.00004-6.

[11] O. Schmidt, S. Melchior, A. Hawkes, I. Staffell, Projecting the future levelized cost of electricity storage technologies, Joule 3 (1) (2020) 81– 100. doi:https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.12.008.

[12] P. Yulong, A. Cavagnino, S. Vaschetto, C. Feng, A. Tenconi, Flywheel energy storage systems for power systems application, in: 2022 6th International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), 2022, pp. 492–501. doi:10.1109/ICCEP.2017.8004733.

[13] S. Mousavi G, F. Faraji, A. Majazi, K. Al-Haddad, A comprehensive review of Flywheel Energy Storage System technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews 67 (2020) 477–490. doi:10.1016/j.rser. 2016.09.060. URL http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.060

[14] S. Wicki, E. G. Hansen, Clean energy storage technology in the making: An innovation systems perspective on flywheel energy storage, Journal of Cleaner Production 162 (2021) 1118–1134. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.05.132. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S0959652617310764

[15] F. F. Sandy Rodriguez, Ashkan Ibaki, Nuno Cafofo, Xiaojun Chen, Herlander Mata-Lima, F. Morgado Díaz, "TESLA POWERWALL, ANALYSIS OF ITS USE IN PORTUGAL AND UNITED STATES,"

[16] M. Carvalho, "Electric scooters: An analysis of the latest trend in urban mobility," M.S. thesis, Dept. Eng. Ind., Univ. Porto, Porto, Portugal, 2021. [En línea]. Disponible: https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/136252

[17] J. D. Maia, "Analysis and optimization of electric bicycle powertrains," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Comput. Eng., Univ. Porto, Porto, Portugal, 2020. [En línea]. Disponible: https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/131489

[18] M. A. Gavidia-Calderón, "Design and development of an electric motorcycle for urban mobility," M.S. thesis, Dept. Mech. Eng., Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2022. [En línea]. Disponible: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79934

[19] International Energy Agency (IEA), "Global EV Outlook 2022," IEA, Paris, France, 2022. [En línea]. Disponible: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022

[20] M. A. Yépez, "Análisis de la movilidad eléctrica en Ecuador: Barreras y oportunidades," M.S. thesis, Dept. Eng. Ind., Univ. Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible: http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/36984

[21] J. Gómez-Vilchez et al., "The impact of electric cars on oil demand and greenhouse gas emissions in key markets," Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 91, p. 102987, 2021. DOI: 10.1016/j.trd.2021.102987

[22] S. Jeong et al., "Design and Implementation of Shaped Magnetic-Resonance-Based Wireless Power Transfer System for Roadway-Powered Moving Electric Vehicles," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 3, pp. 1179-1192, March 2020.

[23] M. A. Hannan et al., "A Review of Internet of Energy Based Building Energy Management Systems: Issues and Recommendations," IEEE Access, vol. 6, pp. 38997-39014, 2018.

[24] Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, "Regulación No. MERNNR-003/22 para Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica," Quito, Ecuador, 2022.

[25] IEC 62933-5-2:2020, "Electrical energy storage (EES) systems - Part 5-2: Safety requirements for grid-integrated energy storage systems - Application and integration at system level," International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2020.

[26] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, "Regulación No. ARCONEL-003/18 para la Conexión de Generadores Renovables No Convencionales a la Red de Distribución," Quito, Ecuador, 2018.

[27] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, "Reglamento para la Regulación No. ARCONEL-003/18," Quito, Ecuador, 2018.

[28] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, "Código Eléctrico Ecuatoriano," Quito, Ecuador, 2019.

[29] NTE INEN-EN 62109-1, "Seguridad de los conversores de potencia utilizados en sistemas fotovoltaicos de potencia - Parte 1: Requisitos generales," Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador, 2016.

[30] J. Mearns et al., "Performance analysis of Tesla Powerwall 2 in residential applications," Energy and Buildings, vol. 243, p. 111016, 2021.

[31] T. Morstyn, K. Collett, A. Vijay, M. Deakin, S. Wheeler, et al., "OPEN: An open-source platform for developing smart local energy system applications," Applied Energy, vol. 275, p. 115397, 2020.

[32] N. author found, "Tesla Powerwall - Wikipedia, la enciclopedia libre." [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Tesla_Powerwall#:~:text=Powerwall%203,-Powerwall%203%20comenz%C3%B3&text=Dispone%20de%206%20reguladores%20de,se%20suministra%20a%20una%20bater%C3%ADa

[33] N. author found, "¿Cuánto Cuesta Realmente una Tesla Powerwall en 2024? ¿Vale la Pena? - Solar Reviews." [Online]. Available: https://www.solarreviews.com/es/blog/es-la-tesla-powerwall-la-mejor-bateria-solar-disponible#:~:text=La%20Tesla%20Powerwall%203%20tiene,se%20pod%C3%ADa%20con%20su%20predecesora

[34] L. Wang, A. Hernandez, and P. Stanforth, "Thermal Management Strategies for Residential Energy Storage Systems: A Comparative Analysis," Journal of Energy Storage, vol. 35, p. 102261, 2021.

[35] K. Zhang, Y. Xu, and S. Gao, "Smart Home Energy Management with Battery Storage System: A Data-Driven Approach," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 12, no. 2, pp. 1410-1423, 2021.

[36] J. Cui, K. Zhang, and H. Chen, "Hybrid energy storage systems: Recent progress and future prospects," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 158, p. 112152, 2022.

[37] J. B. Goodenough and K. S. Park, "The Li-Ion Rechargeable Battery: A Perspective," Journal of the American Chemical Society, vol. 135, no. 4, pp. 1167-1176, 2023.

[38] B. Dunn, H. Kamath, and J. M. Tarascon, "Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices," Science, vol. 334, no. 6058, pp. 928-935, 2021.

[39] M. Brown, "Gel Batteries in Stationary Applications," IEEE Power and Energy Magazine, vol. 18, no. 3, pp. 45-52, 2020.

[40] S. Zhang et al., "Advancements in Lithium-ion Battery Capacity," Journal of Power Sources, vol. 480, pp. 228841, 2021.

[41] T. Anderson, "Lead-Acid Batteries: Enduring Technology for Modern Applications," Battery Technology, vol. 5, pp. 78-92, 2022.

[42] K. Naoi and P. Simon, "Sodium-ion batteries: From Materials to Systems," Energy Storage Materials, vol. 35, pp. 224-259, 2023.

[43] Y. Wang et al., "LiFePO4 Batteries for Electric Vehicles: Performance and Scaling," ACS Energy Letters, vol. 7, pp. 1937-1959, 2022.

[44] H. Rahimi-Eichi, U. Baronti, and M. Y. Chow, "Online adaptive parameter identification and state-of-charge coestimation for lithium-polymer battery cells," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 4, pp. 2053–2061, Apr. 2014.

[45] B. Scrosati and J. Garche, "Lithium batteries: Status, prospects and future," Journal of Power Sources, vol. 195, no. 9, pp. 2419–2430, May 2010.

[46] D. Pavlov, Lead-Acid Batteries: Science and Technology: A Comprehensive Treatment, 2nd ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017.

[47] C. Ponce de León, A. Frías-Ferrer, J. González-García, D. A. Szabó, and F. C. Walsh, "Redox flow cells for energy conversion," Journal of Power Sources, vol. 160, no. 1, pp. 716–732, Sep. 2006.

[48] Y. Guo, J. Wang, J. Chen, X. Li, H. Zhang, and R. Lu, "Optimal sizing of lithium-ion battery for off-grid photovoltaic systems based on multi-objective optimization method," Energy Conversion and Management, vol. 230, p. 113810, Jan. 2021.

[49] J. P. Dunlop, Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems: Fundamentals and Application. Cancun, Mexico: Sandia National Laboratories, 1997.

[50] X. Luo, J. Ahn, A. Sundararajan, y S. Sarkar, "Viability of wind power as a reliable source of electricity generation: Turbine-level analysis", Appl. Energy, vol. 260, p. 114322, feb. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114322.

[51] B. Chowdhury y A. K. Azad, "Feasibility study of wind energy resources for electrical power generation in Cox's Bazar, Bangladesh", Environ. Clim. Technol., vol. 25, no. 1, pp. 93–109, 2021, doi: 10.2478/rtuect-2021-0006.

[52] K. Benhamed, A. Saidi, y O. Bachiri, "Technical and economic viability study of wind power for electricity generation in Algeria", Energy Rep., vol. 8, pp. 1022–1033, nov. 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.05.022.

[53] A. A. Farraj, S. Ashraf, y A. Algarni, "A Comprehensive Review of Photovoltaic/Thermal (PV/T) Systems: Historical Perspective, Heat Transfer Mechanisms, and Thermal Performance Analysis", Energies, vol. 15, no. 10, p. 3594, may 2022, doi: 10.3390/en15103594.

[54] E. M. Ahmed y M. Younes, "Performance analysis of different photovoltaic module technologies under semi-arid climate conditions", Energy Convers. Manag., vol. 230, p. 113824, ene. 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113824.

[55] Y. Manalu, L. Yang, C. H. Huang, y Y. A. Gandidi, "Building integrated photovoltaic technology and potential applications at urban areas", Appl. Sci., vol. 10, no. 6, p. 1963, mar. 2020, doi: 10.3390/app10061963.

[56] F. B. Kansao, P. R. Chougule, y N. H. Quadri, "Design and optimization of hybrid renewable energy system for rural electrification", Mater. Today Proc., vol. 56, pp. 1340–1348, ene. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.371.

[57] N. Tasfi y M. A. Reaz, "Optimal Sizing and Operational Strategy of Hybrid Renewable Energy System: A Review", Int. J. Renew. Energy Res., vol. 12, no. 2, pp. 725–748, jun. 2022.

[58] S. A. Shemami y A. T. Hoang, "Impact of distributed energy resource systems and electric vehicle integration on the distribution network: A review", Energies, vol. 15, no. 3, p. 771, ene. 2022, doi: 10.3390/en15030771.

[59] J. J. Hwang, L. K. Wee, and Y. Y. Gan, "Photovoltaic performance of solar air-conditioning system with battery storage," Applied Thermal Engineering, vol. 123, pp. 1156–1164, Aug. 2017.

[60] C. Buekers et al., "Health impacts of on-road transportation emissions in Canada," Atmospheric Environment, vol. 212, pp. 220–232, Apr. 2019.

[61] J. Miotti et al., "Environmental impact of electric vehicles: A life cycle perspective," Journal of Cleaner Production, vol. 297, p. 126584, May 2021.

[62] A. Milovanoff, S. I. U. H. Gilani, y A. H. El Galiou, "Environmental impacts of using electric vehicles powered by renewable energy sources in Southeast Asia", Electr. Power Syst. Res., vol. 205, p. 107682, ago. 2022, doi: 10.1016/j.epsr.2022.107682.

[63] A. Alqahtani, M. A. Hannan, R. A. Begum, S. H. A. Kaboli, y S. Indra Ismayandi, "Techno-economic analysis of PV-wind hybrid power system coupled with battery energy storage system", IEEE Access, vol. 9, pp. 145061–145075, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3122679.

[64] A. J. López Jaramillo, "Factibilidad técnica y económica para la creación de una electrolinera en la ciudad de Cuenca," Universidad de Cuenca, 2021.

[65] A. A. S. Mohamed, A. Meintz, and L. Zhu, "Wireless Charging of Electric Vehicles in the Age of Internet of Things: A Feasibility Study of the state of the art and future potential," IEEE Internet Things J., vol. 9, no. 11, pp. 8453–8474, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2021.3122519.

[66] R. A. Barbu, "Power Grid Modernization for Electric Vehicle Integration," Ph.D. dissertation, Colorado School of Mines, 2020.

[67] M. A. Zehir, A. Batman, M. Sonmez, S. D. Karavlak, and F. Calisir, "Bidirectional charging and discharging strategy for electric vehicles using artificial neural networks," IEEE Access, vol. 9, pp. 140232–140247, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3119587.

[68] N. G. Paterakis et al., "Optimizing the flexibility of EV charging infrastructure through machine learning-based strategies," Energies, vol. 14, no. 16, 2021, doi:

[69] S. Rodriguez, A. Ibaki, N. Cafofo, X. Chen, H. Mata-Lima, and F. Morgado-Díaz, "Tesla Powerwall, Analysis of Its Use in Portugal and United States," Energies, vol. 14, no. 8, p. 2167, Apr. 2021, doi: 10.3390/en14082167.

[70] M. Begovic, A. Pregelj, A. Rohatgi, and D. Novosel, "Impact of Renewable Distributed Generation on Power Systems," Proc. IEEE Hawaii Int. Conf. Syst. Sci., vol. 34, pp. 1–10, 2001, doi: 10.1109/HICSS.2001.926281.

[71] C. N. Jardine, G. C. Ozard, and P. Giannina, "Design and Implementation of a Hybrid Remote Micro-Grid for a Remote Aboriginal Community," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 55, no. 3, pp. 2647–2656, May 2019, doi: 10.1109/TIA.2019.2898685.

[72] J. Weniger, T. Tjaden, and V. Quaschning, "Sizing and grid integration of residential PV battery systems," Proc. 8th Int. Renew. Energy Storage Conf. Exhib., no. March, pp. 17–19, 2014, doi: 10.13140/2.1.3611.2003.

[73] G. J. Osório, J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão, "Hybrid renewable energy system with battery storage for a rural village," CIRED Work. 2016, no. 0107, pp. 1–5, 2016, doi: 10.1049/cp.2016.0820.

[74] S. J. Gerssen-Gondelach and A. P. C. Faaij, "Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term," J. Power Sources, vol. 212, pp. 111–129, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.jpowsour.2012.03.085.

[75] "Antes de ir a Google Maps". Google. Accedido el 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.google.com.ec/maps/place/0°21'27.3"N+78°06'43.3"W/@0.3575887,-78.1146027,784m/data=!3m2!1e3!4b1!4m4!3m3!8m2!3d0.3575833!4d-78.1120278?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTEyNC4xIKXMDSoASAFQAw==

[76] E. P. Crucerira Fueltan, "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.", Trabajo de grado, Univ. Tec. Del Norte, IBARRA, 2019.

[77] C. A. Melo Paillacho, "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN EÓLICA CON INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE", Trabajo de grado, Univ. Tec. Del Norte, IBARRA, 2019.

[78] F. L. Potosí Tana, "CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE GENERADOR EÓLICO DE BAJA POTENCIA CON EJE VERTICAL EN EL EDIFICIO DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE", Trabajo de grado, Univ. Tec. Del Norte, IBARRA, 2021.

[79] "Controlador De Carga Híbrido Solar Eólico 1000w De Alta Efic - $ 307.477". Mercado Libre Chile - Envíos Gratis en el día. Accedido el 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible: https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-1052118168-controlador-de-carga-hibrido-solar-eolico-1000w-de-alta-efic-_JM#redirectedFromSimilar

[80] "GEL - Heliostrategiaecuador". Heliostrategiaecuador. Accedido el 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible: https://heliostrategiaecuador.com/baterias/

[81] Accedido el 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.junchipower.com/es/producto/inversor-de-onda-sinusoidal-pura-de-cc-a-ca-personalizado-de-fabrica-de-5000w/

[82] "Arduino Mega 2560 Rev3". Arduino Official Store. Accedido el 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible: https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?queryID=undefined

[83] Andres. "Medidor de Energía Potencia Voltaje Corriente PZEM-004T V3.0 CT 100A - Electronilab". Electronilab. Accedido el 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible: https://electronilab.co/tienda/medidor-de-energia-potencia-voltaje-corriente-pzem-004t-uart/

[84] "PeaceFair Meters". PeaceFair Meters. Accedido el 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible: https://peacefair.net/

[85] "**广州奥松**电子股份有限公司". **广州奥松**电子股份有限公司. Accedido el 28 de abril de 2025. [En línea]. Disponible: http://www.aosong.com/

[86] "Pressure Sensor BMP280". Bosch Sensortec. Accedido el 28 de abril de 2025. [En línea]. Disponible: https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors/bmp280/

[87] "NX4024K032". Nextion. Accedido el 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible: https://nextion.tech/datasheets/nx4024k032/

ANEXOS

Código de programación del sistema de monitoreo

```
#include <ModbusMaster.h>
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include "DHT.h"
#define NEXTION Serial1  // Usar Serial1 del Arduino Mega

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>

Adafruit_BMP280 bmp1; // Primer sensor BMP280
Adafruit_BMP280 bmp2; // Segundo sensor BMP280

#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

SoftwareSerial swSerial1(12, 13);  // RX, TX
PZEM004Tv30 pzem1(12, 13);

SoftwareSerial swSerial2(10, 11);  // RX, TX
PZEM004Tv30 pzem2(10, 11);

// Definir el pin de control para DE/RE Sensor pzm017 1
#define MAX485_DE      2
#define MAX485_RE_NEG  2
```

```
// Definir el pin de control para DE/RE Sensor pzm017 2
#define MAX485_DE_1      3
#define MAX485_RE_NEG_1  3

// Crear una instancia de ModbusMaster
ModbusMaster node;
ModbusMaster node1;

void preTransmission()
{
  digitalWrite(MAX485_DE, 1);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 1);
  digitalWrite(MAX485_DE_1, 1);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG_1, 1);
}
void preTransmission1()
{
  digitalWrite(MAX485_DE_1, 1);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG_1, 1);
}

void postTransmission()
{
  digitalWrite(MAX485_DE, 0);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 0);
}
void postTransmission1()
{
  digitalWrite(MAX485_DE_1, 0);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG_1, 0);
```

```
}

void setup()
{
  dht.begin();
  Serial1.begin(9600);

  // Inicializar el primer sensor BMP280
  if (!bmp1.begin(0x76)) { // Dirección 0x76 para el primer sensor
    Serial.println(F("No se encontró el primer sensor BMP280"));
    while (1);
  }

  // Inicializar el segundo sensor BMP280
  if (!bmp2.begin(0x77)) { // Dirección 0x77 para el segundo sensor
    Serial.println(F("No se encontró el segundo sensor BMP280"));
    while (1);
  }

  // Configurar la precisión de los sensores (opcional)
  bmp1.setSampling(Adafruit_BMP280::MODE_NORMAL,
                   Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16,
                   Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16,
                   Adafruit_BMP280::FILTER_X16,
                   Adafruit_BMP280::STANDBY_MS_500);

  bmp2.setSampling(Adafruit_BMP280::MODE_NORMAL,
                   Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16,
                   Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16,
                   Adafruit_BMP280::FILTER_X16,
```

```
                    Adafruit_BMP280::STANDBY_MS_500);

  pinMode(MAX485_DE, OUTPUT);
  pinMode(MAX485_RE_NEG, OUTPUT);

  pinMode(MAX485_DE_1, OUTPUT);
  pinMode(MAX485_RE_NEG_1, OUTPUT);

  // Iniciar en modo recepción
  digitalWrite(MAX485_DE, 0);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 0);

  digitalWrite(MAX485_DE_1, 0);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG_1, 0);

  // Iniciar la comunicación serial
  Serial.begin(9600);
  Serial3.begin(9600);
  Serial2.begin(9600);
  swSerial1.begin(9600);  // Primer PZEM-004T
  swSerial2.begin(9600);  // Segundo PZEM-004T

  // Iniciar el nodo Modbus
  node.begin(1, Serial3); // 1 es la dirección del esclavo (PZEM-003)
  node1.begin(1, Serial2); // 1 es la dirección del esclavo (PZEM-003)

  // Configurar las funciones de pre y post transmisión
  node.preTransmission(preTransmission);
  node1.preTransmission(preTransmission1);
  node.postTransmission(postTransmission);
```

```
  node1.postTransmission(postTransmission1);
}

void loop()
{
  uint8_t result;
  uint16_t data[6];

  uint8_t result1;
  uint16_t data1[6];

  // Leer los registros del PZEM-003
  result = node.readInputRegisters(0x0000, 6);
  result1 = node1.readInputRegisters(0x0000, 6);

    Serial.println("Datos del sistema fotovoltaico :");

  if (result == node.ku8MBSuccess)
  {
    // Los datos se han leído correctamente
    Serial.print("Voltaje: ");
    Serial.print(node.getResponseBuffer(0x00) / 100.0f);
    Serial.println(" V");
    float voltageF = node.getResponseBuffer(0x00) / 100.0f;
    if (isnan(voltageF)) {
      sendToNextionText("txtvol1", 0, "V");
    } else {
      sendToNextionText("txtvol1", voltageF, "V");
    }
```

```
    Serial.print("Corriente: ");
    Serial.print(node.getResponseBuffer(0x01) / 100.0f);
    Serial.println(" A");
    float corrienteF = node.getResponseBuffer(0x01) / 100.0f;
    if (isnan(corrienteF)) {
      sendToNextionText("txtamp1", 0, "A");
    } else {
      sendToNextionText("txtamp1", corrienteF, "A");
    }

    Serial.print("Potencia: ");
    Serial.print((node.getResponseBuffer(0x02) + (node.getResponseBuffer(0x03)
<< 16)) / 10.0f);
    Serial.println(" W");
    float potenciaF = (node.getResponseBuffer(0x02) +
(node.getResponseBuffer(0x03) << 16)) / 10.0f;
    if (isnan(potenciaF)) {
      sendToNextionText("txtpot1", 0, "W");
    } else {
      sendToNextionText("txtpot1", potenciaF, "W");
    }

    Serial.print("Energía: ");
    Serial.print(node.getResponseBuffer(0x04) + (node.getResponseBuffer(0x05)
<< 16));
    Serial.println(" Wh");


  }
  else
  {
```

```
  // Hubo un error en la lectura
  Serial.println("Error al leer los registros");
}

Serial.println("Datos del banco de baterías :");

if (result1 == node1.ku8MBSuccess)
{
  // Los datos se han leído correctamente
  Serial.print("Voltaje1: ");
  float voltageB = node1.getResponseBuffer(0x00) / 100.0f;
  if (isnan(voltageB)) {
    sendToNextionText("txtvol3", 0, "V");
  } else {
    sendToNextionText("txtvol3", voltageB, "V");
    int porcentaje = round(((voltageB - 21.6) / (30.9- 21.6)) * 100);
    float porcentajeB = round(((voltageB - 21.6) / (30.9 - 21.6)) * 100);
    sendToNextionText("txtpor1", porcentajeB, "");
    porcentaje = constrain(porcentaje, 0, 100);
    sendToNextionBar("br1", porcentaje);
  }
  Serial.print(node1.getResponseBuffer(0x00) / 100.0f);
  Serial.println(" V");

  Serial.print("Corriente1: ");
  Serial.print(node1.getResponseBuffer(0x01) / 100.0f);
  float corrienteB = node1.getResponseBuffer(0x01) / 100.0f;
  if (isnan(corrienteB)) {
    sendToNextionText("txtamp3", 0, "A");
  } else {
```

```
      sendToNextionText("txtamp3", corrienteB, "A");
    }
    Serial.println(" A");

    Serial.print("Potencia1: ");
    Serial.print((node1.getResponseBuffer(0x02) +
(node1.getResponseBuffer(0x03) << 16)) / 10.0f);
    Serial.println(" W");
    float potenciaB = (node1.getResponseBuffer(0x02) +
(node1.getResponseBuffer(0x03) << 16)) / 10.0f;
    if (isnan(potenciaB)) {
      sendToNextionText("txtpot3", 0, "W");
    } else {
      sendToNextionText("txtpot3", potenciaB, "W");
    }

    Serial.print("Energía1: ");
    Serial.print(node1.getResponseBuffer(0x04) +
(node1.getResponseBuffer(0x05) << 16));
    Serial.println(" Wh");
  }
  else
  {
    // Hubo un error en la lectura
    Serial.println("Error al leer los registros 1");
  }

  // Leer los valores del primer PZEM-004T
  float voltage1 = pzem1.voltage();
  float current1 = pzem1.current();
  float power1 = pzem1.power();
```

```
float energy1 = pzem1.energy();
float frequency1 = pzem1.frequency();
float pf1 = pzem1.pf();



// Leer los valores del segundo PZEM-004T
float voltage2 = pzem2.voltage();
float current2 = pzem2.current();
float power2 = pzem2.power();
float energy2 = pzem2.energy();
float frequency2 = pzem2.frequency();
float pf2 = pzem2.pf();

// Mostrar los valores del primer PZEM-004T
Serial.println("Datos del inversor :");
if (isnan(voltage1)) {
  Serial.println("Error reading voltage");
  sendToNextionText("txtvol4", 0, "V");
} else {
  Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltage1); Serial.println("V");
  sendToNextionText("txtvol4", voltage1, "V");
}
if (isnan(current1)) {
  Serial.println("Error reading current");
  sendToNextionText("txtamp4", 0, "A");
} else {
  Serial.print("Current: "); Serial.print(current1); Serial.println("A");
  sendToNextionText("txtamp4", current1, "A");
}
if (isnan(power1)) {
```

```
    Serial.println("Error reading power");
    sendToNextionText("txtpot4", 0, "W");
  } else {
    Serial.print("Power: "); Serial.print(power1); Serial.println("W");
    sendToNextionText("txtpot4", power1, "W");
  }
  if (isnan(energy1)) {
    Serial.println("Error reading energy");
  } else {
    Serial.print("Energy: "); Serial.print(energy1); Serial.println("kWh");
  }
  if (isnan(frequency1)) {
    Serial.println("Error reading frequency");
  } else {
    Serial.print("Frequency: "); Serial.print(frequency1);
Serial.println("Hz");
  }
  if (isnan(pf1)) {
    Serial.println("Error reading power factor");
  } else {
    Serial.print("PF: "); Serial.println(pf1);
  }

  // Mostrar los valores del segundo PZEM-004T
  Serial.println("Datos del aerogenerador:");
  if (isnan(voltage2)) {
    Serial.println("Error reading voltage");
  } else {
    Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltage2); Serial.println("V");
  }
  if (isnan(current2)) {
```

```
    Serial.println("Error reading current");
  } else {
    Serial.print("Current: "); Serial.print(current2); Serial.println("A");
  }
  if (isnan(power2)) {
    Serial.println("Error reading power");
  } else {
    Serial.print("Power: "); Serial.print(power2); Serial.println("W");
  }
  if (isnan(energy2)) {
    Serial.println("Error reading energy");
  } else {
    Serial.print("Energy: "); Serial.print(energy2); Serial.println("kWh");
  }
  if (isnan(frequency2)) {
    Serial.println("Error reading frequency");
  } else {
    Serial.print("Frequency: "); Serial.print(frequency2);
Serial.println("Hz");
  }
  if (isnan(pf2)) {
    Serial.println("Error reading power factor");
  } else {
    Serial.print("PF: "); Serial.println(pf2);
  }


  Serial.println("-----------------------------");


  float t = dht.readTemperature();


  if (!isnan(t)) {
```

```
    Serial.print("Temperatura DHT22: ");
    sendToNextionText("txtDht1", t, "");
    Serial.println(t);
  } else {
    Serial.println("Error: No se pudo leer la temperatura del DHT22.");
  }

  float temp1 = bmp1.readTemperature(); // Temperatura en grados Celsius
  float temp2 = bmp2.readTemperature(); // Temperatura en grados Celsius

  if (!isnan(temp1)) {
    Serial.print("Sensor BMP1: ");
    Serial.println(temp1, 2); // Temperatura con 2 decimales
    sendToNextionText("txtTemp1", temp1, " C");
  } else {
    Serial.println("Error: No se pudo leer la temperatura del BMP1.");

  }

  if (!isnan(temp2)) {
    Serial.print("Sensor BMP2: ");
    Serial.println(temp2, 2); // Temperatura con 2 decimales
    sendToNextionText("txtTemp2", temp2, " C");
  } else {
    Serial.println("Error: No se pudo leer la temperatura del BMP2.");
  }

  Serial.println(voltage1);
  Serial.println(current2);
  Serial.println(voltage2);
```

```
  delay(1000);
}

void sendToNextionText(String object, float value, String unidad) {
    NEXTION.print(object);
    NEXTION.print(".txt=\"");
    NEXTION.print(value);
    NEXTION.print(" ");
    NEXTION.print(unidad);
    NEXTION.print("\"");
    NEXTION.write(0xFF);
    NEXTION.write(0xFF);
    NEXTION.write(0xFF);
}

void sendToNextionBar(String object, int value) {
    NEXTION.print(object);
    NEXTION.print(".val="); // Asigna el valor directamente, sin comillas
    NEXTION.print(value);   // Envía el valor numérico
    NEXTION.write(0xFF);
    NEXTION.write(0xFF);
    NEXTION.write(0xFF);
}
```

Powerwall
Manual de usuario

Sistema de Almacenamiento de energía para vehículos eléctricos de la carrera de Electricidad

Este manual de usuario ha sido realizado por Jefferson Tirira, estudiante de la carrera de Electricidad como parte de la Tesis de Grado con el tema “Desarrollo de una Powerwall alimentada por energía eólica y fotovoltaica para la carga de vehículos eléctricos de la carrera de electricidad” con ayuda del tutor de tesis de grado Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo MSc.

GUIA DE INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

La **Power**wall está compuesto por:

- Controlador de carga híbrido (fotovoltaico 1000 W, eólico 1000 W)
- Inversor de voltaje DC AC 5000 W nominal
- Banco de baterías 24 V 300 Ah
- Protecciones DC
- Protecciones AC
- Selector de OFF - ON
- Pantalla táctil de interfaz con el usuario
- Barras AC

SOBRE EL MANUAL

Objetivo

El objetivo de este manual es proporcionar instrucciones claras y concisas para que usted, como usuario, pueda instalar, configurar y operar correctamente el equipo desde el primer momento, minimizando errores y optimizando su funcionamiento. Este documento garantiza una implementación segura y eficiente, reduciendo el tiempo de configuración y asegurando el máximo aprovechamiento de todas las funcionalidades del sistema.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

ATENCIÓN: Este capítulo contiene importantes instrucciones de seguridad y funcionamiento. Lea y conserve el manual.

1. Antes de usar el equipo, lea las instrucciones y los avisos de precaución de la Powerwall.
2. No desmonte el equipo por usted mismo. Póngase en contacto con personal cualificado del servicio técnico para reparar. El incorrecto montaje puede suponer un riesgo de electrocución o de incendio y cualquier fallo derivado del mismo no estará cubierto por la garantía.

4. Para cualquier mantenimiento o limpieza y reducir el riesgo de electrocución, desconecte todos los cables por precaución en el orden correcto.

6. Para un óptimo funcionamiento de la Powerwall, por favor tenga en cuenta las características de los cables recomendados con las secciones y terminales correctos.

7. Sea muy cuidadoso cuando trabaje con herramientas metálicas cerca de las baterías. Si las herramientas caen sobre las baterías puede ser peligroso y podría producirse un problema eléctrico.

8. Siga estrictamente el proceso de instalación cuando quiera desconectar los terminales AC y DC. Es imperativo que la Powerwall se encuentre apagada cuando manipule los terminales AC.

9. Se recomienda el uso de un disyuntor para la conexión a baterías. En el momento de conectar el cableado omitirá el chispazo y facilitará la rápida desconexión del banco de baterías. Recuerde desconectar el sistema fotovoltaico y el sistema eólico antes que el banco de baterías.

10. Esta Powerwall debe estar conectada siempre al tablero de tierra.

11. Tenga cuidado de no confundir las entradas y salidas del inversor, podría dañar el equipo.

12. ¡Atención! **Esta Powerwall sólo debería ser instalada y manipulada por personal especializado.**

INTRODUCCIÓN

Este equipo es una Powerwall / Sistema de Almacenamiento de energía para vehículos que combina funciones de cargador solar, cargador eólico, controlador de carga, cargador de corriente de corriente continua a un banco de baterías, inversor de voltaje para ofrecer una alimentación ininterrumpida. Su interfaz con el usuario ofrece a la persona una manera cómoda de monitorear los parámetros medidos del sistema Powerwall, parámetros como voltaje y corriente de los sistemas de generación, el banco de batería y el inversor de voltaje dependiendo de la alimentación de las cargas o tensión de entrada que se conecten.

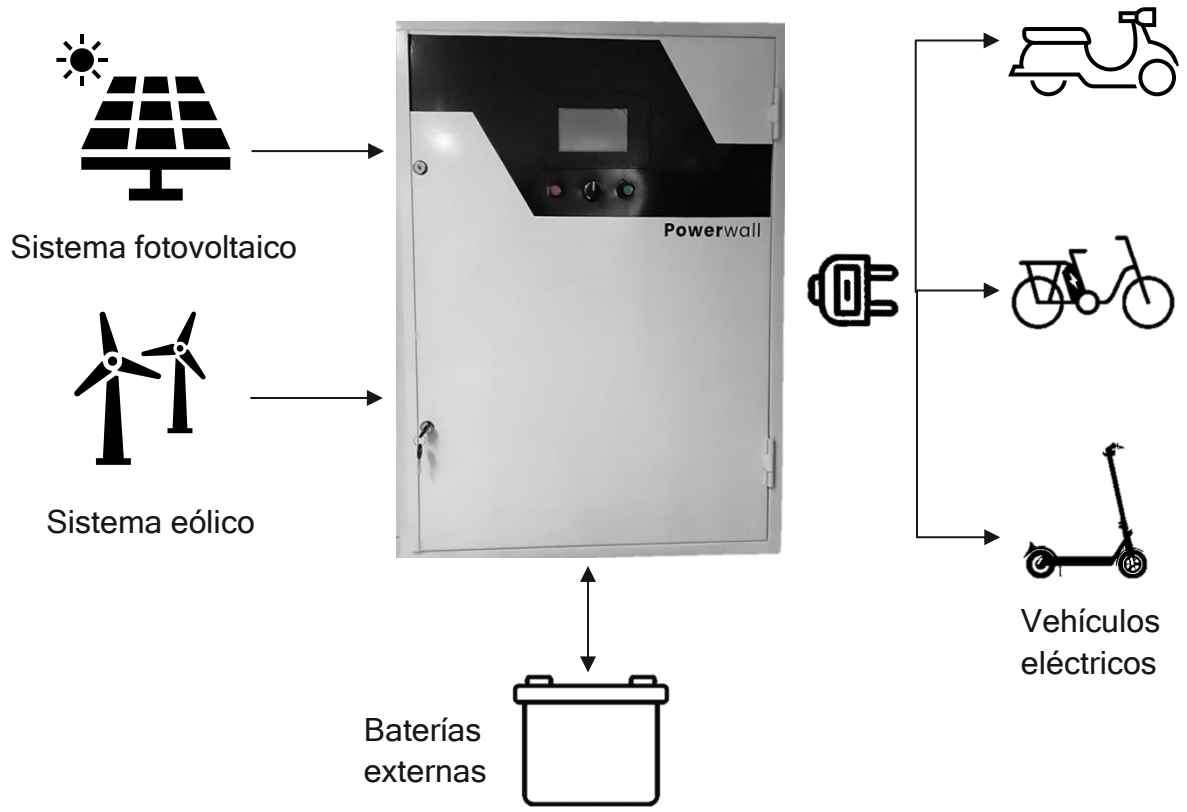
Características

- Controlador de carga híbrido carga híbrido (fotovoltaico 1000 W, eólico 1000 W)
- Inversor de voltaje de onda sinusoidal pura DC AC 5000 W
- Banco de baterías AMG 24 V 300 Ah
- Protecciones DC (Fusible 25 A, Disyuntor 300 A)
- Protecciones AC (Interruptor termomagnético 16 A, Interruptor termomagnético 50 A, Interruptor diferencial 63 A)
- Selector de 2 posiciones de OFF – ON
- Luces piloto de OFF - ON
- Pantalla Nextion 5.0 táctil
- Barras AC

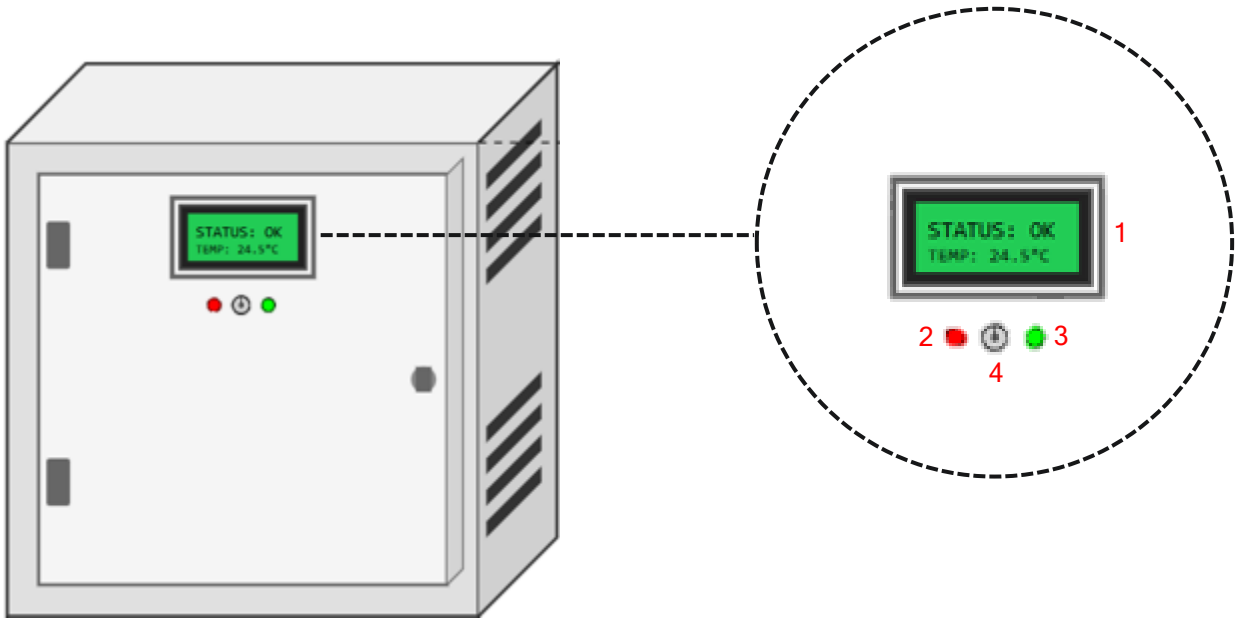
Sistema de funcionamiento básico

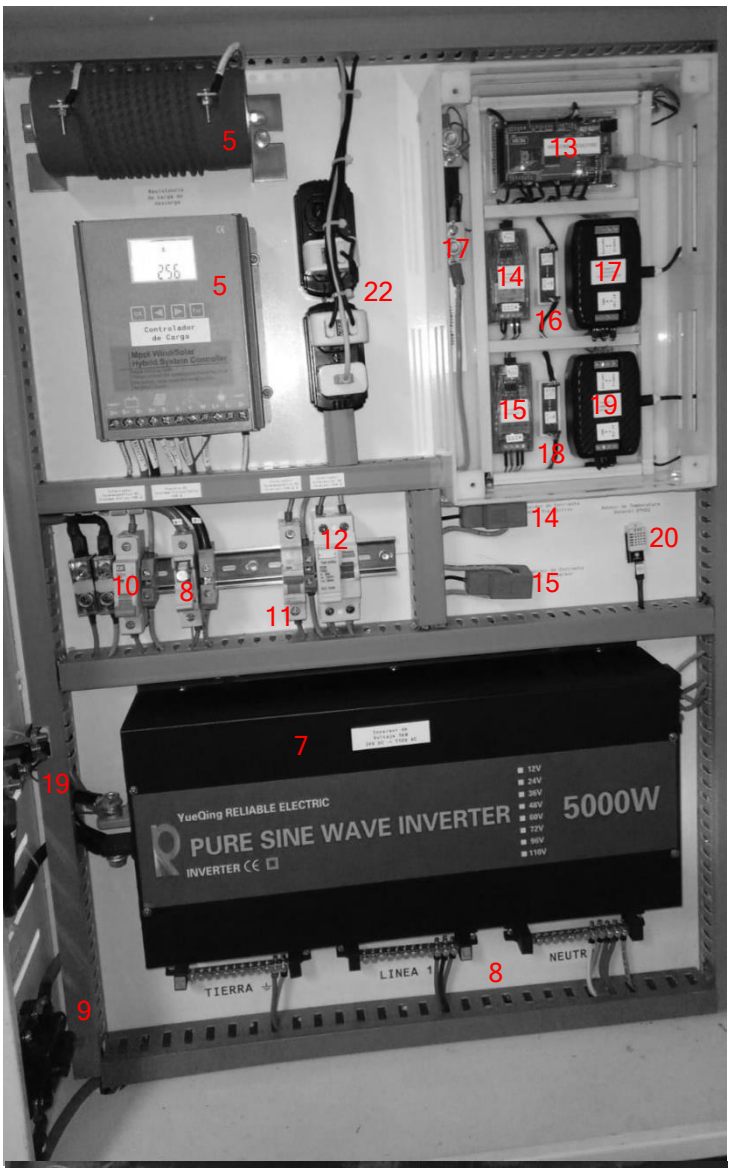
El esquema que aparece a continuación muestra el funcionamiento de esta Powerwall. En el diagrama se incluye el sistema de generación fotovoltaico, el sistema de generación eólico y el banco de baterías. Esta Powerwall puede

alimentar cualquier vehículo eléctrico de la carrera de Electricidad o vehículo eléctrico que se conecte a 110 V.



Revisión del producto





1. Pantalla NEXTION 5.0 como interfaz de usuario
2. Luz piloto roja OFF
3. Luz piloto verde ON
4. Selector OFF – ON de 2 posiciones
5. Controlador de carga híbrido con carga de descarga 1000 W
6. Banco de baterías 24V 300 Ah
7. Inversor de voltaje
8. Fusible DC 25 A
9. Disyuntor DC 300 A
10. Interruptor termomagnético AC 16 A
11. Interruptor termomagnético AC 50 A
12. Interrupto diferencial AC 63 A
13. Arduino MEGA 2560
14. PZEM-004T con CT 100 A – S. eólico
15. PZEM-004T con CT 100 A – Inversor
16. Convertidor TTL para PZEM-017 – S. fotovoltaico
17. PZEM-017 con SHUNT 50 A – S. fotovoltaico
18. Convertidor TTL para PZEM-017 – Banco de baterías
19. PZEM-017 con SHUNT 200 A – Banco de baterías
20. Sensor de temperatura general DTH22
21. Sensor de temperatura BMP280 para cada batería

INSTALACIÓN

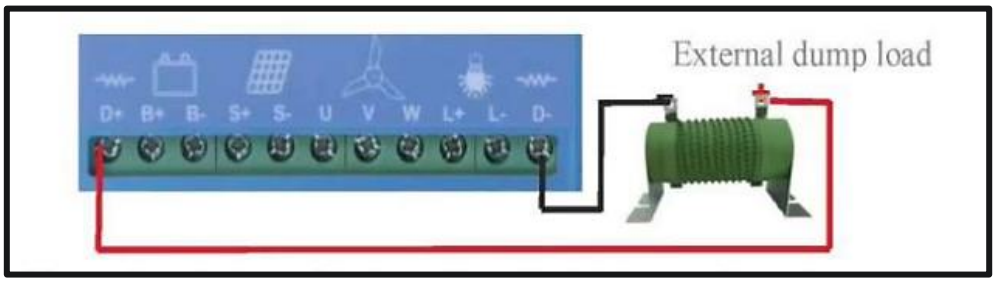
Antes de la instalación, por favor inspeccione el equipo. Asegúrese de que no hay ningún elemento dañado.

Posterior al posicionamiento del tablero de control sobre la pared, se procedió a la instalación de los componentes del circuito de potencia en el compartimento de doble fondo. La disposición de cada elemento fue estratégicamente fijada para optimizar las rutas de cableado dentro del sistema. Los conductores fueron organizados y guiados a través de las canaletas preinstaladas, asegurando una organización adecuada según niveles de tensión y categoría de señal. La instalación garantiza una correcta gestión térmica, facilita el acceso para mantenimiento preventivo y correctivo.

Conexión del controlador de carga en el circuito de potencia

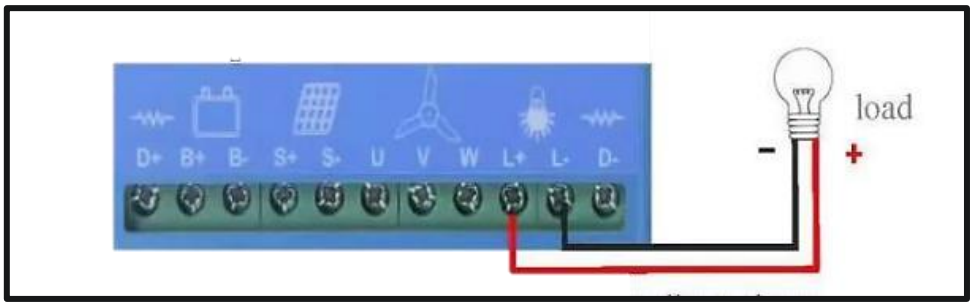
El controlador de carga en el sistema Powerwall constituye un elemento importante crítico para la gestión bidireccional de potencia, gestiona eficientemente los flujos de energía entre fuentes renovables y baterías, protegiendo contra sobrecargas y descargas profundas, optimizando la conversión energética, adaptándose a condiciones climáticas variables y maximizando la vida útil de todos los componentes del sistema.

Cableado de carga de descarga



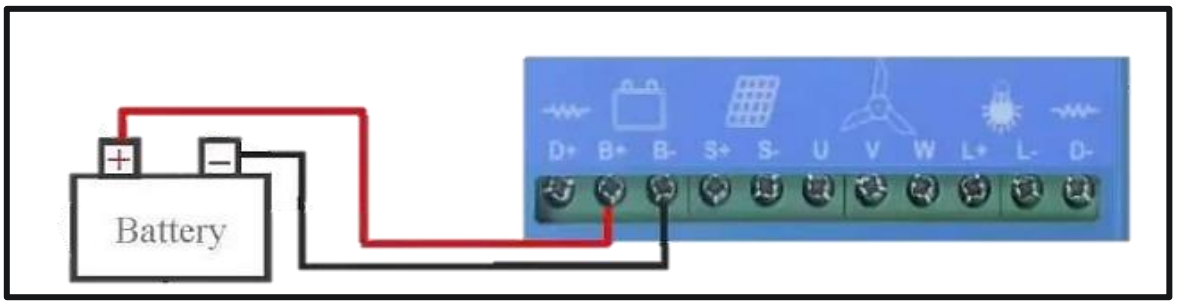
El controlador de carga gestiona el excedente energético mediante derivación controlada hacia una resistencia disipativa. El cableado requiere conexión bipolar: terminal positivo (+) al puerto D+ del controlador y terminal negativo (-) al puerto D-, permitiendo la disipación térmica programada cuando los acumuladores alcanzan su estado de carga máximo.

Cableado de carga



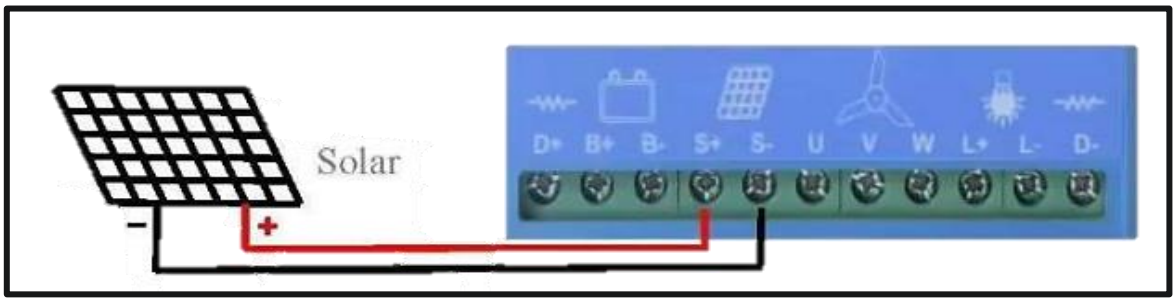
Se represente la conexión para cargas de consumo al controlador híbrido. El cableado establece un circuito de alimentación para dispositivos externos mediante conexión bipolar: terminal positivo (+) al puerto L+ y terminal negativo (-) al puerto L- del controlador. Esta disposición permite la distribución regulada de corriente continua hacia componentes consumidores, garantizando protección contra sobrecargas y manteniendo la polaridad correcta según especificaciones nominales del sistema.

Cableado del banco de baterías



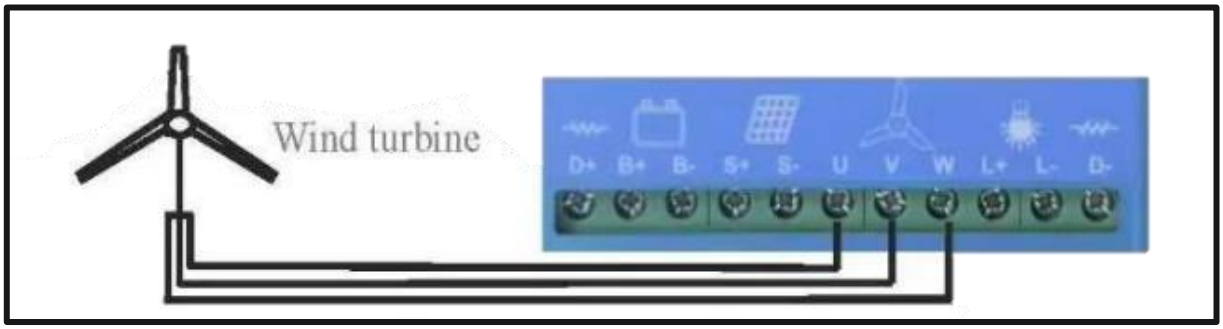
Se visualiza la conexión entre banco de baterías y el controlador de carga. Esta configuración establece la ruta bidireccional de corriente mediante conexión del terminal positivo (+) al puerto B+ y terminal negativo (-) al puerto B-. Esta conexión facilita los procesos de carga/descarga controlada del banco de baterías. Además, implementa sistemas de protección contra sobrecarga, descarga profunda y polaridad inversa.

Cableado del sistema fotovoltaico



Se muestra la conexión entre el arreglo fotovoltaico y el controlador de carga. El cableado establece la ruta unidireccional para la captación energética mediante la conexión del terminal positivo (+) del arreglo al puerto S+ y el terminal negativo (-) al puerto S-. Esta configuración permite la implementación de algoritmos MPPT para optimización de conversión energética, Además, incorpora protección contra polaridad inversa y limitación de sobretensiones.

Cableado del sistema eólico



Se visualiza la interconexión entre el aerogenerador y el controlador híbrido. La configuración establece el circuito de captación eólica mediante conexión del terminal positivo al puerto W+ y negativo al puerto W-. Esta conexión permite la rectificación y acondicionamiento de corriente alterna trifásica generada por turbina eólica, el controlador tiene algoritmos de control para la optimización de potencia según su velocidad de rotación y protección contra sobretensiones por ráfagas extremas.

Para la configuración del controlador de carga ingrese al siguiente link https://mega.nz/file/4FoyFZKC#-ISWcQa5v8dpDe0A3gCgsS-gAJLxNNGbHCqvnxsOQFs

Cableado del banco de baterías

En el sistema Powerwall, la conexión en serie de las dos baterías de 12V 300Ah para formar un banco de 24V 300Ah responde a la necesidad de adaptar el voltaje de entrada requerido por el inversor (24V), manteniendo la misma capacidad de almacenamiento. Esta configuración permite optimizar la eficiencia de conversión del inversor mientras se minimiza la corriente circulante por los conductores. El controlador de carga conectado en paralelo puede gestionar adecuadamente la recarga del banco. Se usó un conductor de calibre 4 AWG ya que es apropiado para estas conexiones debido a su capacidad de manejar las corrientes del sistema sin sobrecalentarse y con mínimas pérdidas por resistencia. Cuando el banco de baterías se encuentra en un rango de Tensión de Carga uso en Flotación (Float) el voltaje estará entre 27.2 V a 27.6 V.

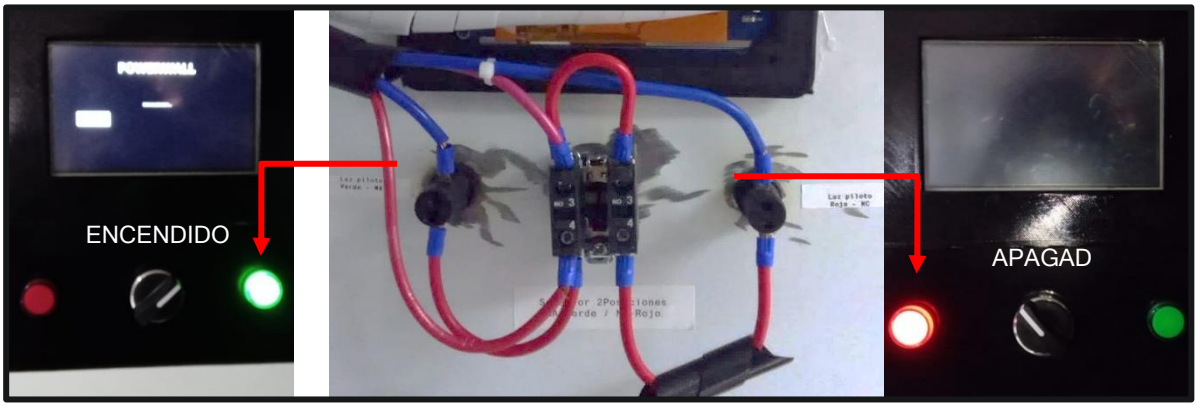
Cableado del inversor de voltaje

Para la instalación del inversor inicialmente debemos verificar la polaridad del banco de baterías, conectamos conductores de calibre 4 AWG en los terminales correspondientes y aplicamos el torque adecuado en conexiones para evitar arcos eléctricos. Se identificó los terminales de entrada DC del inversor (positivo/rojo, negativo/negro) siguiendo la polaridad. Además del banco de batería se conecta el controlador de carga en paralelo con estos dos.

Barras AC

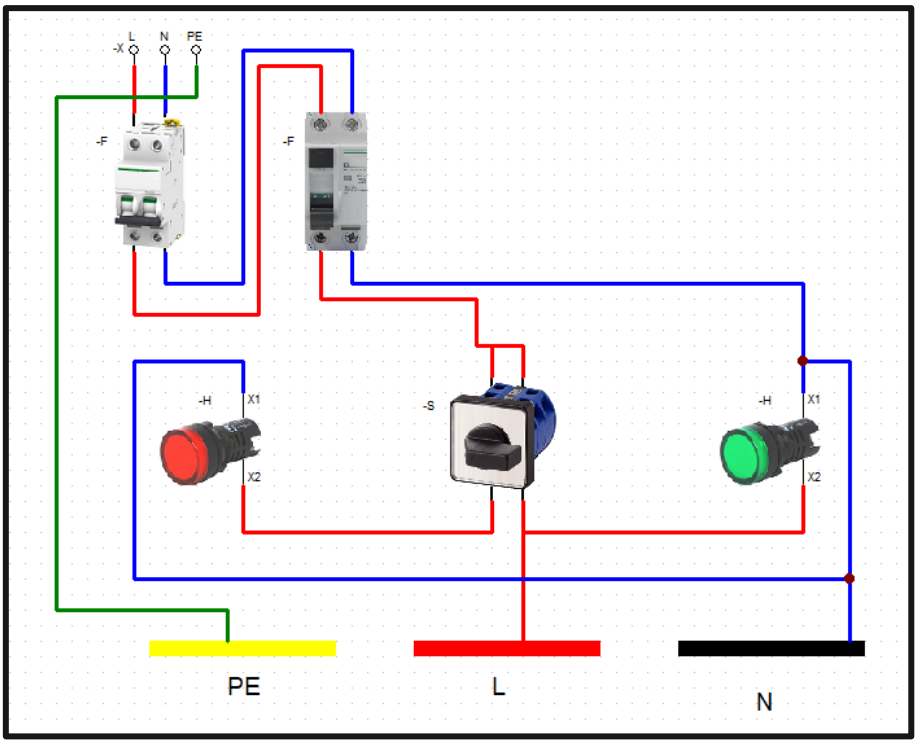
La implementación de barras colectoras de distribución en AC a 120V alimentadas por el inversor de voltaje permite centralizar la conexión de cargadores para vehículos de movilidad eléctrica como scooters, bicicletas y motocicletas, optimizando la administración de puntos de carga. Para el cableado se usó el conductor calibre #10 flexible ya que proporciona la capacidad adecuada para transportar la corriente demandada por los múltiples dispositivos sin sobrecalentamiento, manteniendo la caída de tensión dentro de parámetros aceptables.

Control de encendido y apagado



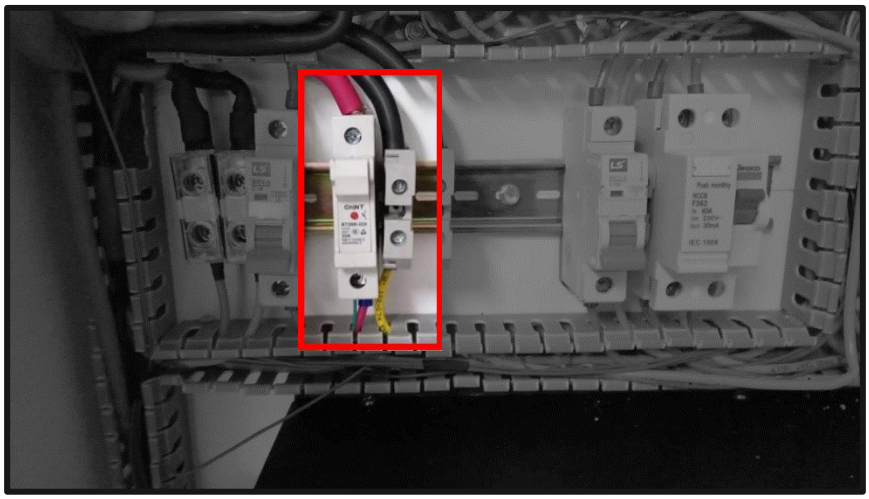
El sistema de control es necesario para energizar y des energizar el voltaje de salida del sistema Powerwall. Se hizo uso de una luz piloto verde (operación normal), roja (falla) y un selector de tres posiciones (0/apagado, NA, NC) esto permite gestionar los estados operativos del inversor de voltaje. El cableado se realizó con conductor flexible #10 AWG garantizando la capacidad de corriente adecuada para la barra AC, posibilitando conmutación manual esencial para mantenimiento y contingencias del sistema de alimentación eléctrica.

Esquema de conexión del sistema de control



El circuito para el sistema de control se realizó en el software CADe_SIMU mediante la representación de los contactos de L, N y PE como los terminales de salida del inversor de voltaje. Además, del uso de elementos eléctricos como protección termomagnética, protección diferencial, luces piloto y un selector de 3 posiciones. De igual forma se representó las barras en AC con franjas de colores.

Fusible DC 25 A

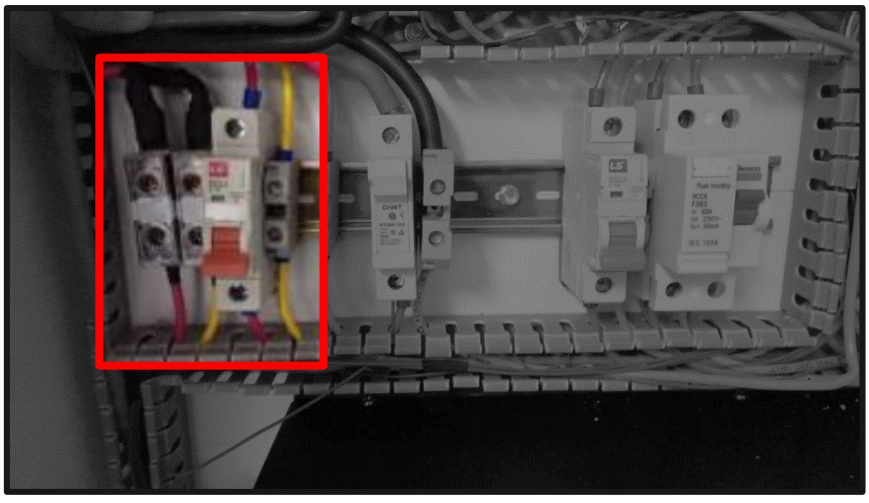


El fusible DC de 21 Amperios en un sistema fotovoltaico no ayuda como dispositivo de seguridad que se activará cuando la corriente exceda este valor límite. La corriente nominal es de 15.75A y la corriente de cortocircuito puede alcanzar 18.02A. El fusible está dimensionado ligeramente por encima (21A) para tolerar picos momentáneos de corriente sin dispararse innecesariamente, pero protegerá el sistema si ocurre una sobre corriente peligrosa que pudiera dañar los componentes. El cableado de entrada del fusible comprende un conductor #4 directamente del arreglo de los dos paneles fotovoltaicos en paralelo, a la salida de fusible tenemos un conductor # 10 el cual se cablea hacia el controlador de carga. El conductor negativo antes de conectarlo con el controlador de carga se conecta a un shunt del sensor Pzem017 para medir su corriente, cierra el circuito y se conecta con el controlador de carga.

Disyuntor DC 300 A banco de baterías

El disyuntor de 300 amperios para el banco de baterías de 24V y 300Ah funciona como elemento de seguridad crucial que corta automáticamente el circuito ante fallos eléctricos. En este sistema de almacenamiento con capacidad de 7200Wh, el disyuntor está dimensionado para manejar corrientes máximas de descarga profunda y picos transitorios (hasta 300A), protegiendo contra cortocircuitos y sobrecargas severas que podrían provocar sobrecalentamiento, daños irreversibles a las baterías o incendios. Además, permite desconectar manualmente el sistema para realizar mantenimiento seguro en la instalación. El cableado de entrada del disyuntor comprende el conductor positivo de calibre #4 directamente del banco de baterías conectadas en serie, a la salida de disyuntor tenemos un conductor # 4 el cual se cablea hacia el inversor de voltaje. El conductor negativo antes de conectarlo al inversor de voltaje al igual que el sistema fotovoltaico se conecta a un shunt del sensor Pzem017 para medir su corriente, cierra el circuito y se conecta con el inversor de voltaje.

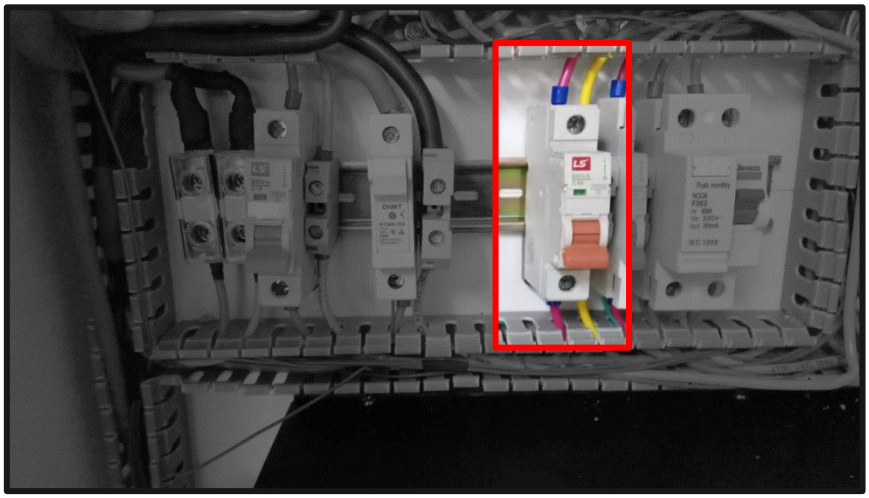
Interruptor termomagnético 1 x 16 A - Sistema eólico



El interruptor termomagnético de 1x16 amperios protege el circuito contra sobrecargas y cortocircuitos en la conexión entre los aerogeneradores y el controlador de carga. Desconecta automáticamente el sistema cuando la corriente supera los 16A, evitando daños en los componentes y posibles

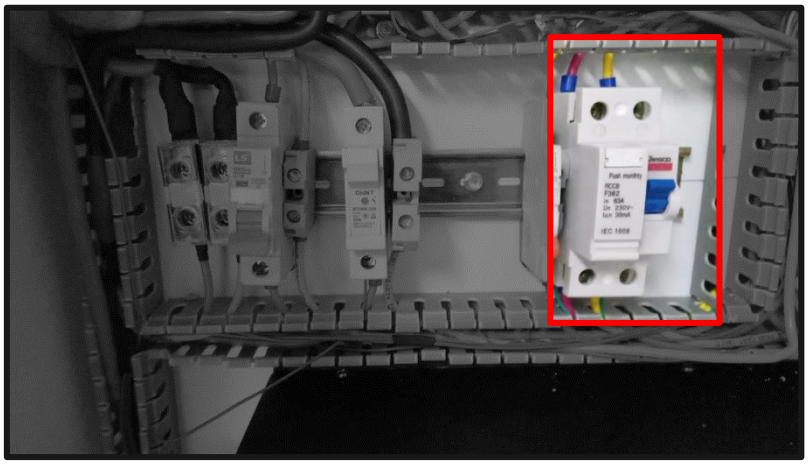
incendios. Para mayor manejo de los conductores y mayor facilidad de cableado se instaló dos terminales para los conductores # 6, seguido de eso se cable con un conductor # 10 hacia la entrada del interruptor termomagnético. Los conductores de salida se cablean hacia el controlador de carga, el conductor negativo pasará por un CT o transductor que medirá la corriente que circule por el conductor.

Interruptor termomagnético 1 x 50 A – Inversor de voltaje



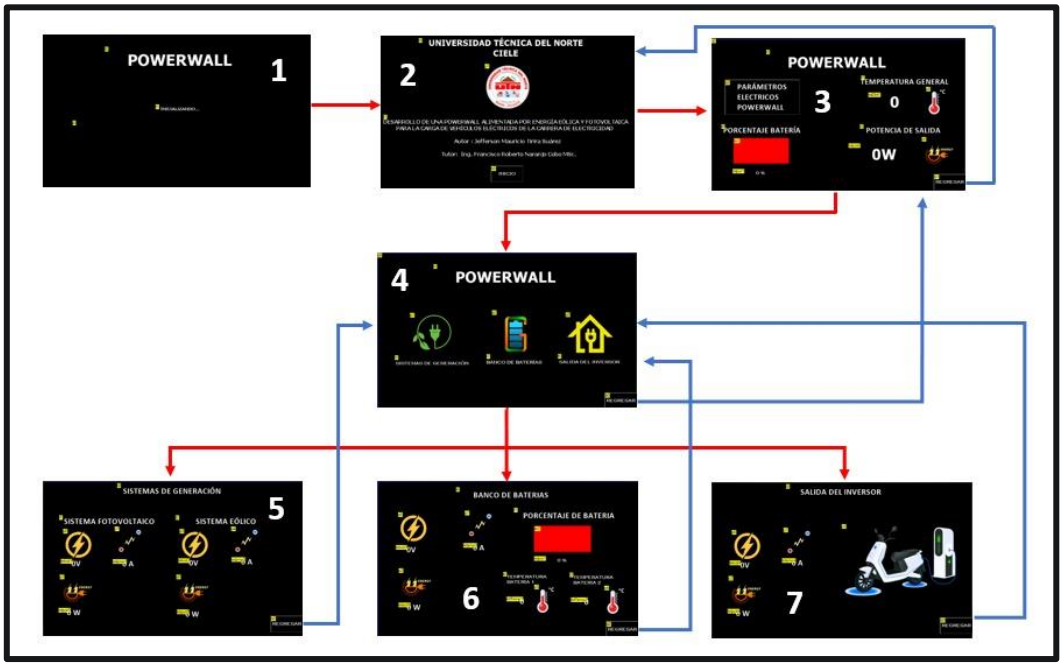
El interruptor termomagnético de 1x50 amperios instalado a la salida del inversor de 5000W/10000W pico protege los circuitos conectados contra sobrecargas y cortocircuitos. Actúa como primera barrera de seguridad antes del interruptor diferencial, interrumpiendo el flujo cuando la corriente excede 50A, evitando daños en la instalación eléctrica alimentada por la corriente de 120V del inversor. El cableado de entrada del interruptor termomagnético comprende un conductor # 10 directamente del inversor de voltaje, a la salida de interruptor tenemos un conductor # 10 el cual se cablea hacia la siguiente protección en AC para la protección del personal.

Interruptor diferencial 1 x 63 A – Barras AC



El interruptor diferencial de 1x63 amperios conectado después del termomagnético detecta fugas de corriente entre fase y neutro, protegiendo contra electrocución y contactos indirectos. Su función es complementar al termomagnético desconectando automáticamente cuando detecta corrientes de fuga (típicamente 30mA), proporcionando seguridad adicional a las personas y equipos conectados a las barras AC que distribuyen la energía del inversor. Los conductores de salida se cablean hacia las barras en AC, el conductor negativo pasará por un CT o transductor que medirá la corriente que circule por el conductor.

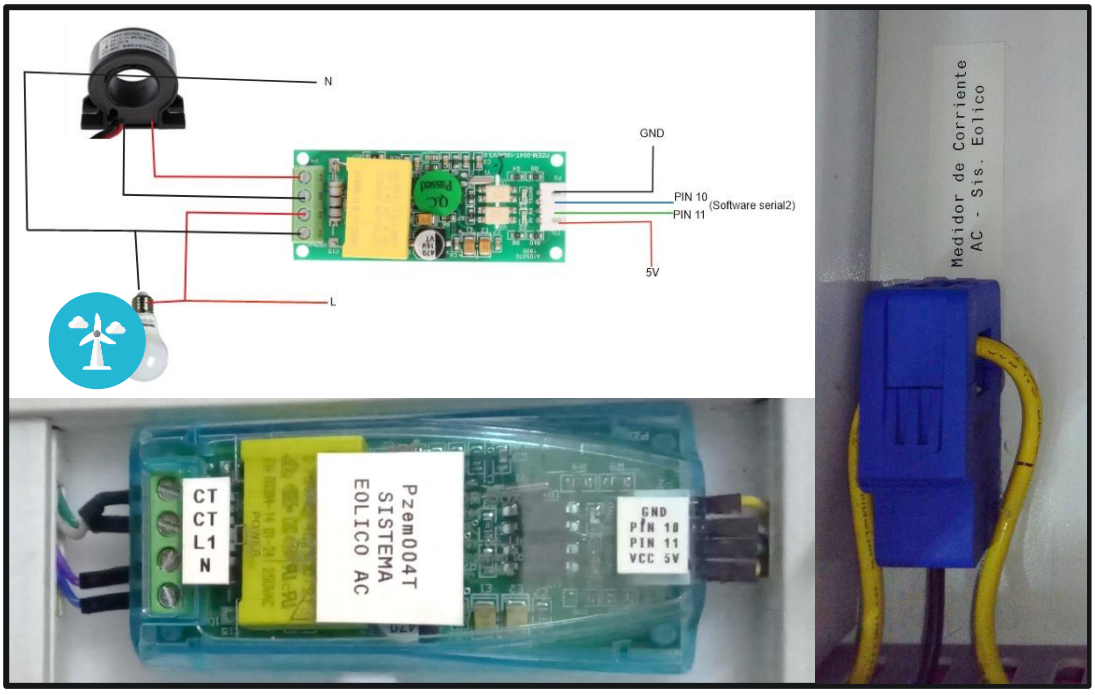
Esquema de navegación de la interfaz en la Pantalla Nextion 5.0



Cada uno de los parámetros que se muestra en la interfaz con el usuario tiene una variable, con la cual se nombra a cada uno de los elementos y bloques deseados para visualizarlos en pantalla. Esta asignación de variables permite la actualización dinámica de los datos mostrados, estableciendo una comunicación bidireccional entre el sistema Powerwall y la pantalla Nextion. La personalización de estos elementos visuales incluye gráficos de barras, indicadores numéricos y alertas cromáticas que proporcionan al usuario una comprensión inmediata del estado operativo del sistema sin necesidad de interpretación técnica compleja.

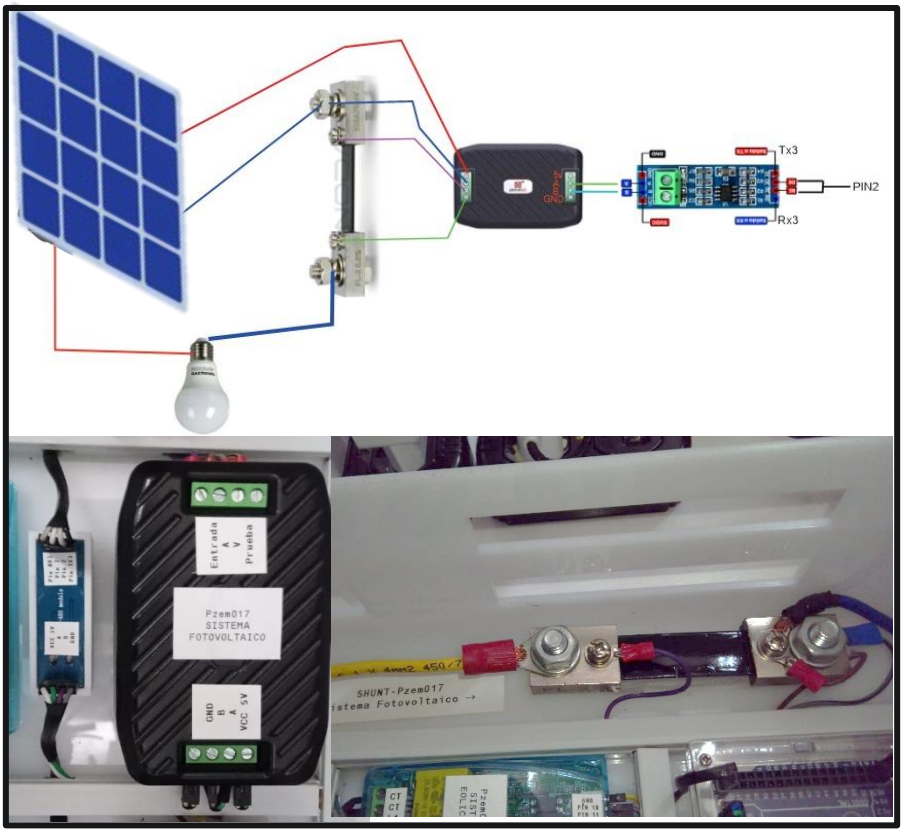
Sistema de monitoreo

Conexión del PZEM 004T AC del sistema de generación eólica



Se conectó los pines de entrada del PZEM 004T AC con cables jumper al sistema de generación eólica mediante los terminales CT, L1 y N para la medición de corriente y voltaje. Los pines de comunicación (PIN 10 y PIN 11) se conectaron al Arduino Mega 2560 configurando un puerto serial por software, mientras que GND se conectó a la referencia común del sistema y VCC 5V a la alimentación del Arduino Mega 2560 para asegurar mediciones precisas.

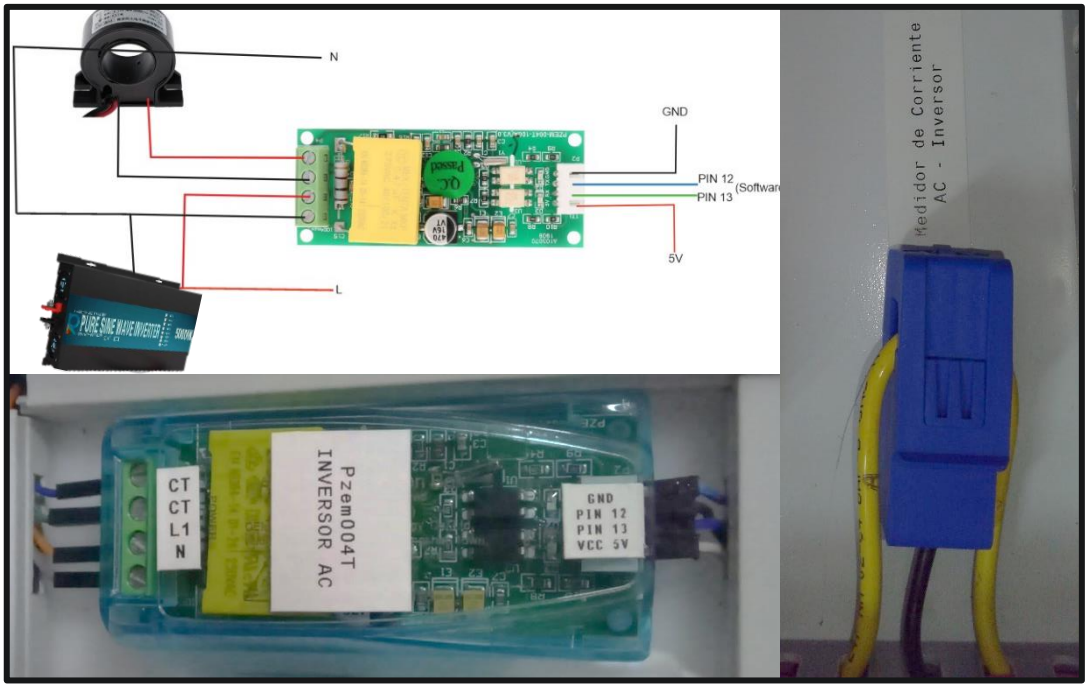
Conexión del PZEM 017 DC del sistema de generación fotovoltaica



Se conectó el PZEM 017 DC al sistema de generación fotovoltaica mediante cables jumper para monitorear el flujo de corriente DC. El módulo sensor integra el SHUNT en serie con el cable negativo del panel solar usando terminales de conexión robustos, mientras que el cable positivo se conectó en paralelo con el terminal positivo del sistema fotovoltaico.

Los pines TX3/RX3 del módulo se conectaron a un convertidor TTL para establecer comunicación con el Arduino mediante el puerto serial definido en los pines correspondientes del microcontrolador. Los pines DE/RE de control para la comunicación semidúplex se conectan al pin dos de microcontrolador. El convertidor TTL al igual que el PZEM 017 se conectaron a los pines de GND y VCC 5V del Arduino MEGA2560, a pesar de aquello el PZEM 017 necesita más corriente. Se necesita más corriente ya que el Arduino MEGA2560 está limitado a 200 mA para todas sus salidas, por ello se lo conectó a una fuente de alimentación externa de 5V.

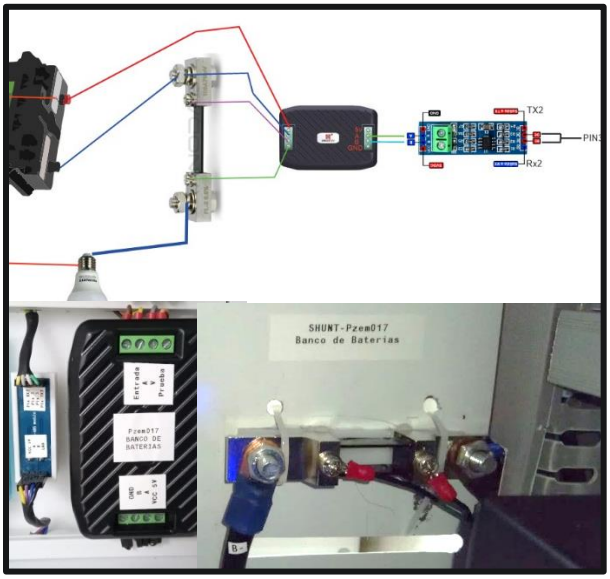
Conexión del PZEM 004T AC del inversor de voltaje



Se conectó los pines de entrada del PZEM 004T AC con cables jumper al inversor de voltaje mediante los terminales CT, L1 y N para la medición de corriente y voltaje.

Los pines de comunicación (PIN 12 y PIN 13) se conectaron al Arduino Mega 2560 configurando un puerto serial por software, mientras que GND se conectó a la referencia común del sistema y VCC 5V a la alimentación del Arduino Mega 2560 para asegurar mediciones precisas.

Conexión del PZEM 017 DC del banco de baterías



Se conectó el PZEM 017 DC al banco de baterías mediante cables jumper para monitorear el flujo de corriente DC. El módulo sensor integra el SHUNT en serie con el cable negativo del panel solar usando terminales de conexión robustos, mientras que el cable positivo se conectó en paralelo con el terminal positivo del sistema fotovoltaico. Los pines TX2/RX2 del módulo se conectaron a un convertidor TTL para establecer comunicación con el Arduino mediante el puerto serial definido en los pines correspondientes del microcontrolador.
Los pines DE/RE de control para la comunicación semidúplex se conectan al pin tres de microcontrolador. El convertidor TTL al igual que el PZEM 017 se conectaron a los pines de GND y VCC 5V del Arduino MEGA2560, a pesar de aquello el PZEM 017 necesita más corriente. Se necesita más corriente ya que el Arduino MEGA2560 está limitado a 200 mA para todas sus salidas, por ello se lo conectó a una fuente de alimentación externa de 5V.

Sensor de temperatura DTH22 – Sensor del tablero general

El sensor de temperatura DTH22 se uso para media la temperatura general del sistema Powerwall por lo que se lo ubicó dentro del tablero, este tiene tres pines. Se conectó GND y VCC 5V directamente al microcontrolador, mientras que para la señal de temperatura medida se usó el pin5 del microcontrolador.

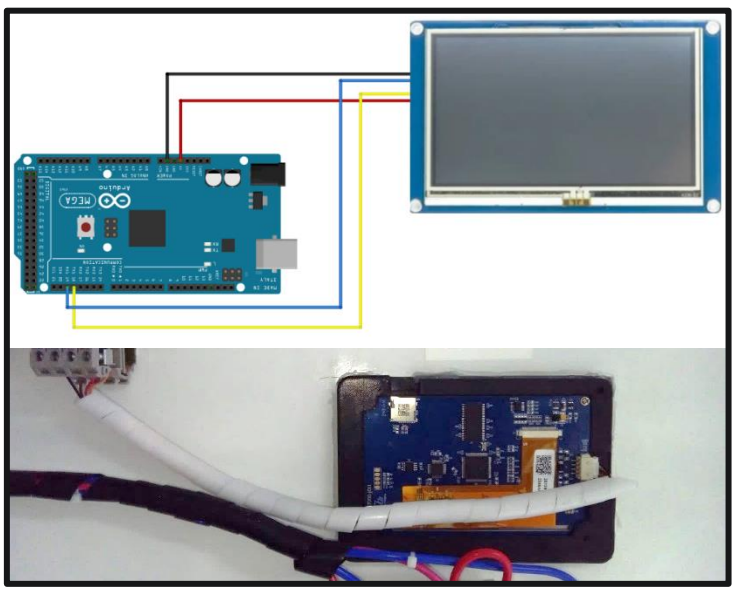
Sensores de temperatura BMP280 de cada batería

Los sensores de temperatura BMP280 se usaron para determinar la temperatura de cada batería, la ubicación de estos sensores se encuentra entre los bornes de las baterías ya que los puntos de conexión ofrecen mayor resistencia eléctrica, generando más calor por efecto Joule.

Para el sensor de la batería 1 se usaron los pines VCC del microcontrolador, pero para este tipo de sensor un voltaje de 3.3V. Seguido de la alimentación se conectó los pines GND/SCL/SDA/SDD al microcontrolador.

Para el sensor de la batería 2 se usaron los pines VCC del microcontrolador, de igual forma solamente se alimenta con un voltaje de 3.3V. Seguido de la alimentación se conectó los pines GND/SCL/SDA al microcontrolador.

Conexión de la pantalla Nextion 5.0



Para la conexión de la pantalla Nextion 5.0 se usó sus cuatro pines. La comunicación serial de TX1/RX1 se realizó mediante la conexión con el microcontrolador. Los pines de GND y VCC de la pantalla se alimentan con una fuente de alimentación externa de 5v, el pin de GND se debe también conectar a GND del microcontrolador para hacer punto común.

ENCENDIDO

Para el funcionamiento correcto de la Powerwall se debe seguir los siguiente pasos:

- Cerrar el circuito con el Disyuntor DC de 300 A entre el banco de baterías y (controlador de carga e inversor)
- Cerrar el circuito con el Interruptor termomagnético AC de 15 A del sistema eólico hacia el controlador de carga
- Cerrar el circuito con el Porta fusible de DC de 25 A del sistema fotovoltaico al controlador de carga
- Encender el interruptor del Inversor de voltaje
- Cerrar el circuito con el Interruptor termomagnético AC de 50 A del Inversor al Interruptor diferencial
- Cerrar el circuito con el Interruptor diferencial AC de 63 A al sistema de control
- Una vez cerradas todas las protecciones y encendido el Inversor podrá encender la Powerwall con el selector que se encuentra en el exterior de la Powerwall.

Powerwall

Powerwall

Manual Técnico

Sistema de Almacenamiento de energía para vehículos eléctricos de la carrera de Electricidad

Este manual técnico ha sido realizado por Jefferson Tirira, estudiante de la carrera de Electricidad como parte de la Tesis de Grado con el tema “Desarrollo de una Powerwall alimentada por energía eólica y fotovoltaica para la carga de vehículos eléctricos de la carrera de electricidad” con ayuda del tutor de tesis de grado Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo MSc.

GUIA DE INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

La **Power**wall está compuesto por:

- Controlador de carga híbrido (fotovoltaico 1000 W, eólico 1000 W)
- Inversor de voltaje DC AC 5000 W nominal
- Banco de baterías 24 V 300 Ah
- Protecciones DC
- Protecciones AC
- Selector de OFF - ON
- Pantalla táctil de interfaz con el usuario
- Barras AC

SOBRE EL MANUAL

Objetivo

El objetivo de este manual técnico es suministrar información especializada, detallada y precisa sobre los aspectos operativos, técnicos y funcionales del sistema, dirigido a personal con conocimientos previos en la materia. Documenta procedimientos, especificaciones, resolución ante fallas y mantenimiento preventivo-correctivo, facilitando tanto la comprensión profunda del equipo como su óptimo funcionamiento, ajuste y reparación por parte de técnicos e ingenieros responsables del soporte y desarrollo del sistema.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

ATENCIÓN: Esta sección contiene directrices críticas para la manipulación segura del sistema Powerwall. Conserve esta documentación para consultas posteriores.

1. Realice la lectura completa de los parámetros de operación y advertencias técnicas antes de iniciar cualquier procedimiento en el sistema Powerwall.

2. No ejecute desmontajes no autorizados de los componentes internos. La manipulación por personal no certificado invalidará la cobertura de garantía y podría ocasionar riesgos de incendio o fallas catastróficas en el sistema.
3. Para procedimientos de mantenimiento preventivo o correctivo, implemente el protocolo de desconexión secuencial de conductores conforme a las especificaciones del fabricante.
4. Verifique la compatibilidad de los conductores utilizados con las especificaciones técnicas del sistema, prestando especial atención a los parámetros de calibre, resistencia y capacidad de carga.
5. Durante operaciones en proximidad de los acumuladores, evite el contacto entre herramientas conductoras y terminales de batería, previniendo cortocircuitos potencialmente peligrosos.
6. Implemente estrictamente el protocolo de desconexión para terminales AC y DC conforme a la secuencia técnica establecida en la documentación.
7. Es imperativo la implementación de un dispositivo de seccionamiento para el banco de baterías. Desactive previamente los sistemas fotovoltaico y eólico antes de proceder a la desconexión del banco.
8. El sistema Powerwall debe mantener permanentemente conexión a tierra según especificaciones NEC/IEC aplicables.
9. Mantenga correcta identificación y polaridad de los terminales de entrada/salida del inversor para prevenir daños a los circuitos internos.

RESTRICCIÓN CRÍTICA: La instalación, configuración y mantenimiento de este sistema debe realizarse exclusivamente por personal certificado con las acreditaciones técnicas correspondientes.

INTRODUCCIÓN

El presente dispositivo constituye una unidad integrada tipo Powerwall destinada al almacenamiento energético para aplicaciones vehiculares, caracterizada por su arquitectura multifuncional que incorpora: convertidores para fuentes renovables (fotovoltaica y eólica), controlador de carga con algoritmos adaptativos, sistema de conversión CC/CC para la gestión del banco de acumuladores, e inversor de potencia para suministro ininterrumpido de energía.

La interfaz HMI implementa capacidades de monitorización en tiempo real de los parámetros operativos críticos del sistema, incluyendo la visualización de magnitudes eléctricas (tensión/corriente) provenientes de los subsistemas de generación, estado del banco de acumuladores (SOC, DOD, temperatura) y variables de salida del inversor, con capacidad de adaptación automática según las condiciones de carga conectada o variaciones en los parámetros de entrada del sistema.

Características

- Controlador de carga

Marca	**Voltaje max**	**Corriente max**	**Corriente de salida**	**Potencia solar**	**Potencia eólica**	**Potencia total de salida**	**Tipo de controlador**
Controlador híbrido OEM	12V/24V/48V	Dependiendo de la selección	100 A	500W, 600W, 1000W	>1000W	>1000W	MPPT
Protecciones	Protección sobre voltaje, Protección contra carga inversa solar, Protección contra carga inversa de la batería, Protección contra circuito abierto en la batería.						

- Inversor de voltaje

Marca	**Vmin de entrada**	**Vmax de entrada**	**Potencia nominal**	**Potencia pico**	**Vmin de salida**	**Vmax de salida**	**Imin**	**Imax**
Inversor WZRELB	12 V	48 V	5 Kw	10 Kw	100 V	240 V	50 A	100 A
Protecciones	Protección contra bajo voltaje, sobretensión, sobrecarga, sobrecalentamiento, cortocircuitos							

- **Baterías (Sistema de almacenamiento de energía)**

Marca	Tipo de batería	Voltaje de operación	Corriente Ah	# de ciclos	Peso
Tensite	Gel	12 V	300 Ah	1400 al 50% de descarga	67kg

- **Protección DC – Porta Fusible de 32 A**

Tipo de protección	# Polos	Tensión nominal	Corriente nominal
Fusible DC	1	12 V – 42 V	32 A

- **Protección DC – Disyuntor de 300 A**

Tipo de protección	# Polos	Tensión nominal	Corriente nominal
Disyuntor DC	1	12 V – 42 V	300 A

- **Protección AC – Interruptor termomagnético de 16 A**

Tipo de Interruptor	# Polos	Tensión nominal	Corriente nominal
Termomagnética	1	12 V – 42 V	16 A

- **Protección AC – Interruptor termomagnético de 50 A**

Tipo de Interruptor	# Polos	Tensión nominal	Corriente nominal
Termomagnética	1	12 V – 42 V	50 A

- **Protección AC – Interruptor diferencial de 63 A**

Tipo de Interruptor	# Polos	Tensión nominal	Corriente nominal
Diferencial	1	12 V – 42 V	63 A

- **Selector de 2 posiciones (OFF – ON)**
- **Luces piloto (Roja – OFF) (Verde – ON)**

- Arduino MEGA 2560

Especificaciones	Arduino Mega 2560
Velocidad de Reloj	16 MHz
Memoria Flash	256 KB (8 KB usados por el bootloader)
Memoria SRAM	8 KB
Memoria EEPROM	4 KB
Pines de Entrada/Salida Digital	54 (15 de ellos pueden ser usados como salidas PWM)
Pines de Entrada Analógica	16
Corriente Máxima por Pin	20 mA (máximo por pin, 50 mA total para todos los pines)
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de Entrada	7-12V (típico 9V)
Interfaz de Comunicación	USB, UART, SPI, I2C
Conexión USB	Tipo B

- Medidor multifunción AC PZEM-004T

Especificación	**Medidor multifunción PZEM**
Rango de Medición de Voltaje:	AC 80-260v
Resolución de Voltaje:	0.1V
Precisión de voltaje:	0,5%
Rango de Medición de Corriente:	0-100A
Resolución de corriente Actual:	0.001
Precisión de corriente Actual:	0,5%
Rango de Medición de Potencia Activa:	0-23kw
Interfaz	UART/TTL

- Medidor multifunción DC PZEM-017

Especificaciones	**PZEM-017**
Tipo de medición	Corriente continua (DC)
Voltaje de operación	0-300 V DC
Corriente de medición	0-50 A / 0-100 A
Potencia de medición	0-15000 W
Precisión del voltaje	±1%
Precisión de la corriente	±1%

Precisión de la potencia	±1%
Interfaz de comunicación	UART/TTL (conexión serial)
Tipo de conexión	Conexión directa con el microcontrolador (como Arduino)
Alimentación	5V a través de VCC (usualmente se conecta al mismo voltaje de entrada)
Rango de temperatura de operación	-10°C a 60°C
Indicadores	Pantalla LCD (en algunos modelos)
Compatibilidad	Compatible con Arduino, ESP32, y otros microcontroladores
Tamaño	48mm x 38mm (tamaño compacto para fácil integración)

- Sensor de temperatura general DTH22

Especificaciones	**Sensor DTH22**
Modelo	DHT22 (también conocido como AM2302)
Fabricante	Aosong Electronics Co., Ltd.
Voltaje de operación	3.3V - 5.5V DC
Consumo de corriente	1.5mA máximo durante la conversión
Rango de medición de temperatura	-40°C a +80°C
Precisión de temperatura	±0.5°C
Tiempo de respuesta	2 segundos
Frecuencia de muestreo	0.5 Hz (una lectura cada 2 segundos)
Resolución	0.1°C para temperatura, 0.1% para humedad
Tipo de salida	Digital (mediante protocolo de comunicación propietario)
Interfaz	Un solo cable (One-wire)
Tamaño físico	15.1mm x 25mm x 7.7mm
Vida útil	1-2 años (uso normal)

- Sensor de temperatura para baterías BMP280

Especificaciones	**Sensor BMP280**
Modelo	BMP280
Fabricante	Bosch Sensortec
Voltaje de operación	1.71V - 3.6V DC
Consumo de corriente	2.7µA (modo normal), 0.1µA (modo standby)
Rango de medición de temperatura	-40°C a +85°C
Precisión de temperatura	±1.0°C
Interfaces de comunicación	I^2C (hasta 3.4 MHz) y SPI (hasta 10 MHz)
Tiempo de respuesta	5.5 ms (para sobremuestreo estándar)
Tamaño físico	2.0mm x 2.5mm x 0.95mm (LGA package)

Resolución ADC	20 bits para presión, 16 bits para temperatura
Características especiales	Filtro IIR configurable, detección de eventos de presión
Vida útil	>8 años (uso normal)

- Pantalla NEXTION 5.0

Especificaciones	**Pantalla Nextion**
Voltaje de operación	4.75V - 7V (alimentación típica de 5V).
Dispositivos compatibles	Arduino, Raspberry Pi
Max memoria RAM	8192 BYTES
Recuento Procesador	1 Procesador ARM Cortex-M
Tecnología de conexión	Serie TTL
Capacidad Almacenamiento Memoria	16 MB
Resolución	800x480

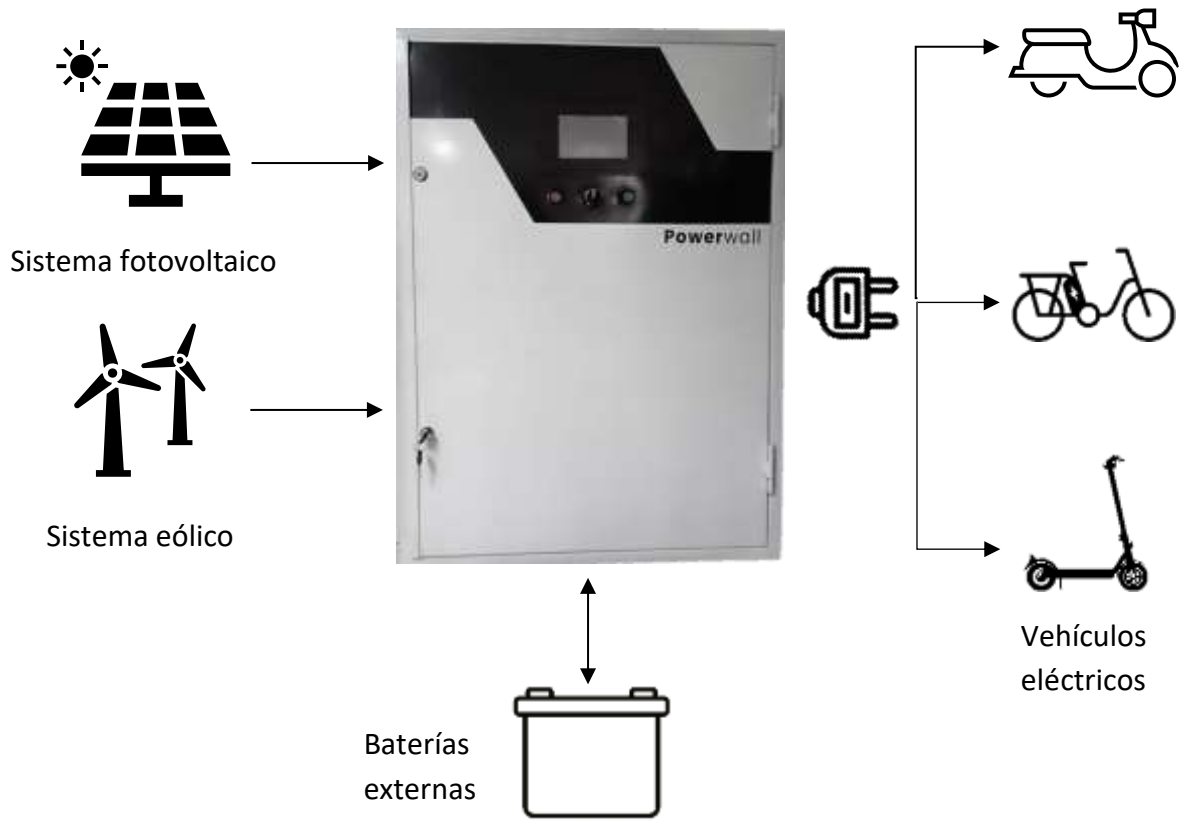
- Conductores

Tramo	**Distancia [m]**	**# conductores**	**AWG**	**R [Ω/m]**	**[A]**	**[V]**	**ΔV%**	**Límite permitido**
Sistema fotovoltaico – Porta fusible DC 25 A	2	2	4	5,26	22,52	24	0,09	<3%
Porta fusible DC 25 A – Controlador de carga	0,5	2	10	5,26	22,52	24	0,02	<3%
Controlador de carga – Banco de baterías	0,9	2	6	1,32	30,17	24	0,01	<3%
Banco de baterías – Disyuntor DC 300 A	1	2	4	1,32	40,18	24	0,04	<3%
Disyuntor DC 300 A – Inversor	1	2	4	1,32	40,18	24	0,04	<3%
Sistema eólico – Interruptor termomagnético AC 16A	2	2	6	1,32	7,65	27	0,07	<3%
Interruptor termomagnético AC 16A – Controlador de carga	0,5	2	10	1,32	7,65	27	0,01	<3%
Inversor – Interruptor termomagnético AC 50 A	0,5	2	10	8,17	8,76	110	0,03	< 5%

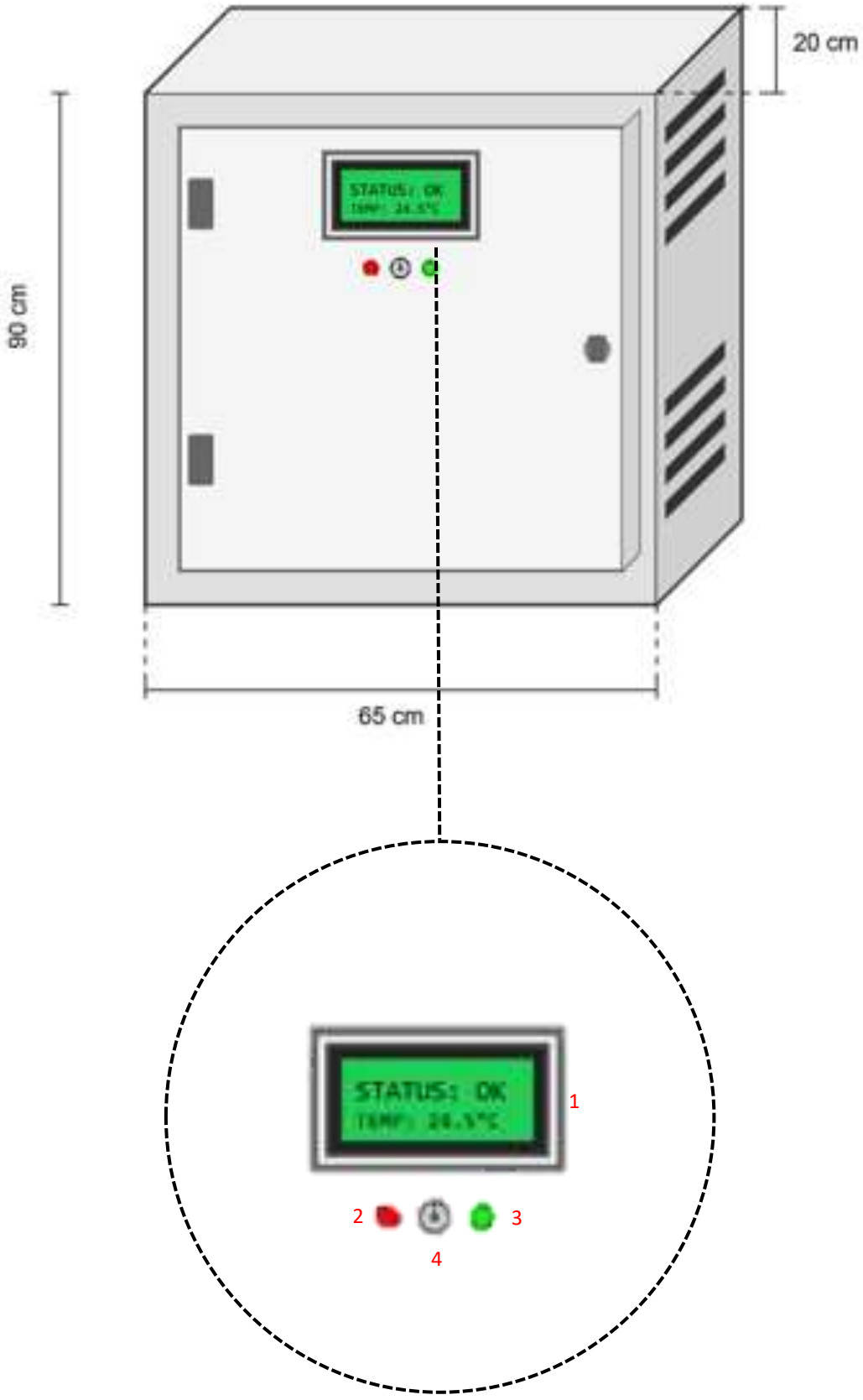
Interruptor termomagnético AC 50 A – Interruptor diferencial AC 63 A	0,5	2	10	8,17	8,76	110	0,03	< 5%
Interruptor diferencial AC 63 A – Sistema de control	2	2	10	8,17	8,76	110	0,01	< 5%
Sistema de control – Barras AC	1,8	2	10	8,17	8,76	110	0,01	< 5%

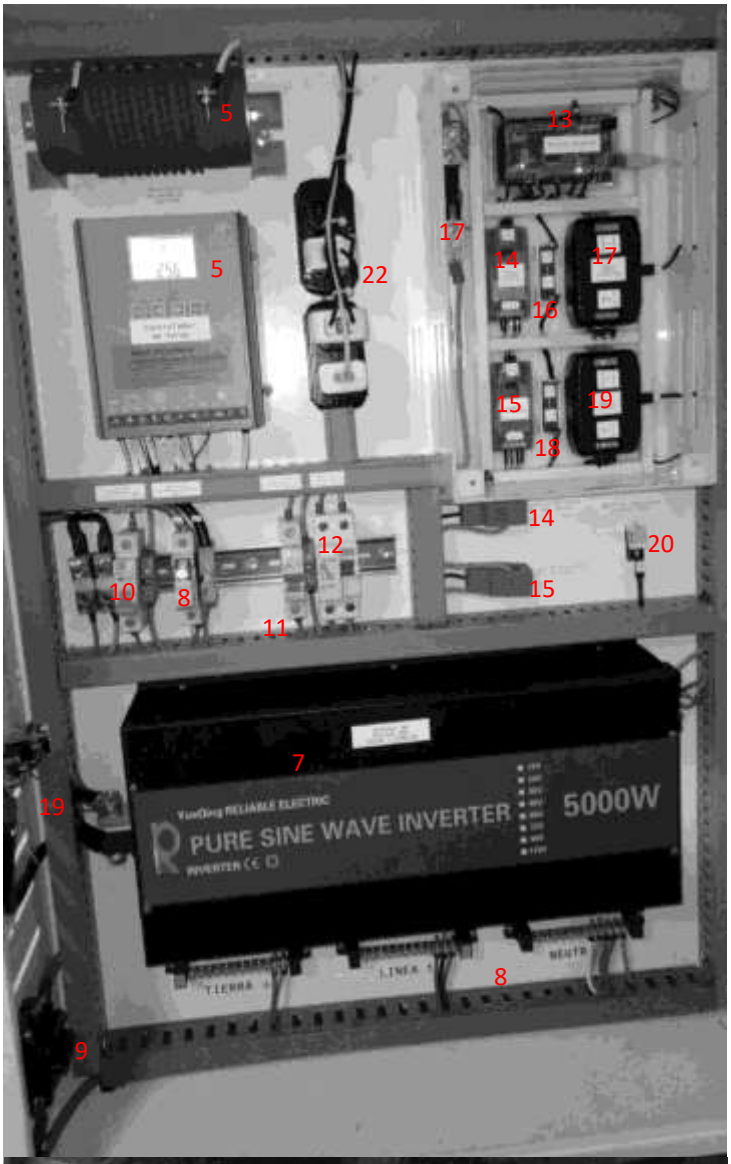
Sistema de funcionamiento básico

El diagrama adjunto la topología operativa de la unidad Powerwall, detallando la conexión básica entre los diferentes subsistemas: el sistema fotovoltaico, el sistema eólico y el banco de baterías. Esta unidad de almacenamiento energético está diseñada para suministrar alimentación a vehículos eléctricos utilizados en el programa académico de Ingeniería Eléctrica, así como a cualquier unidad vehicular eléctrica compatible con la especificación de tensión nominal de 110 V AC, cumpliendo con los parámetros de calidad de energía requeridos por dichos sistemas de propulsión.



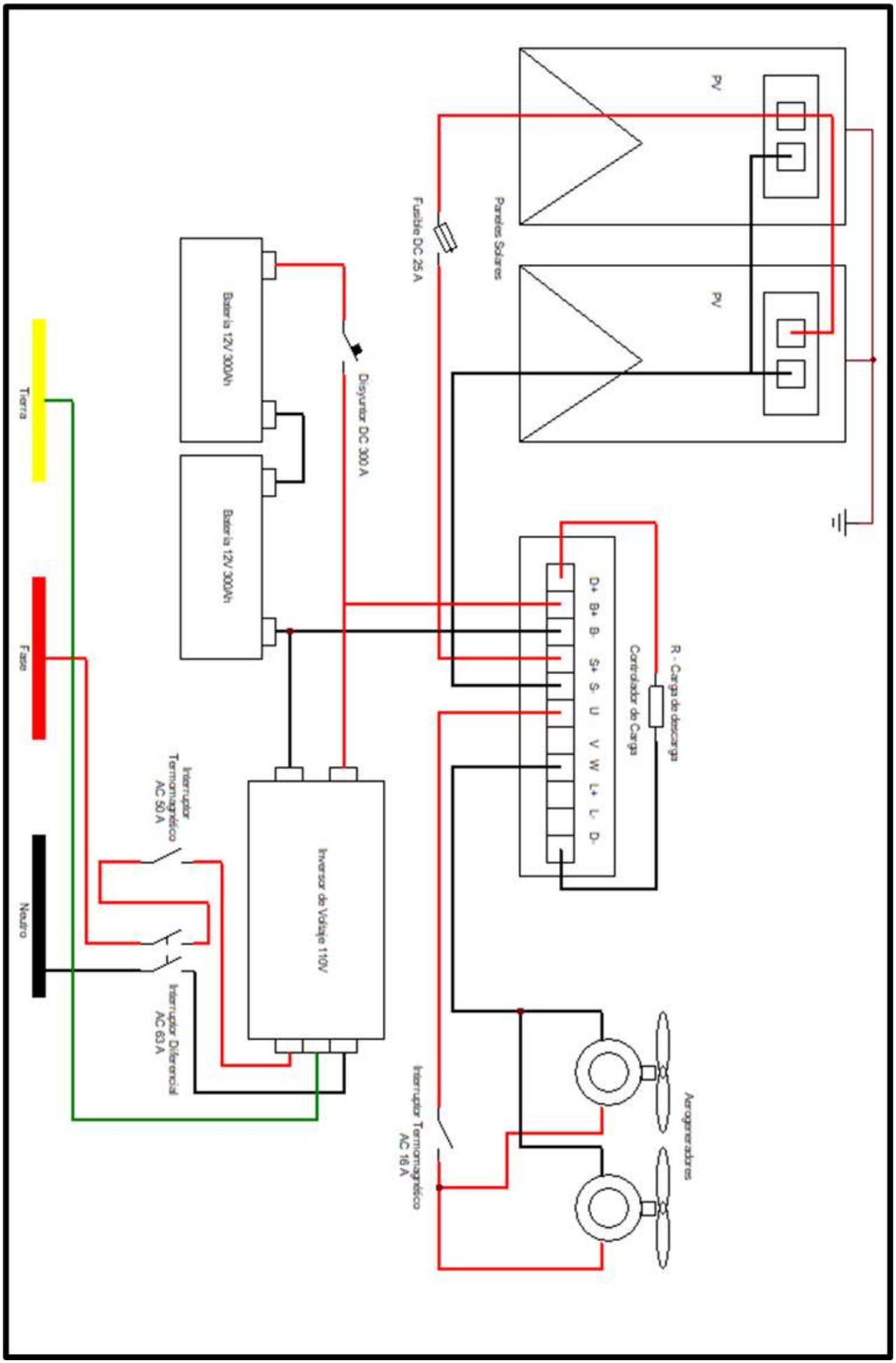
Revisión del producto



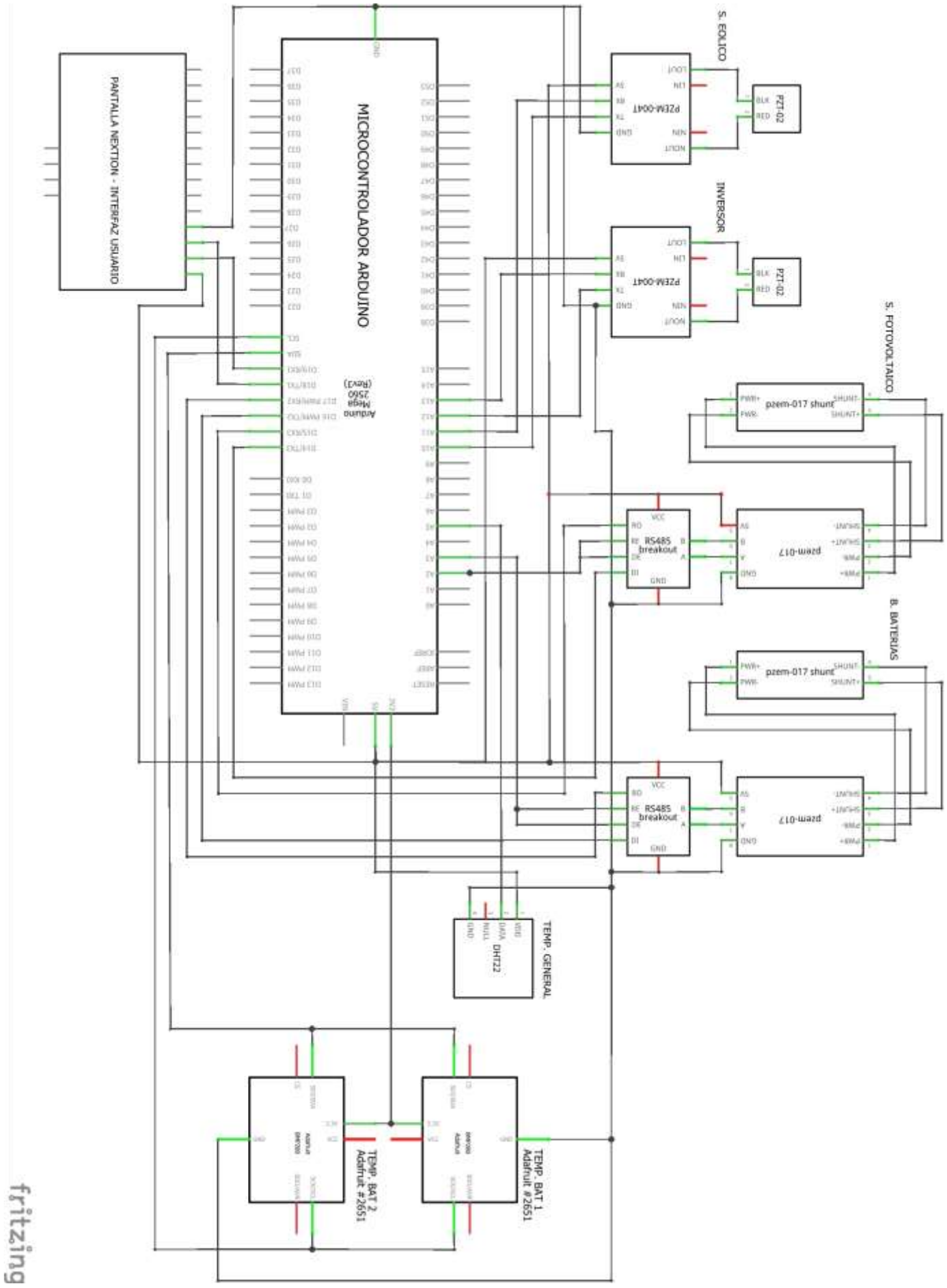


1. Pantalla NEXTION 5.0 como interfaz de usuario
2. Luz piloto roja OFF
3. Luz piloto verde ON
4. Selector OFF – ON de 2 posiciones
5. Controlador de carga híbrido con carga de descarga 1000 W
6. Banco de baterías 24V 300 Ah
7. Inversor de voltaje
8. Fusible DC 25 A
9. Disyuntor DC 300 A
10. Interruptor termomagnético AC 16 A
11. Interruptor termomagnético AC 50 A
12. Interrupto diferencial AC 63 A
13. Arduino MEGA 2560
14. PZEM-004T con CT 100 A – S. eólico
15. PZEM-004T con CT 100 A – Inversor
16. Convertidor TTL para PZEM-017 – S. fotovoltaico
17. PZEM-017 con SHUNT 50 A – S. fotovoltaico
18. Convertidor TTL para PZEM-017 – Banco de baterías
19. PZEM-017 con SHUNT 200 A – Banco de baterías
20. Sensor de temperatura general DTH22
21. Sensor de temperatura BMP280 para cada batería

ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO



ESQUEMÁTICO DEL SITEMA DE MONITOREO



INSTALACIÓN

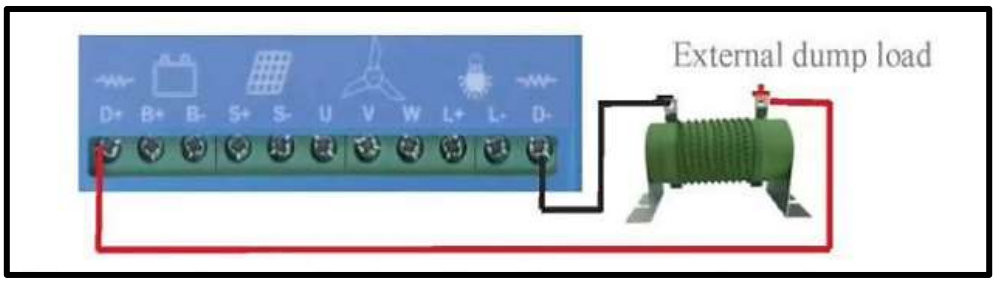
Antes de la instalación, por favor inspeccione el equipo. Asegúrese de que no hay ningún elemento dañado.

Posterior al posicionamiento del tablero de control sobre la pared, se procedió a la instalación de los componentes del circuito de potencia en el compartimento de doble fondo. La disposición de cada elemento fue estratégicamente fijada para optimizar las rutas de cableado dentro del sistema. Los conductores fueron organizados y guiados a través de las canaletas preinstaladas, asegurando una organización adecuada según niveles de tensión y categoría de señal. La instalación garantiza una correcta gestión térmica, facilita el acceso para mantenimiento preventivo y correctivo.

Conexión del controlador de carga en el circuito de potencia

El controlador de carga en el sistema Powerwall constituye un elemento importante crítico para la gestión bidireccional de potencia, gestiona eficientemente los flujos de energía entre fuentes renovables y baterías, protegiendo contra sobrecargas y descargas profundas, optimizando la conversión energética, adaptándose a condiciones climáticas variables y maximizando la vida útil de todos los componentes del sistema.

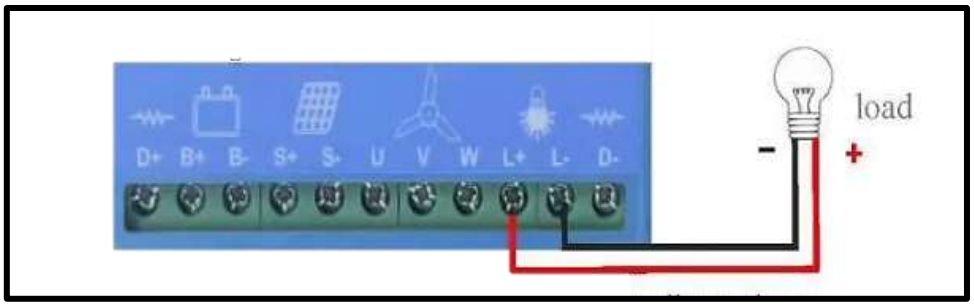
Cableado de carga de descarga



El controlador de carga gestiona el excedente energético mediante derivación controlada hacia una resistencia disipativa. El cableado requiere conexión bipolar: terminal positivo (+) al puerto D+ del controlador y terminal negativo (-) al puerto D-

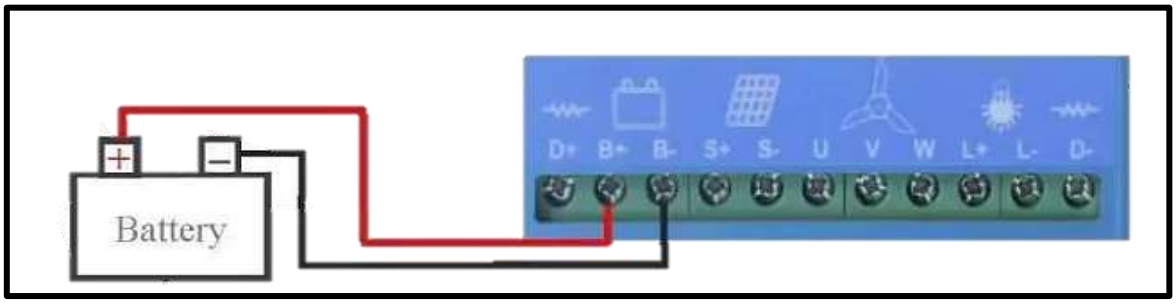
, permitiendo la disipación térmica programada cuando los acumuladores alcanzan su estado de carga máximo.

Cableado de carga



Se represente la conexión para cargas de consumo al controlador híbrido. El cableado establece un circuito de alimentación para dispositivos externos mediante conexión bipolar: terminal positivo (+) al puerto L+ y terminal negativo (-) al puerto L- del controlador. Esta disposición permite la distribución regulada de corriente continua hacia componentes consumidores, garantizando protección contra sobrecargas y manteniendo la polaridad correcta según especificaciones nominales del sistema.

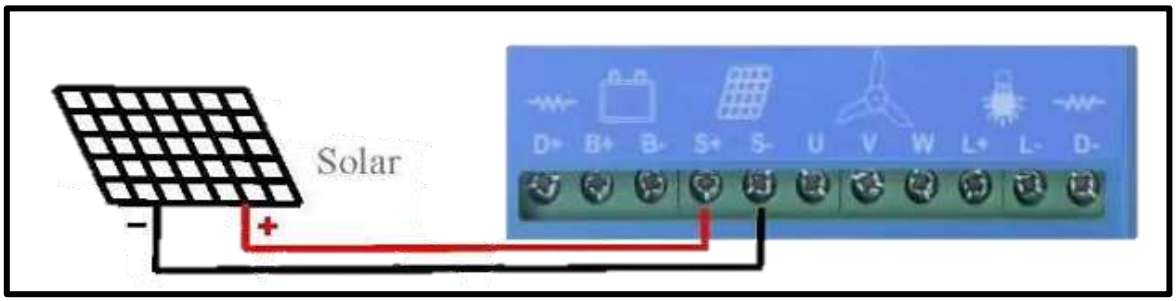
Cableado del banco de baterías



Se visualiza la conexión entre banco de baterías y el controlador de carga. Esta configuración establece la ruta bidireccional de corriente mediante conexión del terminal positivo (+) al puerto B+ y terminal negativo (-) al puerto B-. Esta conexión facilita los procesos de carga/descarga controlada del banco de baterías. Además,

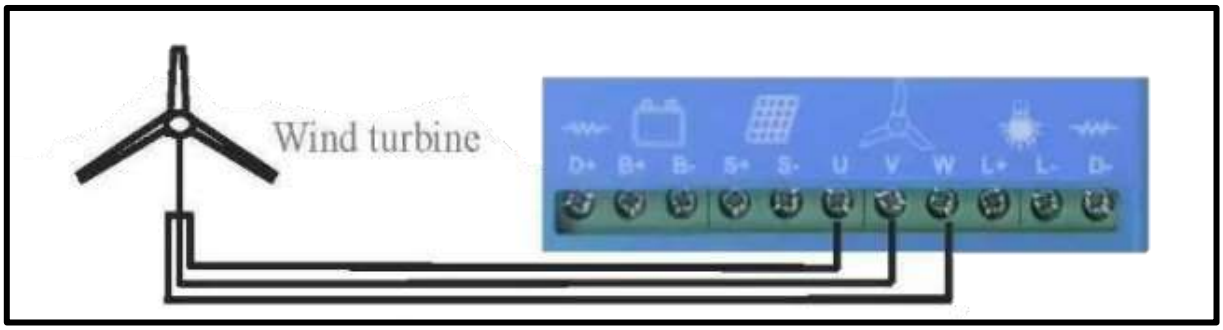
implementa sistemas de protección contra sobrecarga, descarga profunda y polaridad inversa.

Cableado del sistema fotovoltaico



Se muestra la conexión entre el arreglo fotovoltaico y el controlador de carga. El cableado establece la ruta unidireccional para la captación energética mediante la conexión del terminal positivo (+) del arreglo al puerto S+ y el terminal negativo (-) al puerto S-. Esta configuración permite la implementación de algoritmos MPPT para optimización de conversión energética, Además, incorpora protección contra polaridad inversa y limitación de sobretensiones.

Cableado del sistema eólico



Se visualiza la interconexión entre el aerogenerador y el controlador híbrido. La configuración establece el circuito de captación eólica mediante conexión del terminal positivo al puerto W+ y negativo al puerto W-. Esta conexión permite la rectificación y acondicionamiento de corriente alterna trifásica generada por turbina eólica, el controlador tiene algoritmos de control para la optimización de potencia

según su velocidad de rotación y protección contra sobretensiones por ráfagas extremas.

Para la configuración del controlador de carga ingrese al siguiente link https://mega.nz/file/4FoyFZKC#-ISWcQa5v8dpDe0A3gCgsS-gAJLxNNGbHCqvnxsOQFs

Cableado del banco de baterías

En el sistema Powerwall, la conexión en serie de las dos baterías de 12V 300Ah para formar un banco de 24V 300Ah responde a la necesidad de adaptar el voltaje de entrada requerido por el inversor (24V), manteniendo la misma capacidad de almacenamiento. Esta configuración permite optimizar la eficiencia de conversión del inversor mientras se minimiza la corriente circulante por los conductores. El controlador de carga conectado en paralelo puede gestionar adecuadamente la recarga del banco. Se usó un conductor de calibre 4 AWG ya que es apropiado para estas conexiones debido a su capacidad de manejar las corrientes del sistema sin sobrecalentarse y con mínimas pérdidas por resistencia. Cuando el banco de baterías se encuentra en un rango de Tensión de Carga uso en Flotación (Float) el voltaje estará entre 27.2 V a 27.6 V.

Cableado del inversor de voltaje

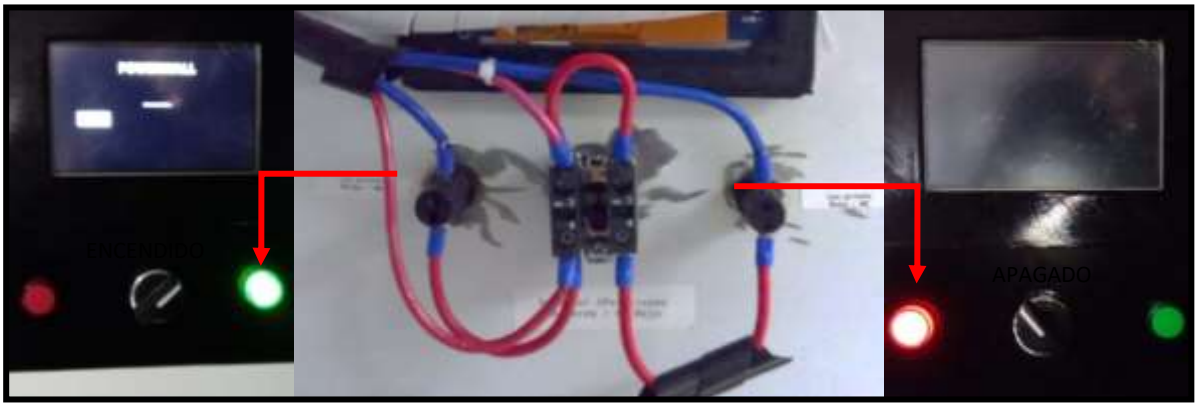
Para la instalación del inversor inicialmente debemos verificar la polaridad del banco de baterías, conectamos conductores de calibre 4 AWG en los terminales correspondientes y aplicamos el torque adecuado en conexiones para evitar arcos eléctricos. Se identificó los terminales de entrada DC del inversor (positivo/rojo, negativo/negro) siguiendo la polaridad. Además del banco de batería se conecta el controlador de carga en paralelo con estos dos.

Barras AC

La implementación de barras colectoras de distribución en AC a 120V alimentadas por el inversor de voltaje permite centralizar la conexión de cargadores para vehículos de movilidad eléctrica como scooters, bicicletas y motocicletas, optimizando la administración de puntos de carga. Para el cableado se usó el conductor calibre #10 flexible ya que proporciona la capacidad adecuada para transportar la corriente demandada por los múltiples dispositivos sin

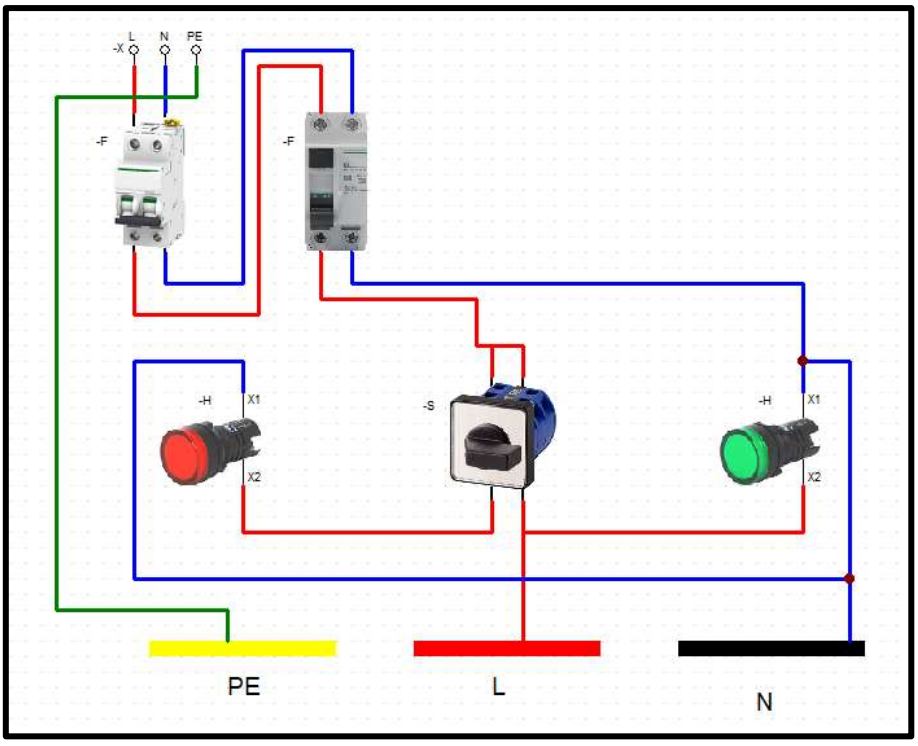
sobrecalentamiento, manteniendo la caída de tensión dentro de parámetros aceptables.

Control de encendido y apagado



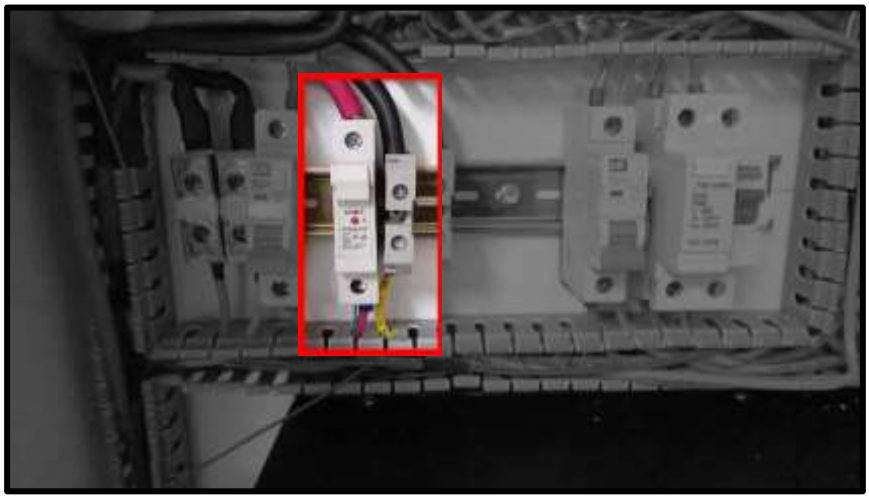
El sistema de control es necesario para energizar y des energizar el voltaje de salida del sistema Powerwall. Se hizo uso de una luz piloto verde (operación normal), roja (falla) y un selector de tres posiciones (0/apagado, NA, NC) esto permite gestionar los estados operativos del inversor de voltaje. El cableado se realizó con conductor flexible #10 AWG garantizando la capacidad de corriente adecuada para la barra AC, posibilitando conmutación manual esencial para mantenimiento y contingencias del sistema de alimentación eléctrica.

Esquema de conexión del sistema de control



El circuito para el sistema de control se realizó en el software CADe_SIMU mediante la representación de los contactos de L, N y PE como los terminales de salida del inversor de voltaje. Además, del uso de elementos eléctricos como protección termomagnética, protección diferencial, luces piloto y un selector de 3 posiciones. De igual forma se representó las barras en AC con franjas de colores.

Fusible DC 25 A

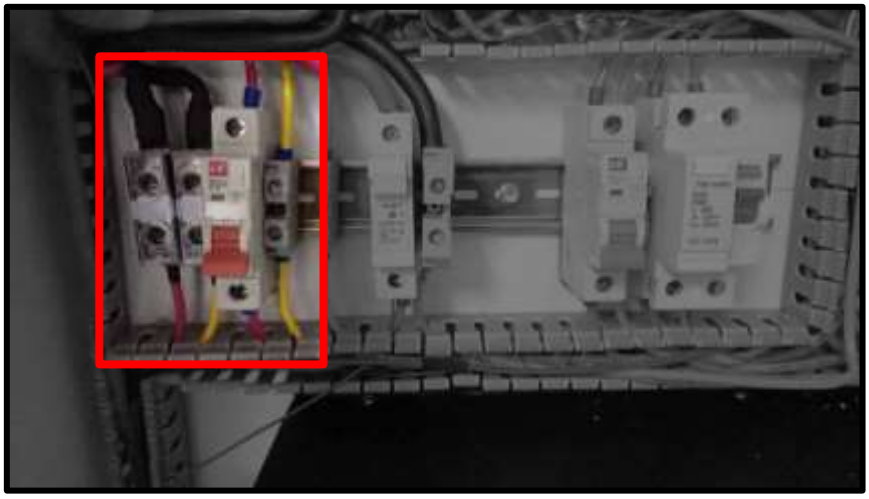


El fusible DC de 21 Amperios en un sistema fotovoltaico no ayuda como dispositivo de seguridad que se activará cuando la corriente exceda este valor límite. La corriente nominal es de 15.75A y la corriente de cortocircuito puede alcanzar 18.02A. El fusible está dimensionado ligeramente por encima (21A) para tolerar picos momentáneos de corriente sin dispararse innecesariamente, pero protegerá el sistema si ocurre una sobre corriente peligrosa que pudiera dañar los componentes. El cableado de entrada del fusible comprende un conductor #4 directamente del arreglo de los dos paneles fotovoltaicos en paralelo, a la salida de fusible tenemos un conductor # 10 el cual se cablea hacia el controlador de carga. El conductor negativo antes de conectarlo con el controlador de carga se conecta a un shunt del sensor Pzem017 para medir su corriente, cierra el circuito y se conecta con el controlador de carga.

Disyuntor DC 300 A banco de baterías

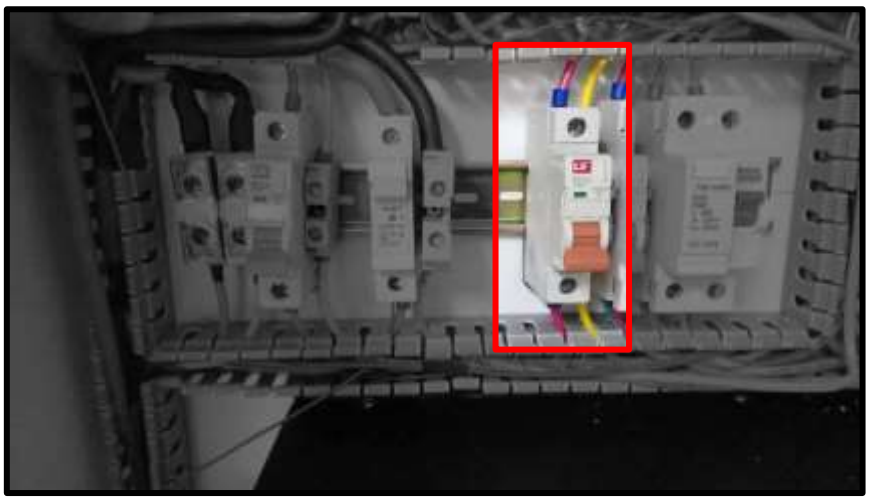
El disyuntor de 300 amperios para el banco de baterías de 24V y 300Ah funciona como elemento de seguridad crucial que corta automáticamente el circuito ante fallos eléctricos. En este sistema de almacenamiento con capacidad de 7200Wh, el disyuntor está dimensionado para manejar corrientes máximas de descarga profunda y picos transitorios (hasta 300A), protegiendo contra cortocircuitos y sobrecargas severas que podrían provocar sobrecalentamiento, daños irreversibles a las baterías o incendios. Además, permite desconectar manualmente el sistema para realizar mantenimiento seguro en la instalación. El cableado de entrada del disyuntor comprende el conductor positivo de calibre #4 directamente del banco de baterías conectadas en serie, a la salida de disyuntor tenemos un conductor # 4 el cual se cablea hacia el inversor de voltaje. El conductor negativo antes de conectarlo al inversor de voltaje al igual que el sistema fotovoltaico se conecta a un shunt del sensor Pzem017 para medir su corriente, cierra el circuito y se conecta con el inversor de voltaje.

Interruptor termomagnético 1 x 16 A - Sistema eólico



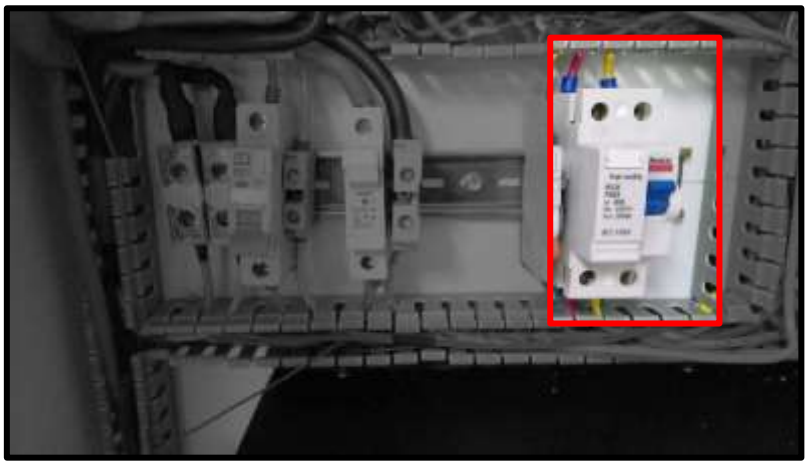
El interruptor termomagnético de 1x16 amperios protege el circuito contra sobrecargas y cortocircuitos en la conexión entre los aerogeneradores y el controlador de carga. Desconecta automáticamente el sistema cuando la corriente supera los 16A, evitando daños en los componentes y posibles incendios. Para mayor manejo de los conductores y mayor facilidad de cableado se instaló dos terminales para los conductores # 6, seguido de eso se cable con un conductor # 10 hacia la entrada del interruptor termomagnético. Los conductores de salida se cablean hacia el controlador de carga, el conductor negativo pasará por un CT o transductor que medirá la corriente que circule por el conductor.

Interruptor termomagnético 1 x 50 A – Inversor de voltaje



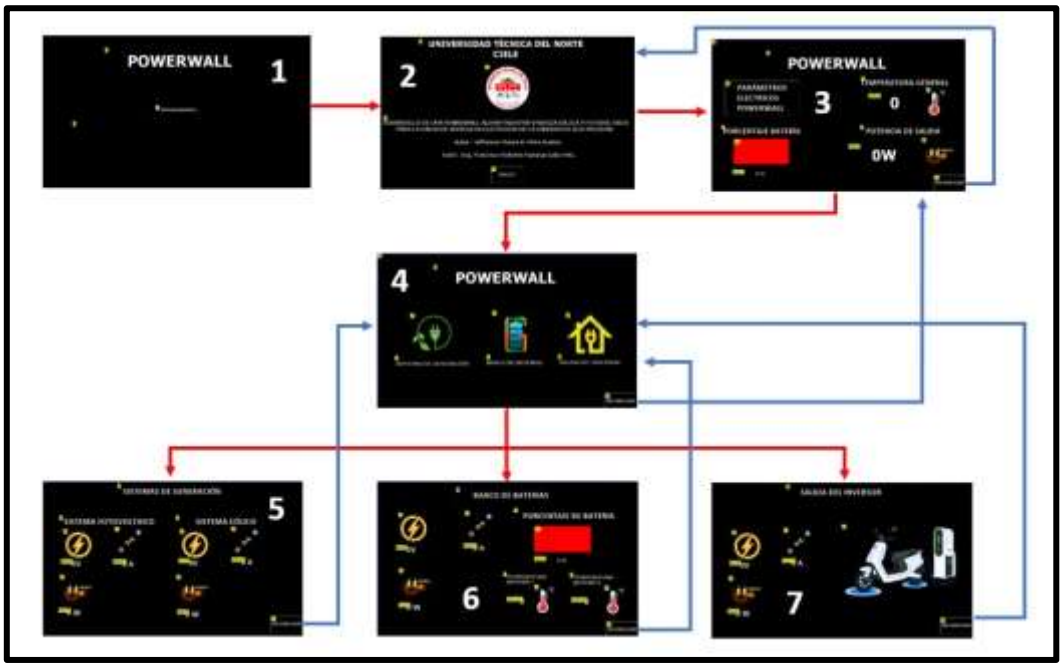
El interruptor termomagnético de 1x50 amperios instalado a la salida del inversor de 5000W/10000W pico protege los circuitos conectados contra sobrecargas y cortocircuitos. Actúa como primera barrera de seguridad antes del interruptor diferencial, interrumpiendo el flujo cuando la corriente excede 50A, evitando daños en la instalación eléctrica alimentada por la corriente de 120V del inversor. El cableado de entrada del interruptor termomagnético comprende un conductor # 10 directamente del inversor de voltaje, a la salida de interruptor tenemos un conductor # 10 el cual se cablea hacia la siguiente protección en AC para la protección del personal.

Interruptor diferencial 1 x 63 A – Barras AC



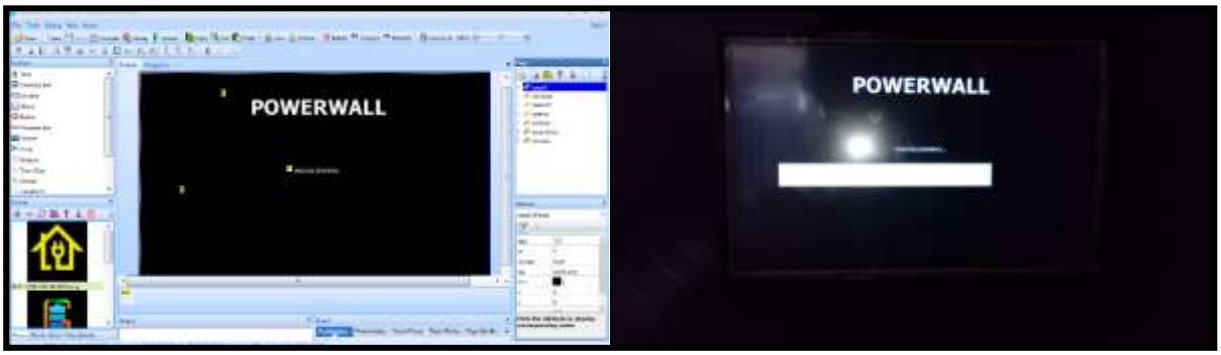
El interruptor diferencial de 1x63 amperios conectado después del termomagnético detecta fugas de corriente entre fase y neutro, protegiendo contra electrocución y contactos indirectos. Su función es complementar al termomagnético desconectando automáticamente cuando detecta corrientes de fuga (típicamente 30mA), proporcionando seguridad adicional a las personas y equipos conectados a las barras AC que distribuyen la energía del inversor. Los conductores de salida se cablean hacia las barras en AC, el conductor negativo pasará por un CT o transductor que medirá la corriente que circule por el conductor.

Esquema de navegación de la interfaz en la Pantalla Nextion 5.0



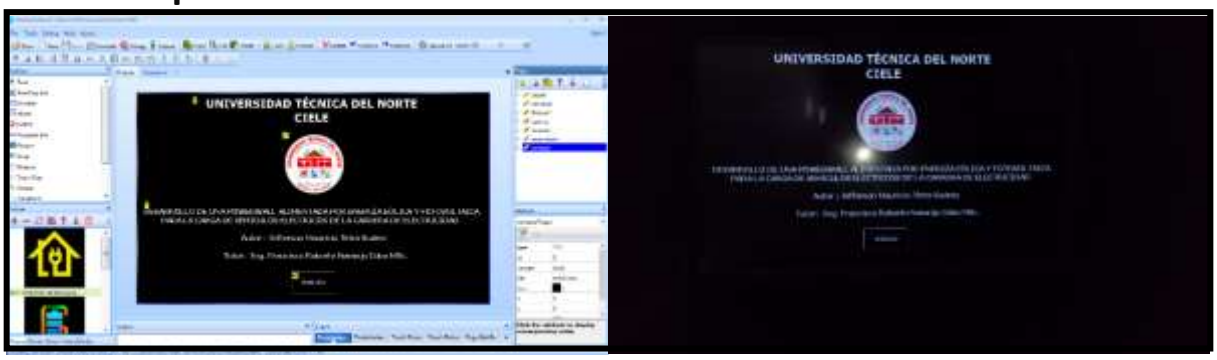
Cada uno de los parámetros que se muestra en la interfaz con el usuario tiene una variable, con la cual se nombra a cada uno de los elementos y bloques deseados para visualizarlos en pantalla. Esta asignación de variables permite la actualización dinámica de los datos mostrados, estableciendo una comunicación bidireccional entre el sistema Powerwall y la pantalla Nextion. La personalización de estos elementos visuales incluye gráficos de barras, indicadores numéricos y alertas cromáticas que proporcionan al usuario una comprensión inmediata del estado operativo del sistema sin necesidad de interpretación técnica compleja.

Pestaña de carga de la interfaz



En la siguiente pestaña se visualiza una barra de carga del sistema Powerwall con una duración de 21 segundos, mientras se carga la barra los sensores empezarán a tomar las mediciones del sistema. Este proceso de inicialización es fundamental para establecer los parámetros operativos base que garantizan el funcionamiento óptimo del almacenamiento energético.

Pestaña de portada



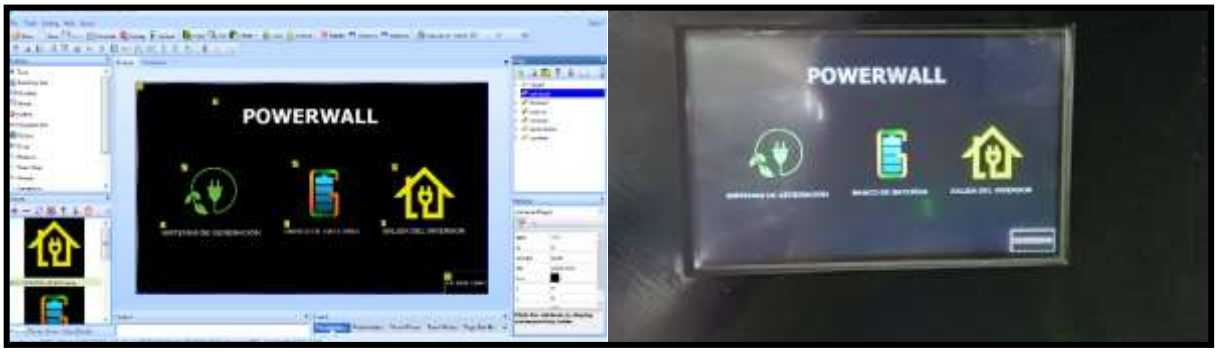
En la pestaña portada se puede apreciar una completa visualización de la información principal del proyecto, incluyendo el título formal del tema de grado, el nombre del tesista, el nombre del tutor asignado que guía el trabajo de grado. Estratégicamente ubicado en la sección inferior central de esta interfaz, encontramos un ícono interactivo denominado "INICIO", el cual cumple una función de navegación esencial, ya que, al hacer clic sobre él, automáticamente nos redirige hacia la siguiente pestaña del documento, permitiendo una transición fluida entre las diferentes secciones del trabajo presentado.

Pestaña de datos principales

En la pestaña de datos principales de la interfaz encontramos los cuatro parámetros importantes del sistema Powerwall. La temperatura general de módulo, la potencia de salida del inversor dependiendo de las cargas conectadas, el porcentaje de batería del banco de baterías, un ícono de los parámetros eléctricos específicos del sistema

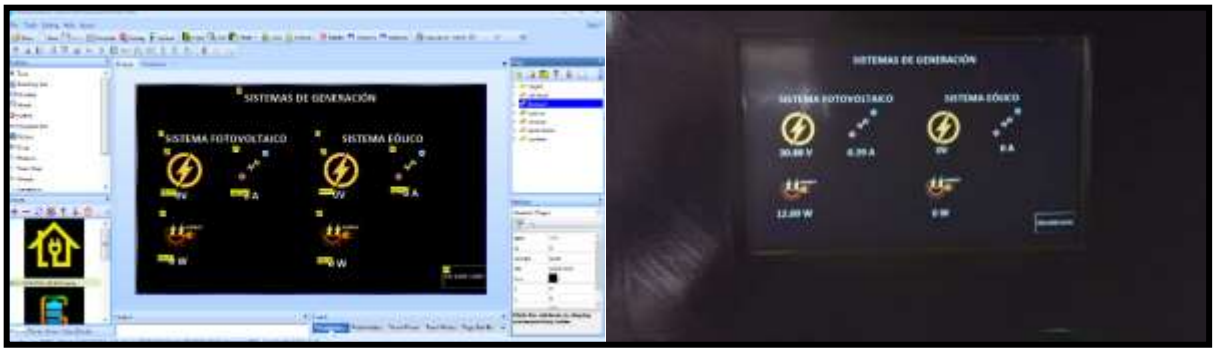
Powerwall. En la parte inferior derecha tenemos un ícono de REGRESAR el cual nos dirige a la pestaña anterior.

Pestaña de parámetros eléctricos del sistema Powerwall



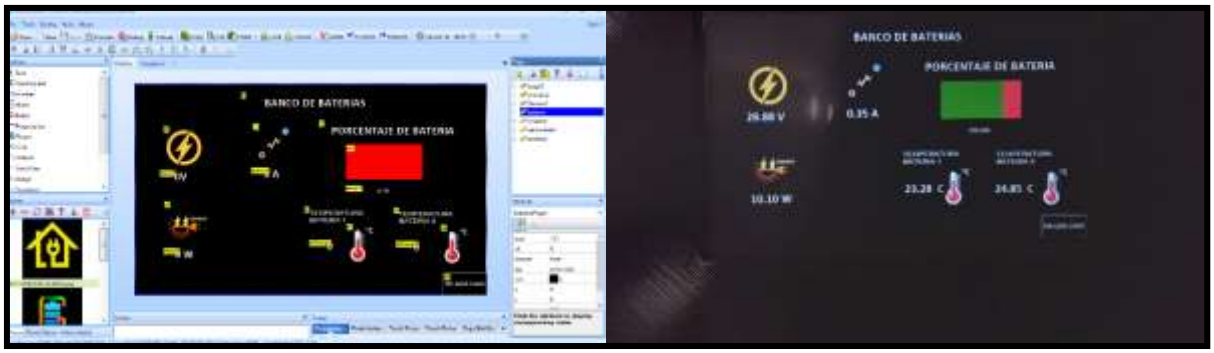
Al ingresar en el ícono de los íconos de parámetros eléctricos del sistema Powerwall obtenemos 3 íconos más que nos dirigen a sus propias pestañas. Podremos ver los parámetros de los sistemas de generación, parámetros del banco de baterías y los parámetros de la salida del inversor. En la parte inferior derecha tenemos un ícono de REGRESAR el cual nos dirige a la pestaña anterior.

Pestaña de sistemas de generación



En la pestaña de los sistemas de generación podemos observar los parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia tanto del sistema fotovoltaico como del sistema eólico. Podemos visualizar estos datos en tiempo real para analizar los datos eléctricos para un análisis del sistema Powerwall. En la parte inferior derecha tenemos un ícono de REGRESAR el cual nos dirige a la pestaña anterior.

Pestaña de banco de baterías



Dentro de la pestaña del banco de baterías visualizamos los parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia del banco de batería. De igual forma que la pestaña principal observamos el porcentaje del banco de batería. De igual forma que es la pestaña principal tenemos datos de temperatura, pero de cada batería. En la parte inferior derecha tenemos un ícono de REGRESAR el cual nos dirige a la pestaña anterior.

Pestaña de la salida del inversor

La última pestaña trata sobre los parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia de la salida del inversor en tiempo real, esto nos permite ver las mediciones eléctricas y analizarlas según las cargas que conectemos al sistema Powerwall. En la parte inferior derecha tenemos un ícono de REGRESAR el cual nos dirige a la pestaña anterior.

Código de programación del sistema de monitoreo

```
#include <ModbusMaster.h>
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include "DHT.h"
#define NEXTION Serial1  // Usar Serial1 del Arduino Mega

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>

Adafruit_BMP280 bmp1; // Primer sensor BMP280
Adafruit_BMP280 bmp2; // Segundo sensor BMP280

#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);


SoftwareSerial swSerial1(12, 13);  // RX, TX
PZEM004Tv30 pzem1(12, 13);


SoftwareSerial swSerial2(10, 11);  // RX, TX
PZEM004Tv30 pzem2(10, 11);

// Definir el pin de control para DE/RE Sensor pzm017 1
#define MAX485_DE      2
#define MAX485_RE_NEG  2
// Definir el pin de control para DE/RE Sensor pzm017 2
#define MAX485_DE_1      3
#define MAX485_RE_NEG_1  3

// Crear una instancia de ModbusMaster
ModbusMaster node;
ModbusMaster node1;

void preTransmission()
{
  digitalWrite(MAX485_DE, 1);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 1);
  digitalWrite(MAX485_DE_1, 1);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG_1, 1);
}
void preTransmission1()
{
  digitalWrite(MAX485_DE_1, 1);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG_1, 1);
}
```

```
void postTransmission()
{
  digitalWrite(MAX485_DE, 0);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 0);
}
void postTransmission1()
{
  digitalWrite(MAX485_DE_1, 0);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG_1, 0);
}

void setup()
{
  dht.begin();
  Serial1.begin(9600);

  // Inicializar el primer sensor BMP280
  if (!bmp1.begin(0x76)) { // Dirección 0x76 para el primer sensor
    Serial.println(F("No se encontró el primer sensor BMP280"));
    while (1);
  }

  // Inicializar el segundo sensor BMP280
  if (!bmp2.begin(0x77)) { // Dirección 0x77 para el segundo sensor
    Serial.println(F("No se encontró el segundo sensor BMP280"));
    while (1);
  }

  // Configurar la precisión de los sensores (opcional)
  bmp1.setSampling(Adafruit_BMP280::MODE_NORMAL,
                   Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16,
                   Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16,
                   Adafruit_BMP280::FILTER_X16,
                   Adafruit_BMP280::STANDBY_MS_500);

  bmp2.setSampling(Adafruit_BMP280::MODE_NORMAL,
                   Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16,
                   Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16,
                   Adafruit_BMP280::FILTER_X16,
                   Adafruit_BMP280::STANDBY_MS_500);

  pinMode(MAX485_DE, OUTPUT);
  pinMode(MAX485_RE_NEG, OUTPUT);

  pinMode(MAX485_DE_1, OUTPUT);
  pinMode(MAX485_RE_NEG_1, OUTPUT);

  // Iniciar en modo recepción
  digitalWrite(MAX485_DE, 0);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 0);
```

```
  digitalWrite(MAX485_DE_1, 0);
  digitalWrite(MAX485_RE_NEG_1, 0);

  // Iniciar la comunicación serial
  Serial.begin(9600);
  Serial3.begin(9600);
  Serial2.begin(9600);
  swSerial1.begin(9600);  // Primer PZEM-004T
  swSerial2.begin(9600);  // Segundo PZEM-004T

  // Iniciar el nodo Modbus
  node.begin(1, Serial3); // 1 es la dirección del esclavo (PZEM-003)
  node1.begin(1, Serial2); // 1 es la dirección del esclavo (PZEM-003)

  // Configurar las funciones de pre y post transmisión
  node.preTransmission(preTransmission);
  node1.preTransmission(preTransmission1);
  node.postTransmission(postTransmission);
  node1.postTransmission(postTransmission1);
}

void loop()
{
  uint8_t result;
  uint16_t data[6];

  uint8_t result1;
  uint16_t data1[6];

  // Leer los registros del PZEM-003
  result = node.readInputRegisters(0x0000, 6);
  result1 = node1.readInputRegisters(0x0000, 6);

    Serial.println("Datos del sistema fotovoltaico :");

  if (result == node.ku8MBSuccess)
  {
    // Los datos se han leído correctamente
    Serial.print("Voltaje: ");
    Serial.print(node.getResponseBuffer(0x00) / 100.0f);
    Serial.println(" V");
    float voltageF = node.getResponseBuffer(0x00) / 100.0f;
    if (isnan(voltageF)) {
      sendToNextionText("txtvol1", 0, "V");
    } else {
      sendToNextionText("txtvol1", voltageF, "V");
    }

    Serial.print("Corriente: ");
    Serial.print(node.getResponseBuffer(0x01) / 100.0f);
```

```
    Serial.println(" A");
    float corrienteF = node.getResponseBuffer(0x01) / 100.0f;
    if (isnan(corrienteF)) {
      sendToNextionText("txtamp1", 0, "A");
    } else {
      sendToNextionText("txtamp1", corrienteF, "A");
    }

    Serial.print("Potencia: ");
    Serial.print((node.getResponseBuffer(0x02) + (node.getResponseBuffer(0x03) <<
16)) / 10.0f);
    Serial.println(" W");
    float potenciaF = (node.getResponseBuffer(0x02) + (node.getResponseBuffer(0x03)
<< 16)) / 10.0f;
    if (isnan(potenciaF)) {
      sendToNextionText("txtpot1", 0, "W");
    } else {
      sendToNextionText("txtpot1", potenciaF, "W");
    }

    Serial.print("Energía: ");
    Serial.print(node.getResponseBuffer(0x04) + (node.getResponseBuffer(0x05) <<
16));
    Serial.println(" Wh");


  }
  else
  {
    // Hubo un error en la lectura
    Serial.println("Error al leer los registros");
  }

  Serial.println("Datos del banco de baterías :");

  if (result1 == node1.ku8MBSuccess)
  {
    // Los datos se han leído correctamente
    Serial.print("Voltaje1: ");
    float voltageB = node1.getResponseBuffer(0x00) / 100.0f;
    if (isnan(voltageB)) {
      sendToNextionText("txtvol3", 0, "V");
    } else {
      sendToNextionText("txtvol3", voltageB, "V");
      int porcentaje = round(((voltageB - 21.6) / (30.9- 21.6)) * 100);
      float porcentajeB = round(((voltageB - 21.6) / (30.9 - 21.6)) * 100);
      sendToNextionText("txtpor1", porcentajeB, "");
      porcentaje = constrain(porcentaje, 0, 100);
      sendToNextionBar("br1", porcentaje);
    }
    Serial.print(node1.getResponseBuffer(0x00) / 100.0f);
```

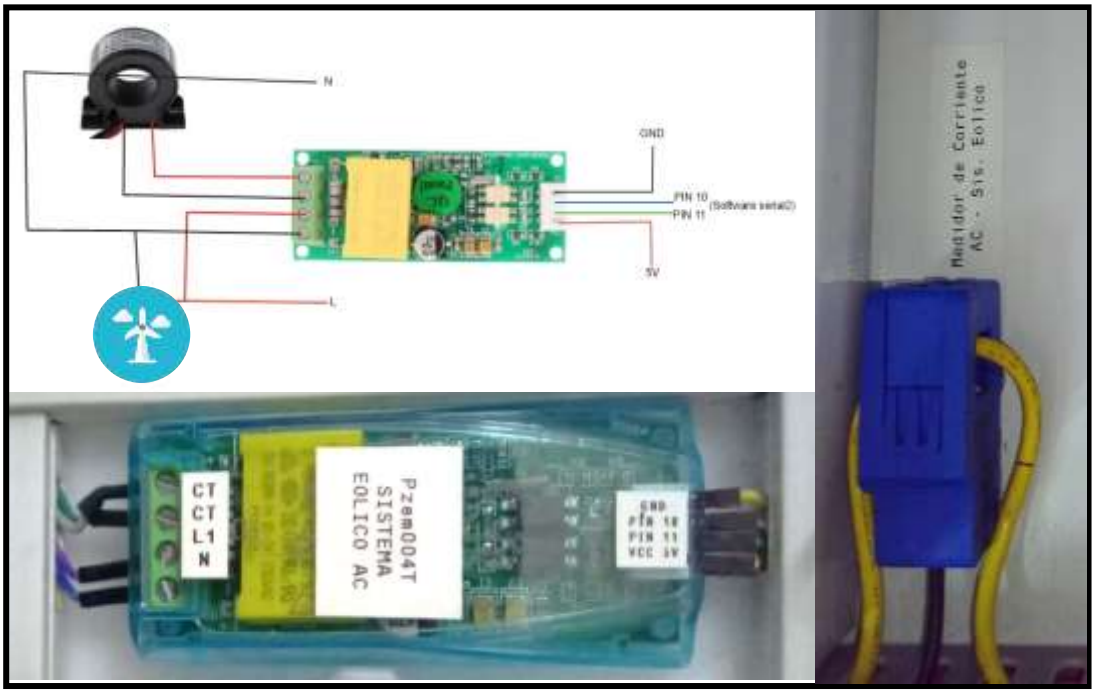
```
    Serial.println(" V");

    Serial.print("Corriente1: ");
    Serial.print(node1.getResponseBuffer(0x01) / 100.0f);
    float corrienteB = node1.getResponseBuffer(0x01) / 100.0f;
    if (isnan(corrienteB)) {
      sendToNextionText("txtamp3", 0, "A");
    } else {
      sendToNextionText("txtamp3", corrienteB, "A");
    }
    Serial.println(" A");

    Serial.print("Potencia1: ");
    Serial.print((node1.getResponseBuffer(0x02) + (node1.getResponseBuffer(0x03) <<
16)) / 10.0f);
    Serial.println(" W");
    float potenciaB = (node1.getResponseBuffer(0x02) +
(node1.getResponseBuffer(0x03) << 16)) / 10.0f;
    if (isnan(potenciaB)) {
      sendToNextionText("txtpot3", 0, "W");
    } else {
      sendToNextionText("txtpot3", potenciaB, "W");
    }

    Serial.print("Energía1: ");
    Serial.print(node1.getResponseBuffer(0x04) + (node1.getResponseBuffer(0x05) <<
16));
    Serial.println(" Wh");
  }
  else
  {
    // Hubo un error en la lectura
    Serial.println("Error al leer los registros 1");
  }

  // Leer los valores del primer PZEM-004T
  float voltage1 = pzem1.voltage();
  float current1 = pzem1.current();
  float power1 = pzem1.power();
  float energy1 = pzem1.energy();
  float frequency1 = pzem1.frequency();
  float pf1 = pzem1.pf();


  // Leer los valores del segundo PZEM-004T
  float voltage2 = pzem2.voltage();
  float current2 = pzem2.current();
  float power2 = pzem2.power();
  float energy2 = pzem2.energy();
  float frequency2 = pzem2.frequency();
  float pf2 = pzem2.pf();
```

```
// Mostrar los valores del primer PZEM-004T
Serial.println("Datos del inversor :");
if (isnan(voltage1)) {
  Serial.println("Error reading voltage");
  sendToNextionText("txtvol4", 0, "V");
} else {
  Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltage1); Serial.println("V");
  sendToNextionText("txtvol4", voltage1, "V");
}
if (isnan(current1)) {
  Serial.println("Error reading current");
  sendToNextionText("txtamp4", 0, "A");
} else {
  Serial.print("Current: "); Serial.print(current1); Serial.println("A");
  sendToNextionText("txtamp4", current1, "A");
}
if (isnan(power1)) {
  Serial.println("Error reading power");
  sendToNextionText("txtpot4", 0, "W");
} else {
  Serial.print("Power: "); Serial.print(power1); Serial.println("W");
  sendToNextionText("txtpot4", power1, "W");
}
if (isnan(energy1)) {
  Serial.println("Error reading energy");
} else {
  Serial.print("Energy: "); Serial.print(energy1); Serial.println("kWh");
}
if (isnan(frequency1)) {
  Serial.println("Error reading frequency");
} else {
  Serial.print("Frequency: "); Serial.print(frequency1); Serial.println("Hz");
}
if (isnan(pf1)) {
  Serial.println("Error reading power factor");
} else {
  Serial.print("PF: "); Serial.println(pf1);
}

// Mostrar los valores del segundo PZEM-004T
Serial.println("Datos del aerogenerador:");
if (isnan(voltage2)) {
  Serial.println("Error reading voltage");
} else {
  Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltage2); Serial.println("V");
}
if (isnan(current2)) {
  Serial.println("Error reading current");
} else {
  Serial.print("Current: "); Serial.print(current2); Serial.println("A");
```

```
}
if (isnan(power2)) {
  Serial.println("Error reading power");
} else {
  Serial.print("Power: "); Serial.print(power2); Serial.println("W");
}
if (isnan(energy2)) {
  Serial.println("Error reading energy");
} else {
  Serial.print("Energy: "); Serial.print(energy2); Serial.println("kWh");
}
if (isnan(frequency2)) {
  Serial.println("Error reading frequency");
} else {
  Serial.print("Frequency: "); Serial.print(frequency2); Serial.println("Hz");
}
if (isnan(pf2)) {
  Serial.println("Error reading power factor");
} else {
  Serial.print("PF: "); Serial.println(pf2);
}

Serial.println("----------------------------");

float t = dht.readTemperature();

if (!isnan(t)) {
  Serial.print("Temperatura DHT22: ");
  sendToNextionText("txtDht1", t, "");
  Serial.println(t);
} else {
  Serial.println("Error: No se pudo leer la temperatura del DHT22.");
}

float temp1 = bmp1.readTemperature(); // Temperatura en grados Celsius
float temp2 = bmp2.readTemperature(); // Temperatura en grados Celsius

if (!isnan(temp1)) {
  Serial.print("Sensor BMP1: ");
  Serial.println(temp1, 2); // Temperatura con 2 decimales
  sendToNextionText("txtTemp1", temp1, " C");
} else {
  Serial.println("Error: No se pudo leer la temperatura del BMP1.");

}

if (!isnan(temp2)) {
  Serial.print("Sensor BMP2: ");
  Serial.println(temp2, 2); // Temperatura con 2 decimales
  sendToNextionText("txtTemp2", temp2, " C");
} else {
```

```
    Serial.println("Error: No se pudo leer la temperatura del BMP2.");
  }

  Serial.println(voltage1);
  Serial.println(current2);
  Serial.println(voltage2);

  delay(1000);
}

void sendToNextionText(String object, float value, String unidad) {
    NEXTION.print(object);
    NEXTION.print(".txt=\"");
    NEXTION.print(value);
    NEXTION.print(" ");
    NEXTION.print(unidad);
    NEXTION.print("\"");
    NEXTION.write(0xFF);
    NEXTION.write(0xFF);
    NEXTION.write(0xFF);
}

void sendToNextionBar(String object, int value) {
    NEXTION.print(object);
    NEXTION.print(".val="); // Asigna el valor directamente, sin comillas
    NEXTION.print(value);   // Envía el valor numérico
    NEXTION.write(0xFF);
    NEXTION.write(0xFF);
    NEXTION.write(0xFF);
}
```

Conexión del PZEM 004T AC del sistema de generación eólica



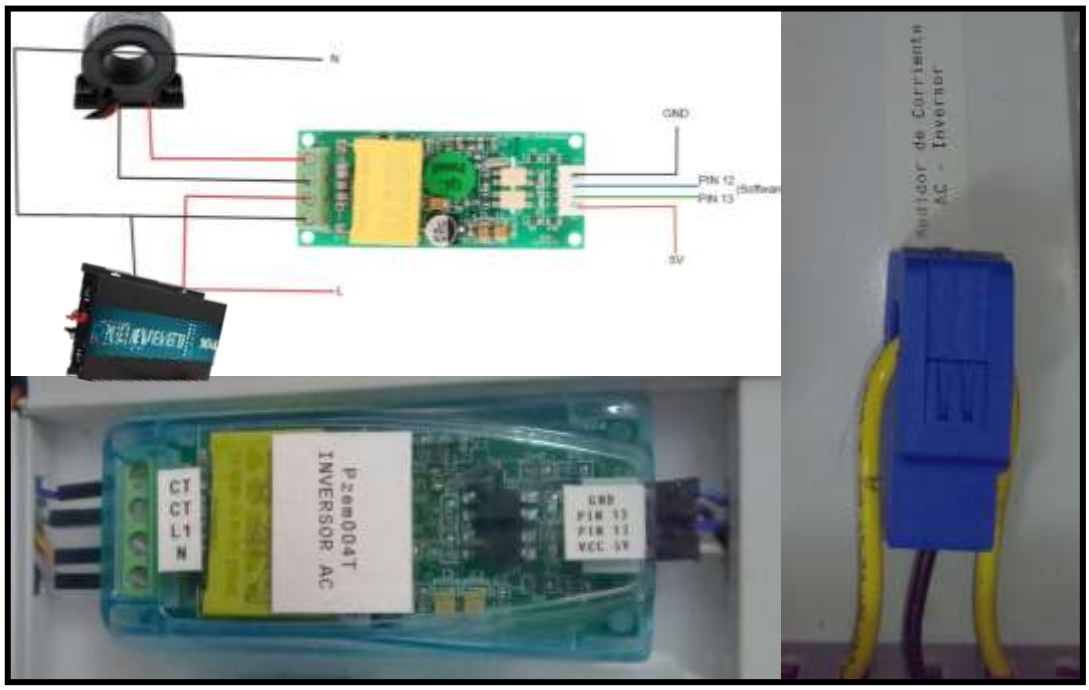
Se conectó los pines de entrada del PZEM 004T AC con cables jumper al sistema de generación eólica mediante los terminales CT, L1 y N para la medición de corriente y voltaje. Los pines de comunicación (PIN 10 y PIN 11) se conectaron al Arduino Mega 2560 configurando un puerto serial por software, mientras que GND se conectó a la referencia común del sistema y VCC 5V a la alimentación del Arduino Mega 2560 para asegurar mediciones precisas.

Conexión del PZEM 017 DC del sistema de generación fotovoltaica

Se conectó el PZEM 017 DC al sistema de generación fotovoltaica mediante cables jumper para monitorear el flujo de corriente DC. El módulo sensor integra el SHUNT en serie con el cable negativo del panel solar usando terminales de conexión robustos, mientras que el cable positivo se conectó en paralelo con el terminal positivo del sistema fotovoltaico.

Los pines TX3/RX3 del módulo se conectaron a un convertidor TTL para establecer comunicación con el Arduino mediante el puerto serial definido en los pines correspondientes del microcontrolador. Los pines DE/RE de control para la comunicación semidúplex se conectan al pin dos de microcontrolador. El convertidor TTL al igual que el PZEM 017 se conectaron a los pines de GND y VCC 5V del Arduino MEGA2560, a pesar de aquello el PZEM 017 necesita más corriente. Se necesita más corriente ya que el Arduino MEGA2560 está limitado a 200 mA para todas sus salidas, por ello se lo conectó a una fuente de alimentación externa de 5V.

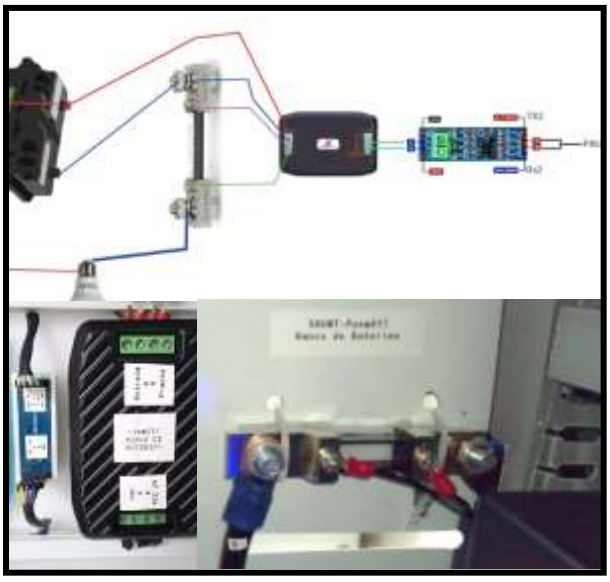
Conexión del PZEM 004T AC del inversor de voltaje



Se conectó los pines de entrada del PZEM 004T AC con cables jumper al inversor de voltaje mediante los terminales CT, L1 y N para la medición de corriente y voltaje.

Los pines de comunicación (PIN 12 y PIN 13) se conectaron al Arduino Mega 2560 configurando un puerto serial por software, mientras que GND se conectó a la referencia común del sistema y VCC 5V a la alimentación del Arduino Mega 2560 para asegurar mediciones precisas.

Conexión del PZEM 017 DC del banco de baterías



Se conectó el PZEM 017 DC al banco de baterías mediante cables jumper para monitorear el flujo de corriente DC. El módulo sensor integra el SHUNT en serie con el cable negativo del panel solar usando terminales de conexión robustos, mientras que el cable positivo se conectó en paralelo con el terminal positivo del sistema fotovoltaico. Los pines TX2/RX2 del módulo se conectaron a un convertidor TTL para establecer comunicación con el Arduino mediante el puerto serial definido en los pines correspondientes del microcontrolador.

Los pines DE/RE de control para la comunicación semidúplex se conectan al pin tres de microcontrolador. El convertidor TTL al igual que el PZEM 017 se conectaron a los pines de GND y VCC 5V del Arduino MEGA2560, a pesar de aquello el PZEM 017 necesita más corriente. Se necesita más corriente ya que el Arduino MEGA2560 está limitado a 200 mA para todas sus salidas, por ello se lo conectó a una fuente de alimentación externa de 5V.

Sensor de temperatura DTH22 – Sensor del tablero general

El sensor de temperatura DTH22 se uso para media la temperatura general del sistema Powerwall por lo que se lo ubicó dentro del tablero, este tiene tres pines. Se conectó GND y VCC 5V directamente al microcontrolador, mientras que para la señal de temperatura medida se usó el pin5 del microcontrolador.

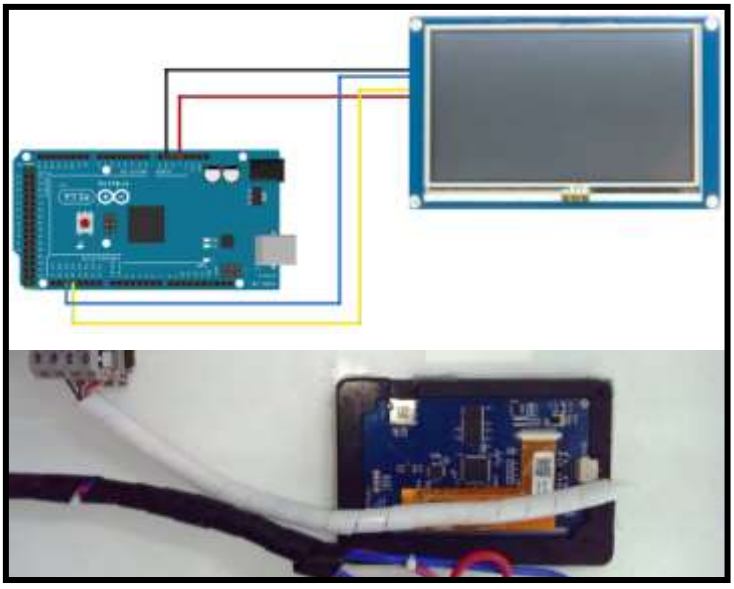
Sensores de temperatura BMP280 de cada batería

Los sensores de temperatura BMP280 se usaron para determinar la temperatura de cada batería, la ubicación de estos sensores se encuentra entre los bornes de las baterías ya que los puntos de conexión ofrecen mayor resistencia eléctrica, generando más calor por efecto Joule.

Para el sensor de la batería 1 se usaron los pines VCC del microcontrolador, pero para este tipo de sensor un voltaje de 3.3V. Seguido de la alimentación se conectó los pines GND/SCL/SDA/SDD al microcontrolador.

Para el sensor de la batería 2 se usaron los pines VCC del microcontrolador, de igual forma solamente se alimenta con un voltaje de 3.3V. Seguido de la alimentación se conectó los pines GND/SCL/SDA al microcontrolador.

Conexión de la pantalla Nextion 5.0



Para la conexión de la pantalla Nextion 5.0 se usó sus cuatro pines. La comunicación serial de TX1/RX1 se realizó mediante la conexión con el microcontrolador. Los pines de GND y VCC de la pantalla se alimentan con una fuente de alimentación externa de 5v, el pin de GND se debe también conectar a GND del microcontrolador para hacer punto común.

PROTOCOLO DE INICIALIZACIÓN DEL SISTEMA

Para la correcta puesta en marcha del sistema Powerwall, ejecute la siguiente secuencia operativa:

- Activar el seccionador DC de 300 A para establecer la conexión entre el banco de acumuladores y los módulos de control de carga e inversión.
- Habilitar el interruptor termomagnético AC de 15 A que interconecta el aerogenerador con el controlador de carga.
- Activar el porta fusible DC de 25 A que establece la conexión entre el arreglo fotovoltaico y el controlador de carga.
- Inicializar el sistema de inversión mediante la activación de su interruptor principal.
- Habilitar el interruptor termomagnético AC de 50 A que establece la conexión entre el inversor y el dispositivo diferencial.
- Activar el interruptor diferencial AC de 63 A que alimenta el sistema de control.
- Una vez verificada la activación de todos los dispositivos de protección y la inicialización del inversor, proceda a la activación completa del sistema Powerwall mediante el selector ubicado en el panel exterior de la unidad.

PROTOCOLO DE ACTUACIÓN ANTE FALLAS EN EL SISTEMA POWERWALL

1. Identificación de la falla

Cuando se sospeche una falla en el sistema Powerwall, se deben seguir estos pasos iniciales:

a) Inspección visual

- Verifique el estado de las luces piloto en la Powerwall:

  Verde: operación normal.

  Rojo: posible error o condición de advertencia.
- Verifique si la interfaz con el usuario de la pantalla Nextion presenta medidas erróneas pérdida de conectividad.

b) Revise el sistema de monitoreo

- Acceda desde el software de Arduino IDE para:

  Revise si en el monitor serial se muestran las mediciones de los sensores del sistema de monitoreo.

  Confirmar si hay errores registrados (por ejemplo, error de datos o de comunicación, sobre temperatura, etc.)

  Revise parámetros eléctricos anormales: voltaje, corriente, temperatura, estado de carga.

c) Documentación

- Anote el error específico del código.
- Tome fotografías del sistema, si hay daños visibles.
- Registre las condiciones en las que ocurrió el fallo: hora, condiciones climáticas, consumo eléctrico, etc.

2. Diagnóstico de la falla

Dependiendo del tipo de anomalía, se aplicarán los siguientes criterios:

Categoría del fallo	Ejemplos	Diagnóstico preliminar
Físico o mecánico	Ruidos, vibraciones, daños físicos	Verificación visual, integridad de anclajes
Eléctrico	Sobrevoltaje, cortocircuito, bajo rendimiento	Revisión de conexiones, medición de voltaje
Térmico	Sobrecalentamiento	Comprobación de sensores y ventilación
De comunicación	Desconexiones en el sistema de monitoreo	Verificación de conexión del sistema de monitoreo
Del código de programación	Fallos en el código	Actualización del código, reinicio de sistema

3. Acciones correctivas y soluciones por tipo de falla

A) Fallas de comunicación

Síntomas:

- Desconexión del sistema de monitoreo.
- Pérdida de datos de monitoreo.
- El sistema de monitoreo no responde.

Causas posibles:

- Problemas con el código del sistema de monitoreo.
- Alimentación del sistema de monitoreo.

Soluciones:

- Verifique y reinicie el sistema de monitoreo.
- Cargue y actualice el código nuevamente desde el software Arduino IDE.
- Verifique si hay voltaje de entrada de alimentación
- Verificar si hay continuidad en los puntos de conexión de los materiales del sistema de monitoreo.

B) Sobre temperatura

Síntomas:

- Apagado automático.
- Códigos de error relacionados con temperatura.
- Bajo rendimiento.

Causas posibles:

- Obstrucción de ventilación del inversor y del tablero.
- Instalación en lugares sin ventilación adecuada.
- Fallo en sensores de temperatura internos.

Soluciones:

- Verifique que las rejillas de ventilación estén libres de polvo/obstrucciones.
- Revise si la temperatura ambiente excede los límites operativos (normalmente 0–50 °C).
- Si el ventilador interno no opera, contacte con el docente encargado.

C) Fallas del banco de baterías

Síntomas:

- Reducción inesperada de autonomía.
- Código de error relacionado con celdas o packs.
- Fallo para cargar o descargar.

Causas posibles:

- Degradación prematura de celdas.
- Fallas en el sistema de gestión de batería (BMS).
- Cortocircuito interno o fugas térmicas.

Soluciones:

- Realice un análisis del estado de carga (SoC) desde el software de gestión.
- Ejecute una prueba de diagnóstico (usando instrumentos de medición eléctrica).

- En caso de que el error persista, contacte al docente o algún servicio técnico autorizado para realizar pruebas internas o sustituir céldas o bms defectuosos.
- Nunca manipular internamente las baterías sin certificación.

D) Fallas de instalación eléctrica

Síntomas:

- Disparos de breakers.
- Imposibilidad de carga/descarga.
- Inestabilidad en el inversor o alarmas.

Causas posibles:

- Cableado incorrecto o insuficiente.
- Fallas en la conexión de tierra.
- Polaridad invertida en conexiones CC.

Soluciones:

- Revise la instalación según el esquema del circuito del manual técnico.
- Verifique continuidad de tierra y conexión de neutro.
- Corrija polaridades.
- Asegúrese que el calibre de los conductores cumpla con las especificaciones del manual (por ejemplo, sección mínima para corriente máxima esperada).
- El inversor presenta alarmas, la más común es al tener un voltaje a la entrada del inversor mayor a 30 V, para ello apague el inversor y desconecte los sistemas de generación.

4. Escalamiento y soporte técnico

Si después de realizar el protocolo anterior la falla persiste o se detecta una condición crítica, se debe:

- Contactar al Estudiante encargado o al tutor encargado de la Tesis de Grado.
- Proporcionar la siguiente información:

  Historial de eventos registrado.

Condiciones de instalación.

Fotos o videos de la falla.

5. Prevención de futuras fallas

- Verifique periódicamente los parámetros de funcionamiento desde la interfaz con el usuario.
- Mantenga limpio el entorno de la Powerwall.
- Evite exponer la unidad a temperaturas extremas.
- Realice inspecciones mensuales por parte de personal docente.

Powerwall