



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO
DE 4 KWP Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
MONITOREO PARA EL EDIFICIO DE ROBÓTICA DE LA FIE

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

BRISHITH ALEXANDRA FALCÓN MENDOZA
ÁNGEL SEBASTIÁN VELÁSQUEZ BENAVIDES

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAICO DE 4 KWP Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE
CONTROL Y MONITOREO PARA EL EDIFICIO DE ROBÓTICA
DE LA FIE”**

Trabajo de Integración Curricular:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: BRISHITH ALEXANDRA FALCÓN MENDOZA

ÁNGEL SEBASTIÁN VELÁSQUEZ BENAVIDES

DIRECTORA: ING. MSc. MAYRA ALEJANDRA PACHECO

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Falcón Mendoza Brishith Alexandra, Velásquez Benavides Ángel Sebastián.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Brishith Alexandra Falcón Mendoza y Ángel Sebastián Velásquez Benavides, declaramos que el presente Trabajo de integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 18 - 10 - 2022



Brishith Alexandra Falcón Mendoza
1718042862



Ángel Sebastián Velásquez Benavides.
0802592428

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto Técnico; **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO DE 4 KWP Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO PARA EL EDIFICIO DE ROBÓTICA DE LA FIE**; realizado por la señorita **BRISHITH ALEXANDRA FALCÓN MENDOZA** y el señor **ÁNGEL SEBASTIÁN VELÁSQUEZ BENAVIDES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. MSc. Pablo Eduardo Lozada Yanez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-10-18
Ing. MSc Mayra Alejandra Pacheco Cunduri DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-10-18
Ing. MSc. Jorge Luis Hernández Ambato ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-10-18

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación, a mis padres Guido Falcón y Carmen Mendoza, por brindarme su apoyo incondicional durante los años de estudio y por haberme inculcado valores que me han ayudado a superarme cada día y no rendirme en los momentos más difíciles, a mi hermana Jenifer y mi familia que siempre estuvieron pendientes de mis pasos, a mi esposo Víctor quien estuvo a mi lado incondicionalmente dándome su apoyo y consejos y a mis amigos que he hecho durante la carrera.

Brishith Alexandra Falcón Mendoza

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios por haberme dado las fuerzas necesarias para continuar después de cada derrota, por haber permitido que cumpla mi sueño de terminar la carrera.

Se lo dedico a mi mamá Teresa Benavides y a mi papá Ángel Velásquez por todo el apoyo, motivación y confianza que me dieron desde el inicio, por el amor filial que siempre obtuve de ellos. A mi hermana Angelina Benavides por las fuerzas que me da querer ser su ejemplo a seguir. A mi familia y amigos, que siempre confiaron en mí y a mis profesores, por haberme acompañado durante este largo trayecto.

Ángel Sebastián Velásquez Benavides

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme la oportunidad de culminar mi carrera universitaria, a mis padres por apoyarme a cumplir mi sueño y a toda mi familia por estar presente en todo momento. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo quien me abrió las puertas para poder formarme profesionalmente. Agradezco especialmente a la Ingeniera Mayra Pacheco directora del Trabajo de integración Curricular y al Ingeniero Jorge Hernández miembro tribunal y al Ing Pablo Lozada tutor del TI, quienes aportaron con sus conocimientos para la culminación del presente trabajo, al Ing. Yacsel Macias y sus técnicos por estar pendientes de nuestro progreso brindándonos su ayuda y conocimientos. Y por último a mi compañero de carrera y de titulación Sebastián Velásquez que ha sido un pilar fundamental para culminar la carrera.

Brishith Alexandra Falcón Mendoza

Agradezco a mi mamá, mi papá y mi hermana, que a pesar de la distancia y de los años siempre me ayudaron y apoyaron cuando lo necesitaba, a mi familia por todo su apoyo y la confianza que depositaron en mí. Agradezco a todos mis profesores, por compartirnos de sus conocimientos y de sus experiencias, a la Ing. Mayra Pacheco, Ing Pablo Lozada y al Ing. Jorge Hernández, por haber sido guías dentro del trabajo de titulación para culminar esta etapa. Al personal del DMDF, al Ing. Yacsel Macías y sus técnicos por toda la ayuda que nos brindaron durante este proceso. Agradezco a mi compañera de trabajo de titulación Brishith Falcón, por ser una gran amiga, apoyo, consejera y compañera durante la carrera. A mis amigos de Esmeraldas por todo su apoyo, preocupación y compañía a la distancia durante tantos años. A mis amigos que hice aquí en Riobamba desde el prepolitécnico hasta ahora y los que me han acompañado y ayudado desde el inicio Edwin y Jonathan, por su amistad, su lealtad, sus consejos y su apoyo durante todo este tiempo. A Alisson por su amistad, por todo su apoyo y confianza en mí. Gracias a todos por las fuerzas que me dieron para seguir avanzando a pesar de los obstáculos.

Ángel Sebastián Velásquez Benavides

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS	xix
RESUMEN	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.2.1. <i>Formulación del problema</i>	3
1.2.2. <i>Sistematización del problema</i>	3
1.3. Justificación	3
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2. <i>Justificación aplicativa</i>	5
1.4. Objetivos	7
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	7
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	7

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	8
------------------------	---

2.1.	Antecedentes de investigación.....	8
2.1.1.	<i>Sistemas de microrredes de energía compartida en redes de calefacción</i>	8
2.1.2.	<i>Sistemas de almacenamiento de energía en baterías comunitarias.....</i>	9
2.1.3.	<i>Sistemas de microrredes</i>	9
2.1.4.	<i>Sistemas de autoconsumo en Ecuador.....</i>	10
2.2.	Referencias teóricas	10
2.2.1.	<i>Sistemas de generación eléctrica.....</i>	10
2.2.2.	<i>Sistemas de generación eléctrica con energías renovables</i>	11
2.2.3.	<i>Sistemas de energía solar fotovoltaica</i>	12
2.2.4.	<i>Sistemas de energía solar fotovoltaica</i>	14
2.2.4.1.	<i>Paneles Solares.....</i>	14
2.2.4.2.	<i>Inversor.....</i>	15
2.2.4.3.	<i>Controlador de carga solar</i>	15
2.2.4.4.	<i>Baterías.....</i>	16
2.2.5.	<i>Sistemas de control automático.....</i>	17
2.2.6.	<i>Tipos de sistemas de control</i>	18
2.2.7.	<i>Control convencional: PID</i>	19
2.2.8.	<i>Control Inteligente.....</i>	21
2.2.8.1.	<i>Control basado en lógica difusa.....</i>	21
2.2.8.2.	<i>Control basado en Redes Neuronales Artificiales.....</i>	23
2.2.8.3.	<i>Otros sistemas de control</i>	25
2.2.9.	<i>Herramientas software para simulación y control</i>	25
2.2.10.	<i>MATLAB y Simulink para sistemas de control</i>	26
2.2.11.	<i>LabVIEW para sistemas de control.....</i>	27
2.2.12.	<i>Python para sistemas de control.....</i>	28
2.2.13.	<i>Otras herramientas software para simulación y control.....</i>	29
2.2.14.	<i>Gestión de la energía</i>	30
2.2.15.	<i>Gestión energética de la demanda del usuario</i>	30
2.2.16.	<i>Gestión energética del sistema de almacenamiento</i>	31

2.2.17.	<i>Gestión de energía absorbida de la red</i>	31
2.2.18.	<i>Sistemas de monitoreo</i>	31
2.2.19.	<i>Sistema HMI</i>	32
2.2.20.	<i>Sistema SCADA</i>	33

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	35
3.1.	Diagrama general de la estación fotovoltaica	35
3.2.	Detalles de equipos de la estación fotovoltaica adquiridos por la ESPOCH	36
3.2.1.	<i>Inversor de Potencia Monofásico STUDER 1400W/48VDC/120AC</i>	36
3.2.2.	<i>Tarjeta de Comunicaciones LAN X-COM LAN 3/4/5G</i>	37
3.2.3.	<i>Controlador de Carga Solar MPPT STUDER</i>	38
3.2.4.	<i>Panel Solar Fotovoltaico RESUN 230Wp/12VDC</i>	39
3.2.5.	<i>Batería Solar SBB GEL 150Ah/12VDC</i>	40
3.3.	Detalles de equipos de la estación fotovoltaica adquiridos por los tesistas	41
3.3.1.	<i>Control remoto y módulo de programación RCC-002 STUDER para xtender</i>	41
3.4.	Análisis del potencial del sistema de generación	42
3.5.	Arquitectura del sistema de generación fotovoltaico	42
3.5.1.	<i>Arquitectura de conexión de paneles solares</i>	43
3.5.2.	<i>Arquitectura definida para la conexión de paneles solares</i>	46
3.5.3.	<i>Arquitectura de conexión de baterías</i>	47
3.5.4.	<i>Arquitectura del controlador de carga solar</i>	47
3.5.5.	<i>Arquitectura del inversor</i>	49
3.5.6.	<i>Arquitectura de comunicación</i>	51
3.5.7.	<i>Arquitectura del tablero de control</i>	52
3.6.	Cálculo de abastecimiento de cargas	53
3.7.	Dimensionamiento del cableado y protecciones del sistema	56
3.7.1.	<i>Dimensionamiento de cableado de cada rama de paneles</i>	56

3.7.2.	<i>Dimensionamiento de acometida de paneles hacia el tablero de control</i>	57
3.7.3.	<i>Dimensionamiento de acometida de control hacia las cargas</i>	57
3.7.4.	<i>Dimensionamiento de protecciones</i>	57
3.8.	Selección del software para el sistema de control y monitoreo	58
3.9.	Selección del sistema de control	58
3.10.	Modelado de la estación fotovoltaica	59
3.10.1.	<i>Modelado de paneles solares</i>	60
3.10.2.	<i>Modelado de baterías</i>	63
3.11.	Diseño del algoritmo de control	64
3.12.	Diseño de la interfaz para el sistema de monitoreo	81
3.13.	Implementación in situ de la estación fotovoltaica	82
3.14.	Montaje del tablero de control	83
3.15.	Montaje del controlador de carga solar e inversor	85
3.16.	Conexión con el Sistema de monitoreo de STUDER para el SSF	86
3.17.	Implementación de las consignas de control en el SSF.	88
3.18.	Implementación del sistema de monitoreo	89

CAPÍTULO IV

4.	PRUEBAS Y RESULTADOS	92
4.1.	Sistema de control aplicado al modelo de simulación.	92
4.1.1.	<i>Pruebas de simulación para un día soleado.</i>	92
4.1.2.	<i>Pruebas de simulación para un día nublado.</i>	96
4.1.3.	<i>Pruebas de simulación para un día lluvioso.</i>	100
4.1.4.	<i>Consignas de Control determinadas a través de la simulación</i>	104
4.2.	Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico sin consignas de control.	105
4.3.	Consignas de control aplicado al sistema solar fotovoltaico	109
4.4.	Comparación energética de los resultados	114

CONCLUSIONES.....	116
RECOMENDACIONES.....	117
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Regla de sintonía de Ziegler-Nichols para controladores PID.	20
Tabla 1-3:	Equipos adquiridos por la ESPOCH.	36
Tabla 2-3:	Especificaciones del inversor.	37
Tabla 3-3:	Especificaciones del controlador de carga solar.	39
Tabla 4-3:	Especificaciones del panel solar fotovoltaico.	40
Tabla 5-3:	Especificaciones de las baterías de gel.	41
Tabla 6-3:	Equipos adquiridos por los tesisistas.	41
Tabla 7-3:	Especificaciones del sistema.	42
Tabla 8-3:	Detalle de materiales del tablero de distribución.	53
Tabla 9-3:	Detalle de materiales del plano de iluminación.	54
Tabla 10-3:	Cálculo de cargas de iluminación en el edificio de robótica de la FIE.	54
Tabla 11-3:	Cargas a abasteces con el sistema solar fotovoltaico.	55
Tabla 12-3:	Cargas a abasteces con el sistema solar fotovoltaico.	57
Tabla 13-3:	Características de los sistemas de control seleccionados.	58
Tabla 14-3:	Análisis de características de las estrategias de control.	59
Tabla 15-3:	Elementos del circuito equivalente de un panel solar.	62
Tabla 16-3:	Elementos de la ecuación del modelo matemático de los paneles solares.	62
Tabla 17-3:	Elementos del circuito equivalente de la batería.	64
Tabla 18-3:	Elementos de las ecuaciones de carga y descarga de la batería.	64
Tabla 19-3:	Características de los tipos de días utilizados en los perfiles de generación.	65
Tabla 20-3:	Datos de perfiles de generación.	66
Tabla 21-3:	Datos de perfiles de demanda.	67
Tabla 22-3:	Datos de energía generada por día.	67
Tabla 23-3:	Datos de energía generada por día.	68
Tabla 24-3:	Balance energético en un día soleado.	69
Tabla 25-3:	Balance energético en un día nuboso.	69
Tabla 26-3:	Balance energético en un día lluvioso.	70

Tabla 27-3:	Variables lingüísticas de las funciones de membresía de las entradas.....	71
Tabla 28-3:	Variables lingüísticas de las funciones de membresía de la salida.	73
Tabla 29-3:	Reglas difusas cuando el excedente es negativo.	78
Tabla 30-3:	Reglas difusas cuando el excedente es positivo.	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Diagrama del funcionamiento del sistema	6
Ilustración 1-2:	Consumo de energía renovables en Ecuador.....	12
Ilustración 2-2:	Principio Fotoeléctrico.	13
Ilustración 3-2:	Paneles solares.....	14
Ilustración 4-2:	Inversor.	15
Ilustración 5-2:	Controlador de carga.	16
Ilustración 6-2:	Baterías.....	17
Ilustración 7-2:	Representación Gráfica de un Sistema de Control en Lazo Cerrado.	18
Ilustración 8-2:	Sistema de control de tensión de carga con control PI para el PWM.....	20
Ilustración 9-2:	Representación gráfica de la estructura de un controlador difuso.....	21
Ilustración 10-2:	E/S difusa para optimización de un convertidor DC-DC.	22
Ilustración 11-2:	Funciones de pertenencia para gestión de energía entre microrredes.	23
Ilustración 12-2:	Ejemplo estructural de una red neuronal.....	24
Ilustración 13-2:	Modelo de una estación de carga de baterías con Simulink.....	26
Ilustración 14-2:	Estructura de la simulación.	27
Ilustración 15-2:	Interface del software LabVIEW.	28
Ilustración 16-2:	Interface del software Python.....	29
Ilustración 17-2:	Evolución del concepto de gestión energética.	30
Ilustración 18-2:	Sistema HMI de un proceso industrial.	33
Ilustración 19-2:	Sistema SCADA de un proceso industrial.	34
Ilustración 1-3:	Diagrama general de la estación fotovoltaica.....	35
Ilustración 2-3:	Inversor de potencia STUDER.....	37
Ilustración 3-3:	Tarjeta de comunicación y pasarela.	38
Ilustración 4-3:	Controlador de carga solar STUDER.....	38
Ilustración 5-3:	Panel solar RESUN.	39
Ilustración 6-3:	Batería Solar SBB.	40

Ilustración 7-3:	RCC-002.	42
Ilustración 8-3:	Distribución de paneles del primer caso de estudio.	44
Ilustración 9-3:	Distribución de paneles del segundo caso de estudio.	45
Ilustración 10-3:	Distribución de paneles del tercer caso de estudio.	46
Ilustración 11-3:	Distribución de paneles solares.	47
Ilustración 12-3:	Especificaciones de baterías.	47
Ilustración 13-3:	Conexiones del controlador de carga internamente.	48
Ilustración 14-3:	Diagrama de conexión del controlador de carga solar.	49
Ilustración 15-3:	Conexiones del inversor internamente.	50
Ilustración 16-3:	Diagrama de conexión del inversor del sistema solar fotovoltaico.	51
Ilustración 17-3:	Diagrama del Xcom-LAN.	52
Ilustración 18-3:	Diagrama de distribución de equipos en el tablero de control.	52
Ilustración 19-3:	Distribución de cargas en el edificio de Robótica de la FIE.	53
Ilustración 20-3:	Sección a abastecer del edificio de robótica.	56
Ilustración 21-3:	Diagrama de funcionamiento del modelo de la estación fotovoltaica.	60
Ilustración 22-3:	Sistema de generación de energía fotovoltaica en Simulink.	61
Ilustración 23-3:	Circuito Equivalente de un Panel Solar.	61
Ilustración 24-3:	Sistema de Almacenamiento de Energía.	63
Ilustración 25-3:	Sistema de Almacenamiento de la batería.	63
Ilustración 26-3:	Perfiles de generación para diferentes escenarios.	65
Ilustración 27-3:	Perfiles de demanda para diferentes escenarios.	67
Ilustración 28-3:	Energía disponible en base a los perfiles de generación.	67
Ilustración 29-3:	Demanda de energía en base a los perfiles de demanda.	68
Ilustración 30-3:	Balance energético para un día soleado.	69
Ilustración 31-3:	Balance energético para un día nublado.	69
Ilustración 32-3:	Balance energético para un día lluvioso.	70
Ilustración 33-3:	Control Difuso con sus entradas y salidas.	71
Ilustración 34-3:	Funciones de Membresía de la entrada <i>PEXC</i>	72
Ilustración 35-3:	Funciones de Membresía de la entrada <i>SOCBAT</i>	72

Ilustración 36-3: Funciones de Membresía de la entrada <i>PREGEN</i>	72
Ilustración 37-3: Funciones de Membresía de la entrada <i>PREDEM</i>	73
Ilustración 38-3: Funciones de Membresía de la salida <i>PBAT</i>	73
Ilustración 39-3: Método de ventana deslizante.....	74
Ilustración 40-3: Método de ventana deslizante aplicado a un perfil de generación.....	75
Ilustración 41-3: Predicción de generación de un día nublado.....	75
Ilustración 42-3: Predicción de generación de un día lluvioso.....	76
Ilustración 43-3: Método de ventana deslizante aplicado a un perfil de consumo.....	76
Ilustración 44-3: Predicción de consumo de una carga estándar.....	77
Ilustración 45-3: Predicción de consumo de una carga máxima.....	77
Ilustración 46-3: SC en función de las entradas <i>P_EXC</i> y <i>SOC_BAT</i>	79
Ilustración 47-3: SC en función de las entradas <i>P_EXC</i> y <i>PRE_GEN</i>	80
Ilustración 48-3: SC en función de las entradas <i>P_EXC</i> y <i>PRE_DEM</i>	80
Ilustración 49-3: Diagrama de Flujo del Funcionamiento del Control Difuso.....	80
Ilustración 50-3: Previsualización del sistema de monitoreo.....	81
Ilustración 51-3: Previsualización del sistema mediante graficas.....	81
Ilustración 52-3: Edificio de Robótica de la FIE.....	82
Ilustración 53-3: Diseño de la estructura de soporte para paneles.....	82
Ilustración 54-3: Ramas de paneles instalados.....	83
Ilustración 55-3: Conexión de paneles.....	83
Ilustración 56-3: Montaje del tablero de control.....	84
Ilustración 57-3: Montaje del controlador de carga solar.....	85
Ilustración 58-3: Montaje del inversor.....	86
Ilustración 59-3: Sistema de monitoreo <i>STUDER</i>	87
Ilustración 60-3: Sistema de monitoreo <i>STUDER</i>	87
Ilustración 61-3: Control a distancia <i>STUDER</i>	88
Ilustración 62-3: Aplicación del resultado del CD para obtener consignas de control.....	89
Ilustración 63-3: Implementación del panel principal del sistema de monitoreo.....	90
Ilustración 64-3: Implementación del panel de gráficas del sistema de monitoreo.....	90

Ilustración 65-3:	Implementación del panel de equipos del sistema de monitoreo.	91
Ilustración 1-4:	Comportamiento del S. simulado para un día soleado y Dm estándar.	93
Ilustración 2-4:	Comportamiento del SOC simulado para un día soleado y Dm estándar.	93
Ilustración 3-4:	Comportamiento del sistema simulado para día soleado y Dm media.	94
Ilustración 4-4:	Comportamiento del SOC simulado para día soleado y Dm media.	94
Ilustración 5-4:	Comportamiento del sistema simulado para día soleado y Dm máxima.	95
Ilustración 6-4:	Comportamiento del SOC simulado para día soleado y demanda máxima.	95
Ilustración 7-4:	Balance Energético del sistema simulado para día soleado.	96
Ilustración 8-4:	Comportamiento del sistema simulado para día nublado y Dm estándar.	97
Ilustración 9-4:	Comportamiento del SOC simulado para día nublado y demanda estándar.	97
Ilustración 10-4:	Comportamiento del sistema simulado para día nublado y Dm media.	98
Ilustración 11-4:	Comportamiento del SOC simulado para día nublado y demanda media.	98
Ilustración 12-4:	Comportamiento del sistema simulado para día nublado y Dm máxima.	99
Ilustración 13-4:	Comportamiento del SOC simulado para día nublado y Dm máxima.	99
Ilustración 14-4:	Balance energético del sistema simulado para día nublado.	100
Ilustración 15-4:	Comportamiento del sistema simulado para día lluvioso y Dm estándar.	101
Ilustración 16-4:	Comportamiento del SOC simulado para día lluvioso y Dm estándar.	101
Ilustración 17-4:	Comportamiento del sistema simulado para día lluvioso y Dm media.	102
Ilustración 18-4:	Comportamiento del SOC simulado para día lluvioso y demanda media.	102
Ilustración 19-4:	Comportamiento del sistema simulado para día lluvioso y Dm máxima.	103
Ilustración 20-4:	Comportamiento del SOC simulado para día lluvioso y Dm máxima.	103
Ilustración 21-4:	Balance energético del sistema simulado para día lluvioso.	104
Ilustración 22-4:	Potencia Generada vs Consumida por el sistema SSF.	105
Ilustración 23-4:	Balance energético de un día abastecido por el SSF.	106
Ilustración 24-4:	Análisis de la autonomía de la batería en el sistema solar fotovoltaico.	107
Ilustración 25-4:	Análisis energético de la autonomía de la batería.	107
Ilustración 26-4:	Corriente y voltaje de carga y descarga de la batería en el SSF.	108
Ilustración 27-4:	Comportamiento del SOC en diferentes casos de valor inicial.	109
Ilustración 28-4:	Cambio del parámetro de corriente con la interfaz de STUDER.	109

Ilustración 29-4: Potencia Generada vs Consumida por el SSF aplicada la CC.....	110
Ilustración 30-4: Balance energético de un día abastecido por el SSF aplicada la CC.....	111
Ilustración 31-4: Análisis de la autonomía del banco de baterías aplicada la CC.	112
Ilustración 32-4: Análisis energético de la autonomía de baterías aplicada a la CC.	112
Ilustración 33-4: Corriente y voltaje del banco de baterías aplicada la consigna de control. .	113
Ilustración 34-4: Comportamiento del SOC en diferentes casos de valor inicial.	114
Ilustración 35-4: Comparación energética de los resultados.	114

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

FIE	Facultad de informática y electrónica
ESPOCH	Escuela superior Politécnica de Chimborazo
HMI	Interfaz humano maquina
SSF	Sistema solar fotovoltaico
TW	Tera vatio
MW	Mega vatio
MWh	Mega vatio por hora
KWP	Kilo vatio pico
KWh	Kilo vatio por hora
MPP	Punto de máxima potencia
MPPT	Seguimiento de máximo punto de potencia
PV	Panel fotovoltaico
SOC	Estado de carga
DC	Corriente directa
AC	Corriente alterna
FLC	Control de lógica difusa
SC	Superficie de control
Dm	Demanda

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Ficha técnica del equipo XTENDER
- ANEXO B:** Ficha técnica del equipo VARIOTRACK
- ANEXO C:** Ficha técnica del equipo RCC-002
- ANEXO D:** Ficha técnica de Xcom-232i
- ANEXO E:** Diseño de instalación de los paneles solares
- ANEXO F:** Diseño de instalación de los paneles solares
- ANEXO G:** Código para iniciar el sistema y sus características
- ANEXO H:** Código para inicializar el edificio y sus características de consumo
- ANEXO I:** Código para inicializar el banco y sus características eléctricas
- ANEXO J:** Control difuso y los valores de las funciones de membresía
- ANEXO K:** Código en App Designer para escribir los datos en el panel principal
- ANEXO L:** Código en App Designer para graficar las curvas en el panel de graficas.
- ANEXO M:** Código en App Designer para escribir los datos energéticos de los equipos

RESUMEN

El trabajo de Integración Curricular presenta como objetivo la implementación de un sistema solar fotovoltaico (SSF), así como el estudio de un sistema de control aplicable para una estación de autoconsumo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), en la Facultad de Informática y Electrónica (FIE). Dicho sistema fue previsto para abastecer únicamente cargas de iluminación. La implementación del sistema está compuesta por dieciséis paneles solares, un controlador de carga, un inversor y una tarjeta de comunicación de la marca STUDER, así como un banco de cuatro baterías y equipos de protección. Para el uso correcto de los equipos antes mencionados se llevó a cabo un sistema de control en simulación usando el software MATLAB y Simulink, teniendo como metodología el control Fuzzy para optimizar las consignas del sistema. La capacidad del sistema de generación fotovoltaica es de 4 KWP, debido a las restricciones de los equipos, se realizaron estudios de abastecimiento de cargas con las consignas de limitación de potencia de salida y un conjunto de cargas que suman 750W. Se determinó realizar una comparativa entre el control pre establecido en los equipos adquiridos con el control realizado en simulación e implementado en el sistema solar. Dicha comparación tuvo como resultado que, al cambiar la consigna de la corriente de carga al sistema de control por defecto, varias de las consignas fueron similares y como ventaja del control este permite mejorar la autonomía de las baterías con lo que se concluye que el seguimiento del máximo punto de potencia (MPPT) trabaja según las cargas que se estén abasteciendo. El sistema cuenta con un sistema de monitoreo que permite al usuario interactuar con las consignas de operación y ser modificadas según las necesidades del modelo de simulación.

Palabras clave: < SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO (SSF) >, < CONTROL FUZZY >, < INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA >, < COMUNICACIÓN INALÁMBRICA >, < RADIOFRECUENCIA >, < SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE >

1881-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

The objective of this research project was to implement a solar photovoltaic system (SFS), as well as the study of an applicable control system for a self-consumption station in the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) in the Faculty of Informatics and Electronics (FIE). This system was planned to supply lighting loads only. The system's implementation comprises sixteen solar panels, a charge controller, an inverter and a STUDER brand communication card, and a bank of four batteries and protection equipment. For the correct use of the equipment mentioned above, a simulation control system was carried out using MATLAB and Simulink software, having Fuzzy control as a methodology to optimize the system instructions. The capacity of the photovoltaic generation system is 4 KWP; due to the restrictions of the equipment, load supply studies were carried out with the output power limitation instructions and a set of loads that add up to 750W. It was determined to compare the pre-established control in the acquired equipment with the control carried out in simulation and implemented in the solar system. The comparison showed that, when changing the charge current setpoint to the default control system, several of the setpoints were similar and, as an advantage of the control, allows improving the batteries' autonomy. It is concluded that the maximum power point tracking (MPPT) works according to the loads being supplied. The system has a monitoring system that allows the user to interact with the operating instructions and to be modified according to the needs of the simulation model.

Keywords: <SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM (SFS)> <FUZZY CONTROL> <PHOTOVOLTAIC INSTALLATION> <WIRELESS COMMUNICATION> <RADIO FREQUENCY> <INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS>.



Dr. Lara Olivo Lenin-Iván
0602546103

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el crecimiento de la población y el continuo aumento de los consumos energéticos derivados de la producción industrial han provocado un considerable incremento de las emisiones contaminantes. Donde parte de la generación proviene del uso de combustibles fósiles. El desarrollo de tecnologías de generación de energía aprovechando otro tipo de fuentes renovables, tales como el sol y el viento, han tomado fuerza durante los últimos años como una alternativa a las fuentes de generación comunes.

Tomando en cuenta la concentración de las fuentes de generación en zonas alejadas de las cargas finales (usuarios residenciales, comerciales e industriales). Dicha centralización provoca pérdidas de energía asociadas a la distancia entre la fuente y las cargas. Surge una nueva opción conocida como auto-consumo energético que permite una descentralización de la generación de energía, ya que el objetivo es instalar pequeñas centrales de generación en ubicaciones relativamente cerca de las cargas. La principal ventaja de las estaciones de auto-consumo energético es que es el propio usuario final quien administra su propia generación de energía para dar respuesta al consumo dentro de su instalación. Una ventaja añadida es la potencial independencia energética a la que puede llegar es usuario final, con un eventual estado de completa desconexión desde la red eléctrica principal si el sistema de generación alternativo (solar, eólica) es lo suficientemente grande para abastecer la demanda.

La energía solar mediante paneles fotovoltaicos es una de las soluciones más difundidas por la madurez de la tecnología y por el relativo abaratamiento de la misma en los últimos años. Estas instalaciones usualmente se combinan con sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías que actúan como compensadores para suministrar energía cuando la fuente de energía (solar) presenta variaciones o es inexistente (durante la noche). Además, los sistemas de baterías permiten almacenar los excedentes de energía en periodos de bajo consumo (desde las cargas) y mayor generación solar.

Por otro lado, un factor importante para la eficiente operación de una estación de auto-consumo energético es la estrategia de gestión de energía. Dicha estrategia se encarga de controlar las consignas de operación de los equipos de electrónica de potencia instalados para responder de manera efectiva a la demanda de energía desde las cargas tomando en cuenta la generación desde la fuente renovable (y su variabilidad). Este control debe ser lo suficientemente inteligente para considerar el comportamiento de las cargas, generación de energía y la capacidad de almacenamiento de la misma mediante las baterías permitiendo maximizar los recursos instalados y lograr altos niveles de eficiencia energética.

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

El diagnóstico del problema del presente trabajo de integración curricular identifica los principales problemas relacionados con la implementación de energías renovables y control Fuzzy haciendo una revisión de antecedentes bibliográficos y planteando los objetivos a desarrollar.

1.1. Antecedentes

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) se ha venido desarrollando avances en infraestructura en cada una de las facultades que son parte de la institución. En la Facultad de Informática y Electrónica (FIE) se construyeron varios edificios para complementar la infraestructura previa, siendo el edificio de Robótica y el edificio de Aulas las nuevas infraestructuras entregadas en el año 2022. El edificio de Robótica está orientado a laboratorios para investigación y desarrollo tecnológico tanto para estudiantes como para docentes.

El diseño de los edificios que se han construido en la ESPOCH, desde el punto de vista eléctrico, comparten el método de distribución de flujo de energía desde de la red principal hacia las cargas que están en cada uno de los edificios. El edificio de Robótica se encuentra ubicado en el sector de la FIE. Existen dos tipos de cargas que exigen una demanda de energía, están son las cargas de iluminación y las cargas de fuerza de edificio. Enfocándose en las cargas de iluminación del edificio, estas podrían ser abastecidas mediante otros sistemas de suministro de energía tales como los sistemas de generación renovable.

Los sistemas de generación de energía mediante fuentes renovables han sido abordados por varios años como posibles soluciones a la necesidad de independencia energética de las naciones a nivel mundial. El concepto de este tipo de sistemas se puede concebir tanto a gran escala (sistemas conectados a la etapa de generación de la cadena del sistema eléctrico de un país) como en media o pequeña escala, con centrales de generación de menor potencia y destinadas a cubrir las necesidades de usuarios menos demandantes tales como el sector residencial y comercial (Martinez, 2010 pp. 50-51).

Dentro del último aspecto mencionado, el concepto de autoconsumo energético produce que los usuarios opten por una independencia frente a los sistemas eléctricos convencionales y las empresas del sector. La independencia en el consumo energético permite poder adaptar su curva de generación de cada consumidor y cubrir la demanda solicitada en lo máximo posible para auto consumir la energía que produce (MTRD, 2021 pp. 23-25). Esta generación de autoconsumo sostiene diversos cambios que generan beneficios hacia el medio ambiente, como son, por ejemplo, la

reducción de las pérdidas que se producen en la red ya que el sistema está situado cerca de los puntos de consumo de energía. Otro de sus beneficios es su contribución al cumplimiento de reducción de emisiones de CO2 que se emiten realizando otros tipos de generación (González, 2016 pp. 105-109).

1.2. Planteamiento del problema

En la presente sección se ve abordado los temas de formulación del problema, el cual se va a desarrollar con el trabajo de integración curricular y la sistematización de este presentando las principales preguntas a desarrollarse en los capítulos siguientes.

1.2.1. Formulación del problema

¿Cómo implementar un sistema solar fotovoltaico y realizar el diseño de un sistema de control y monitoreo para el edificio de robótica de la FIE?

1.2.2. Sistematización del problema

- ¿Cuál es la revisión del estado del arte referente a técnicas de control para el autoconsumo energético?
- ¿Cómo diseñar el algoritmo de control basado en lógica difusa optimizada para maximizar la eficiencia energética del sistema utilizando el software Matlab?
- ¿Cómo Diseñar el sistema de monitoreo para la gestión, registro y visualización de información energética del sistema?
- ¿Cuál es la estación de autoconsumo energético que incluye paneles solares, inversores de potencia y baterías para operar bajo las consignas de control definidas en simulación?
- ¿Cómo evaluar y validar la operación eficiente y estable del sistema?

1.3. Justificación

En la siguiente sección se muestra la metodología de investigación de los puntos iniciales para realizar el proyecto técnico mediante antecedentes y justificaciones tanto teórica como aplicativa.

1.3.1. Justificación teórica

En la actualidad la problemática ambiental es una de las principales preocupaciones ya que afecta directamente al desarrollo sostenible del mundo cuyo objetivo es minimizar la huella de carbono

y contaminación en el medio ambiente en el que nos encontramos, siendo las energías renovables un pilar fundamental de la eficiencia energética a futuro. Este tipo de energías se caracterizan por que sus fuentes primarias se renuevan mediante un ciclo natural, de tal manera que su potencial de generación se podría considerar ilimitado.

Dentro de las energías renovables se encuentran principalmente la energía solar, eólica, energía hidráulica, minihidráulica, mareomotriz, energía producida por biomasa que incluyen los biocombustibles y la energía geotérmica (Vega, 2015 pp. 201-203).

De las energías antes descritas, la energía solar es aquella que presenta el mayor potencial de generación. La capacidad de energía solar que recibe la tierra es de alrededor de 17800 TW/año, los cuales son distribuidos según su disipación: el 30% de la energía es reflejada por la atmosfera, el 20% forma parte de la generación de los vientos generando los ciclos hidrológicos para las plantas, y el 50% restante es absorbido por la superficie terrestre lo que corresponde a un aproximado de 8900 TW/año aprovechable (Romero, 2015 p. 23).

Según las cifras a nivel mundial en el 2021, los sistemas fotovoltaicos generaron cerca de 994 TW/h (Agencia Internacional de la energía, 2022) los cuales abastecieron a más de 100 millones de personas en el año 2021. En este contexto China es el mayor productor de energía solar en el mundo con una capacidad instalada de 205.493 MW seguido de Estados Unidos con 62.298 MW, mientras que en Europa el mayor productor es Alemania con una producción de 48.962 MW (Gil, 2021). Referente a la región de América Latina y el Caribe el país con mayor capacidad instalada es Brasil con una producción de 13.055 MW seguido por México y Chile (Department, 2022). En Ecuador el uso de energía solar fotovoltaica ha ido en aumento tanto a nivel de implementación residencial y comercial, como a nivel privado y público, tiene una capacidad instalada de alrededor de 28 MW.

Por otro lado, a nivel de investigación e innovación tecnológica, los principales proyectos se encuentran ubicados en Guayas, Manabí, Pichincha, Cotopaxi, Loja, Imbabura, El Oro y Galápagos (Hora, 2021). A nivel universitario el ranking de categorización y calificación internacional, cambió sus indicadores desde el 2015 analizando los seis aspectos en el siguiente orden: entorno e infraestructura 15%, energía y cambio climático 21%, residuos 18%, agua 10%, transportación 18% y educación e investigación 18% (GreenMetric, 2019), siendo el punto de energía y cambio climático el principal aspecto en la que las universidades deben enfocarse e invertir recursos. Es por ello que se puede citar proyectos universitarios tales como el implementado en la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) que en 2019 planteo como primera etapa la alternativa de usar paneles en conjunto con la empresa “Renova Energía”. El proyecto presento un sistema de 68 paneles en su edificio central que cubre 130 metros. Como segunda etapa del proyecto se implementó otro sistema que cuenta con 135 paneles que cubre el 80% del consumo de los edificios en los que se instaló (UTPL, 2021). La universidad ECOTEC cuenta con 1.889

paneles solares que cubren 3.967 m² con una producción de 850 KWP lo cual produce un 85% de su consumo eléctrico. (Ecotec, 2021).

En la ESPOCH se han presentado diferentes proyectos orientados a contribuir con el cambio climático. Desde el punto de vista de eficiencia energética, se ha planteado una propuesta beneficiosa para la ciudad universitaria y el medio ambiente aplicada en la Facultad de Informática y Electrónica, siendo la base para el uso energías renovables. Mediante el aprovechamiento de la generación fotovoltaica combinado con técnicas de control para contar con una plataforma eficiente y capaz de gestionar los distintos flujos de energía tales como fuentes de generación y cargas diversas lo cual se desarrolla dentro de este trabajo de integración curricular.

En los sistemas de control que se usan en aplicaciones de generación solar fotovoltaica se garantiza el funcionamiento del sistema en un estado estable y seguro mediante las técnicas de control de lazo cerrado. De esta manera se mantiene el óptimo funcionamiento del sistema utilizando la potencia máxima mediante un control de software. Un sistema de control de energía solar considerado como eficiente pretende mejorar la tasa de utilización de la radiación solar, así como también reducir los costos de generación de consumo de energía desde la red eléctrica principal (Gansino, 2015 pp. 36-39).

1.3.2. Justificación aplicativa

El cambio climático ha sido un factor fundamental para incrementar las fuentes de generación de energía alternativa. Estas fuentes de generación pueden llegar a suplir a los sistemas convencionales. Las fuentes de generación renovable garantizan y sustentan el crecimiento económico y productivo de la sociedad con la principal ventaja de generar un menor impacto sobre el medio ambiente y el agotamiento de los recursos no renovables.

La tendencia tecnológica exige que la investigación enfoque sus esfuerzos en la integración de sistemas renovables no solo a nivel de generación sino también en la etapa de redes de distribución. En este aspecto, la generación de energía adquiere un contexto descentralizado mediante sistemas distribuidos que colaboran principalmente al autoconsumo local sea a nivel residencial o comercial. Con este contexto, es necesario que a nivel educativo se fomente la implementación de sistemas de generación renovable para que puedan ser estudiados más allá del fundamento teórico o de simulación. De esta manera se puede evidenciar de forma fiable la aplicabilidad de dichos sistemas y promover proyectos mucho más grandes a futuro.

En este marco, la FIE requiere una plataforma de autoconsumo energético basada en generación fotovoltaico que cumpla dos aspectos: operar de forma paralela a la infraestructura eléctrica de sus edificios y permitir servir de plataforma de ensayo y aprendizaje para sus estudiantes, docentes e investigadores. Los elementos que compone el diseño del sistema de control y monitoreo serán

seleccionados durante el proceso de investigación con el fin de analizar los componentes de manera adecuada y justificada que permitan cumplir con los requerimientos de funcionamiento de los equipos con los que cuenta actualmente la FIE. Un eje fundamental cuando se aborda la temática de generación, uso y aprovechamiento de energía renovable radica en el control óptimo y eficiente de los recursos con los que se cuenta. En este aspecto, la bibliografía nos presenta una basta cantidad de tipos de controles y técnicas de gestión energética que permiten maximizar el aprovechamiento de los recursos instalados.

Una vez que ya se cuenta con un sistema de generación de energía renovable, el siguiente paso es contar con un sistema de control y monitoreo que garantice la operación eficiente del hardware. Este trabajo hace particular énfasis en el sistema de control aplicando técnicas difusas optimizadas y adaptativas, considerando información como las predicciones de generación fotovoltaica para controlar las consignas de operación del inversor y de los flujos de energía proveniente de la generación renovable, red eléctrica principal y batería, con el objetivo de maximizar la eficiencia energética y priorizando el autoconsumo energético, lo que implica una reducción de la energía absorbida desde la red. En la ilustración 1-1: se muestra de forma esquemática, el sistema de generación renovable que se instalará en el edificio de la FIE.

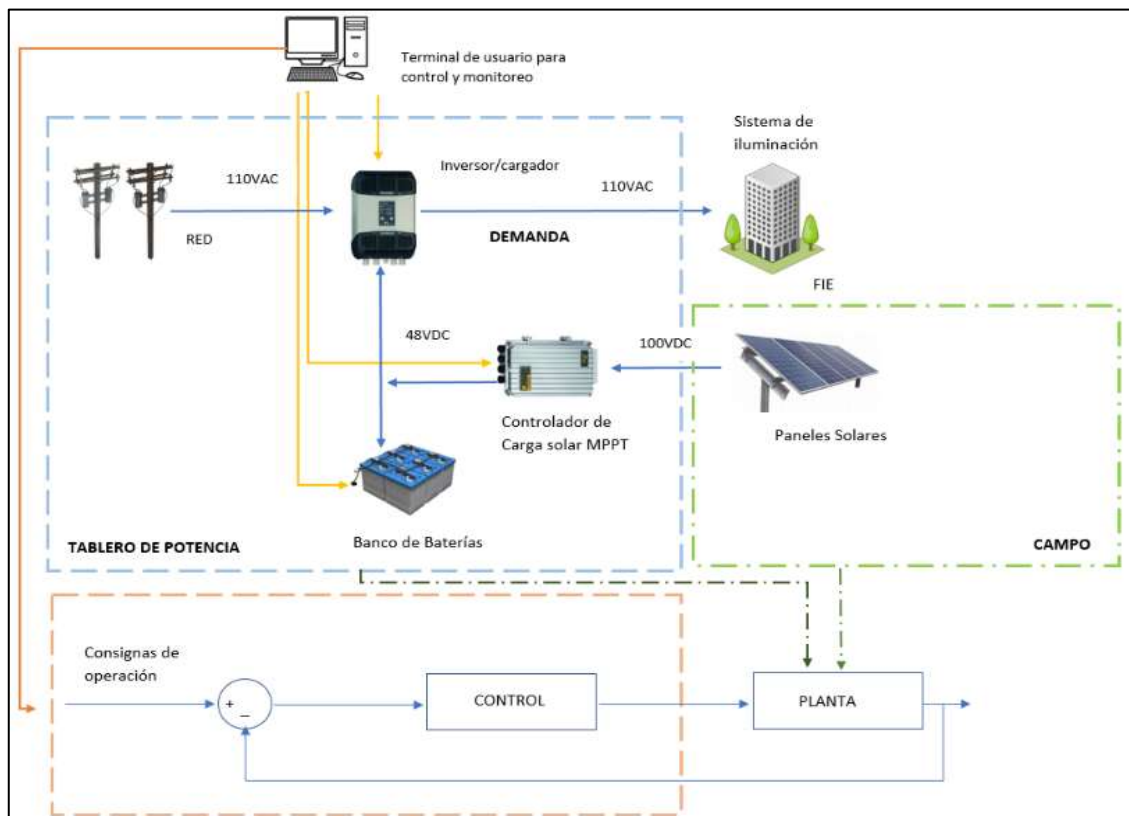


Ilustración 1-1: Diagrama del funcionamiento del sistema

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementar de un sistema solar fotovoltaico de 4 KW y diseñar un sistema de control y monitoreo para el edificio de robótica de la FIE.

1.4.2. Objetivos específicos

- Revisión del estado del arte referente a técnicas de control para el autoconsumo energético.
- Diseñar el algoritmo de control basado en lógica difusa optimizada para maximizar la eficiencia energética del sistema utilizando el software Matlab.
- Diseñar el sistema de monitoreo para la gestión, registro y visualización de información energética del sistema.
- Implementar la estación de autoconsumo energético incluyendo paneles solares, inversores de potencia y baterías para operar bajo las consignas de control definidas en simulación.
- Evaluar y validar la operación eficiente y estable del sistema, considerando factores energéticos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se detalla información sobre los componentes necesarios para la implementación de una estación fotovoltaica, abordando las principales causas para el uso de energías renovables. El capítulo continúa exponiendo técnicas orientadas al monitoreo y control de sistemas de generación de energía que pueden abastecerse mediante plataformas fotovoltaicas. Se exponen las características de dispositivos necesarios para la implementación de la propuesta tecnológica y se finaliza con el sustento matemático con el que se calculan las dinámicas del sistema.

2.1. Antecedentes de investigación

Las comunidades de uso de las energías renovables introducen diversos conceptos y controles ideales para la mayor optimización de producción, uno de los aspectos fundamentales para el desarrollo de la generación a través de energías renovables son las microrredes. Las microrredes ofrecen una amplia posibilidad de que cada usuario pueda producir su propia energía que abastezca diversas cargas, la energía excedente del usuario puede ser utilizada por otra carga de usuario en la red (Laayati, et al., 2017 pp. 1-7). En una microrred, se tiene como usuarios los proveedores, productor y vendedor, así como el usuario de consumo final, un prosumidor se define como un usuario que actúa como productor y consumidor de energía, que cambia su rol en la red según los ingresos y ahorros económicos de las transacciones de energía y sus propias tasas de consumo y de producción de energía (Vivian, et al., 2022 pp. 1-5).

2.1.1. *Sistemas de microrredes de energía compartida en redes de calefacción*

La generación distribuida a partir de fuentes de energía renovables, permite producir y consumir energía de centrales eléctricas locales compartidas. Las redes que permiten la calefacción y refrigeración en zonas urbanas han sido desarrolladas como investigación centrándose en bombas de calor distribuidas, dichas bombas han demostrado su capacidad para aprovechar las energías renovables. La investigación se basa en simulaciones por computadora realizadas tanto con modelos estadísticos para la evaluación de perfiles de carga eléctrica y la producción fotovoltaica, el aumento del autoconsumo debido a las bombas de calor distribuidas es inferior al 10%. El beneficio ambiental del sistema propuesto es una reducción de CO₂ en un 72-80% en

comparación con la situación actual dependiendo de la energía fotovoltaica instalado. (Vivian, et al., 2022 pp. 1-5)

2.1.2. Sistemas de almacenamiento de energía en baterías comunitarias

La principal problemática del uso de energías renovables es que se requiere una gran inversión para poner en funcionamiento las implementaciones, en los sistemas de almacenamiento de energía (ESS), los ESS serían inaccesibles para cada usuario en una MG. Por lo tanto, también podría implementarse un ESS comunitario o compartido para almacenar temporalmente la energía excedente de un usuario hasta que este decida usarla o venderla en el MG (Talluri, et al., 2021 pp. 1-4) utilizando un algoritmo basado en un aprendizaje automático que realiza una proyección futura de un día por delante del consumo de las cargas y de la generación fotovoltaica. Los autores concluyeron que la eficiencia de las transacciones de energía aumenta cuando se introduce un sistema comunitario de almacenamiento de energía.

2.1.3. Sistemas de microrredes

Según la revisión de la literatura referente a varios trabajos de investigación sobre estudios de implementaciones de microrredes y mercados transactivos de energía se tiene un artículo que reporta un sistema híbrido de diferentes tipos de abastecimiento de energía renovable para abastecer a una localidad remota en Arabia Saudita. La microrred está compuesta por plantas de energía de turbinas eólicas y fotovoltaicas, y un sistema de energía hidroeléctrica bombeada (Kanato Tamashiro, 2021 pp. 1-4). se utiliza como sistema de almacenamiento de energía en lugar de alternativas como los costosos sistemas de almacenamiento de baterías y los sistemas de almacenamiento de hidrógeno verde. Los autores de (Domenech, et al., 2021 pp. 1-6) informan que el uso del sistema de energía hidroeléctrica bombeada con la estrategia de respuesta a la demanda optimizado redujo el costo de la energía en un 34,2 % y un 41,1 % en comparación con el uso de sistemas de almacenamiento en baterías y los sistemas de almacenamiento de hidrogeno verde. En el trabajo de investigación referente al autoconsumo de electricidad en microrredes (Gohary, et al., 2021 pp. 1-4) se diseñó y simuló una microrred de corriente continua (DC) para una pequeña isla en Belice. Los autores destacan la importancia de la microrred de CC para reducir las pérdidas de energía debido a la conversión de módulos de CC-CA. Alternativamente, en (Angela Amato, 2021) se propone un diseño y una simulación de microrredes híbridas de CA/CC, donde los autores proponen un modelo de optimización para planificar la ubicación óptima de los alimentadores de CC, ya que las cargas de CC se pueden distribuir aleatoriamente en la microrred. Con respecto a la región de América Latina, los autores realizan una revisión de varios proyectos, laboratorios y sistemas de prueba relacionados con implementaciones de microrredes en América Latina (Azaioud, et al., 2020 pp. 1-3) desarrollados desde sectores académicos e industriales

2.1.4. *Sistemas de autoconsumo en Ecuador*

Los recursos potenciales de energía renovable disponibles en Ecuador para implementaciones de microrredes, requieren de estudios de diseño y modelado sobre soluciones de microrredes como parte del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado de Ecuador (Tapia, et al., 2022 p. 1), para la implementación de microrredes en Ecuador. El documento también analiza la viabilidad de la inclusión de soluciones energéticas de microrredes para áreas aisladas de Ecuador.

Se presenta un modelo de sistema de gestión de energía basado en control predictivo para microrredes electrotérmicas aisladas en zonas rurales de Ecuador estudio de diseño y optimización de microrredes aisladas para la Amazonía en Ecuador. Los escenarios de microrredes están conformados por recursos energéticos renovables como plantas fotovoltaicas, aerogeneradores, hidrogenación y bancos de baterías. Los resultados de la optimización demuestran que las microrredes basadas principalmente en hidrogenación son más eficientes y beneficiosas en términos de costo, lo que implica que las microrredes para comunidades ubicadas lejos de los ríos serían muy costosas (Salazar, et al., 2021 p. 2).

2.2. Referencias teóricas

En el presente punto se realiza un análisis en los que se detallan teóricamente los principales puntos de estudio para establecer los equipos para la implementación de la estación fotovoltaica y los distintos tipos de controles que se pueden tener en cuenta para asignar consignas de mejora para el sistema de producción.

2.2.1. *Sistemas de generación eléctrica*

La generación de energía eléctrica se basa en realizar un proceso de transformación de los distintos tipos de energía como la energía química, energía cinética, energía lumínica, energía solar entre otras, en energía eléctrica. Esta transformación cubre la demanda de energía solicitada desde distintas cargas de ciudades, países etc. Dependiendo de la fuente primaria de obtención de energía se clasifican en energías renovables y no renovables.

Tanto las generaciones de energía renovable o no renovable forman parte de los sistemas de potencia que llega a los usuarios finales (Gansino, 2015 p. 5).

El reciente crecimiento de la implementación de las energías limpias da a conocer nuevos entornos de abastecimiento de energía, como las microrredes. Las microrredes pueden tanto generar como consumir su propia energía, es decir, trabajar en sincronismo o de manera aislada del sistema de abastecimiento de la red principal.

2.2.2. Sistemas de generación eléctrica con energías renovables

En el mundo existen distintas fuentes de energía que se han utilizado a lo largo de los años para satisfacer la creciente demanda tanto de la población como del sector comercial desde el despegue en la llamada Revolución Industrial. Dentro de este conjunto de posibles opciones de fuentes de energía las renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana. Estas energías aprovechan las diferentes fuerzas provenientes de la naturaleza como el viento, la radiación solar, las corrientes de agua, cascadas, y energías como el calor geotérmico, entre otras (Merino, 2012 p. 4). La forma de transformar la energía natural en energía eléctrica varía dependiendo del origen, pero en general se usan sistemas mecánicos como los llamados generadores que aprovechan la energía mecánica tanto de las caídas de agua como del flujo del viento. En el caso de la energía solar se utiliza un cambio de iones, semiconductores y electrónica de potencia para aprovechar su radiación y convertirla en energía tanto eléctrica como térmica (Schallenberg, et al., 2008 pp. 32-34).

De forma general se puede decir que los costes de la generación de la energía se desglosan entre los costes de capital correspondientes a la inversión del proyecto, los costes asociados al combustible de cada sistema de producción y los costes derivados del mantenimiento y la operación de las plantas generadoras. La energía hidroeléctrica comparte con la nuclear que la mayor parte de los costes asociados, son del capital, seguidos de los costos de operación y mantenimiento y con costo de combustible mínimo o prácticamente nulo, en el caso de la hidráulica. Sin embargo, a pesar de que la inversión y mantenimiento de este tipo de generación de energía es costosa, presentan las mejores opciones para generar en gran volumen y abastecer varias ciudades tanto así que son las principales fuentes de energía a nivel mundial conjuntamente con la generación mediante la quema de combustibles fósiles. Para las centrales térmicas el principal costo radica en el combustible que consume, sea carbón, gas, petróleo o biomasa.

Cuando se cuenta con energías renovables como la eólica y solar se tiene la ventaja de que no presentan costos por el consumo de combustibles fósiles. Sin embargo, los costos de operación y mantenimiento siguen presentes, aunque, en comparación, son menores a los sistemas de generación tradicionales (Martinez, 2010 p. 3).

En Ecuador la cifra de producción de energía total tomada como referencia en junio de 2022 del operador nacional de electricidad (CENACE) es de 55.674 MWh como se muestra en la Ilustración 1-2:. De los cuales como generación de exportación se tienen 365 KWh, 51.938 KWh obtenidos a través de la generación hidráulica, 3.243 KWh de otras fuentes de generación y por último 492 KWh de energía no convencional.

En la Ilustración 1-2: se puede observar cuales son las centrales hidroeléctricas con mayor producción energética en las que se encuentran: Coca Codo Sinclair (30%), Paute Molino (23%) Sopladora (11%), Minas de San Francisco (2%) y otras hidroeléctricas (34%).

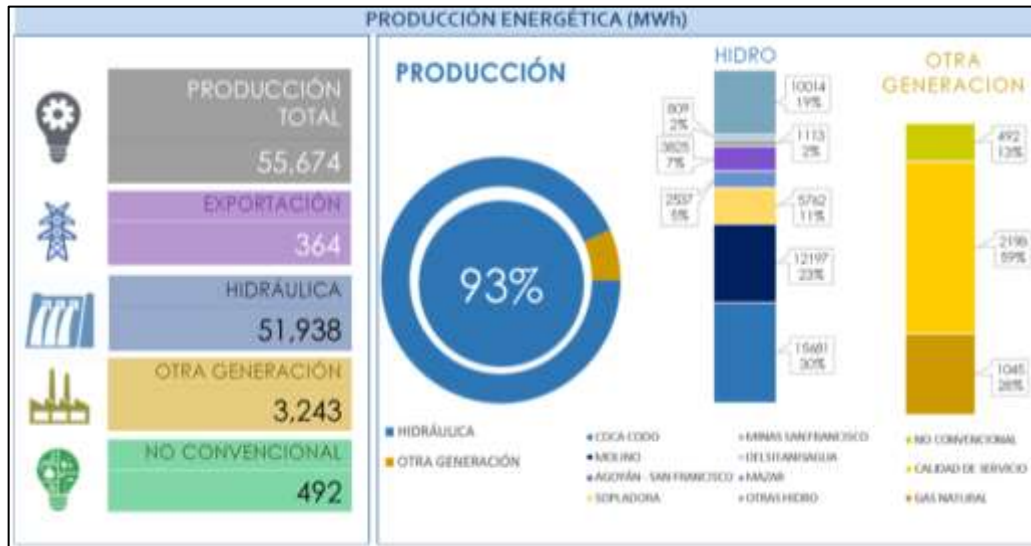


Ilustración 1-2: Consumo de energía renovables en Ecuador.

Fuente: (CENACE, 2022)

2.2.3. Sistemas de energía solar fotovoltaica

Centrándonos en el aprovechamiento de la energía solar, esta fuente de energía renovable es la más respetuosa con el medio ambiente y dispone de un recurso completamente inagotable para cubrir las necesidades energéticas (Pallero, 2001 pp. 105-107). La idea de utilizar el calor y radiación solar viene desde tiempos antiguos, teniendo registros de que las civilizaciones orientales, egipcia y griega consideraran al sol como una fuente inagotable de energía. Sin embargo, el bajo nivel tecnológico que disponían, en su característica de captación y transformación, les impidió utilizarla.

Existen dos efectos físicos que permiten la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica: el termoeléctrico y el fotoeléctrico. La energía solar se transforma directamente, mediante las células fotovoltaicas en electricidad como se muestra en la Ilustración 2-2. Este principio se basa en la aplicación del efecto fotoeléctrico mediante la conversión directa de energía solar en energía eléctrica fundamentado en la fuerza electromotriz de un material semiconductor (Martínez, 2010 pp. 3-4) generando así un flujo de electrones en el interior del semiconductor. Para ello se debe saber que un módulo fotovoltaico contiene varias células fotovoltaicas conectadas entre sí produciendo electricidad en corriente continua. Los sistemas

constan de paneles fotovoltaicos acompañados de sistemas de almacenamiento de energía, reguladores de carga e inversores (Schallenberg, et al., 2008 pp. 32-24).

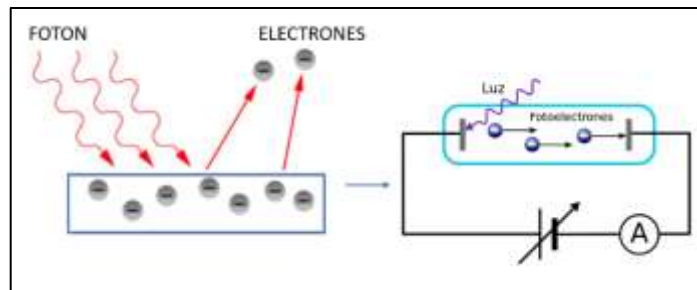


Ilustración 2-2: Principio Fotoeléctrico.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Los sistemas de energía solar permiten desarrollar sistemas eléctricos independientes denominadas microrredes de energía renovable. Dichos sistemas están tomando fuerza dado el auge de la descarbonización propuesta por la Unión Europea y las Naciones Unidas. Estas iniciativas permiten que el uso de sistemas fotovoltaicos abastezca a comunidades o industrias mediante el auto consumo energético. Como principal ventaja del autoconsumo energético se tiene la reducción de costos de las facturas de electricidad, así como, una producción de energía limpia y eficiente (Industrial, 2021).

España es uno de los países que dispone de una mayor experiencia en el sector de las energías renovables, siendo el país que alberga más territorio con plantas fotovoltaicas de toda Europa. España es uno de los países donde el mercado de instalaciones fotovoltaicas se ha desarrollado de un modo concreto e impulsado por diversas iniciativas públicas y privadas. Los proyectos como La planta solar fotovoltaica de Don Rodrigo (Sevilla), con una superficie de 300 hectáreas, es una de las más grandes de Europa con una potencia instalada 175 MW de potencia instalada y más de medio millón de módulos solares (BayWa, 2020).

Referente a la planta solar con mayor impacto en América Latina se encuentra en Cauchari, Buenos Aires, Argentina. Este parque fotovoltaico suma 315 MW de potencia y cuenta con 1.2 millones de paneles solares cubriendo una superficie de 800 hectáreas y beneficia a 160.000 familias (Aenolastname, 2020).

En Ecuador el sistema de generación fotovoltaica más grande instalado actualmente se ubica en el centro comercial Multiplaza Batán en Quito ocupando una superficie de 41.000 m² generando 700 KWP el cual aporta más del 30% de la energía demandada por las cargas seleccionadas del centro comercial (CEMDES, 2020). No obstante Ecuador cuenta con ambiciosos proyectos a futuro utilizando energías renovables siendo la empresa Energycontrol la pionera en crear la planta de

autoconsumo más grande el país con una producción estimada de 1 MW y una futura instalación de 2.304 módulos en la ciudad de Guayaquil (Molina, 2021).

2.2.4. Sistemas de energía solar fotovoltaica

Para un sistema de energía solar fotovoltaica se tienen como componentes principales los siguientes: el panel solar, el controlado de carga solar, baterías e inversor. Estos componentes tienen como objetivo abastecer a las demandas de energía de las cargas.

2.2.4.1. Paneles Solares

Este equipo es conocido como panel solar o módulo fotovoltaico, cuenta con un conjunto de células solares con una dimensión aproximada de 10 cm² cuadrados que están conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco dependiendo del fabricante. Cuenta con una conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión que oscilan en valores comunes de 6 V, 12 V, 24 V. Dependiendo de los requerimientos de consumo de las cargas se realiza un proceso de dimensionamiento para escoger el módulo más óptimo y la configuración más adecuada entre módulos, de tal manera que se puede definir la tensión a la cual va a trabajar el sistema solar fotovoltaico.

El panel solar es el elemento principal en el sistema de generación fotovoltaico ya que constituye la fuente de energía. El mantenimiento de los paneles solares tiene un costo relativamente bajo ya que requiere pocas interacciones de limpieza a lo largo de su vida útil dependiendo factores climáticos como el polvo y partículas en suspensión que puedan ensuciar la superficie del panel solar. La frecuencia de esta limpieza dependerá del lugar en el que se haya instalado el sistema (Romero, 2015 p. 23).

La estructura del panel solar generalmente es rectangular como se muestra en la Ilustración 3-2:. El plástico que recubre a estas células es llamado EVA que es un material capaz de soportar condiciones y temperaturas extremas teniendo en cuenta que los paneles solares deben estar montados en estructuras al aire libre. (BBVA, 2020)



Ilustración 3-2: Paneles solares.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

2.2.4.2. Inversor

Los paneles solares fotovoltaicos producen corriente continua, por lo que para poder alimentar cargas en corriente alterna se necesita un dispositivo electrónico, denominado inversor, que convierte la corriente continua (CC) en alterna (AC). Los inversores pueden ser monofásicos o trifásicos, con diferentes voltajes nominales de entrada y un amplio rango de potencias disponibles. El funcionamiento general de los inversores está basado en puentes de interruptores de semiconductores de potencia con un ciclo controlado de apertura y cierre generando ondas de pulsos variables (Abella, 2017 p. 67). Dependiendo del modelo del inversor, este puede permitir tener sistemas aislados de tipo híbrido. En este tipo de sistema la fuente de generación primaria se encuentra en los paneles solares; sin embargo, cuando la generación de energía no cubre la demanda se puede usar un generador o la red principal como fuente de energía de compensación tal y como se muestra en el esquema de la Ilustración 4-2:. Este bypass entre los paneles y la fuente de compensación permite recargar las baterías del sistema y abastecer las cargas. Como sistema híbrido bidireccional el inversor permite abastecer las cargas con el flujo de energía desde los paneles y mediante un control se determina si existe un excedente de energía la cual puede ser inyectada a la red principal. De igual manera si la demanda es superior a la generación el sistema combina el flujo de energía tanto de los paneles por el flujo de energía de la red principal.



Ilustración 4-2: Inversor.

Fuente: (Valle, 2021)

2.2.4.3. Controlador de carga solar

El funcionamiento del regulador de carga o controlador de carga solar tiene como objetivo regular las señales de voltaje y corriente desde los paneles solares para garantizar una potencia estable y maximizar la generación solar mostrado en el esquema de la Ilustración 5-2:. Como principal función evita la sobrecarga, sobre descarga de energía en la batería y permite aprovechar al máximo la energía suministrada por la fuente de generación como lo es la estación de paneles, a

la vez que garantiza la protección adecuada, en términos generales, las características eléctricas que definen a un regulador son la tensión nominal y la intensidad máxima de trabajo (Abella, 2017 p. 67). Cuando el regulador detecta que el voltaje de las baterías es menor o igual al establecido como voltaje de descarga, desconecta automáticamente las cargas para que las baterías vuelvan a recargarse con la energía de los paneles fotovoltaicos. De igual forma, cuando el voltaje de las baterías es igual o superior al límite fijado en el regulador, se desconectan los módulos fotovoltaicos evitando daños que acorten la vida útil del sistema de almacenamiento (Patiño, et al., 2009 pp. 34-40).

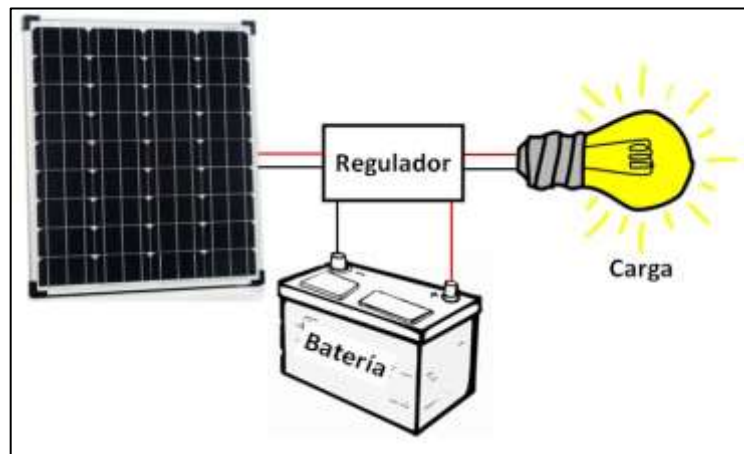


Ilustración 5-2: Controlador de carga.

Fuente: (Valle, 2021)

2.2.4.4. Baterías

Las baterías utilizadas para sistemas de generación fotovoltaica como se muestran en la Ilustración 6-2:, generalmente son en bancos de baterías, dichos bancos se utilizan como sistema de almacenamiento energético. No obstante, las baterías se pueden utilizar para otros cometidos como sistemas estabilizadores de voltaje o de corriente y para suministrar una respuesta rápida ante picos de demanda desde las cargas. La gran mayoría de las baterías disponibles en el mercado son de Plomo-ácido, dado que es una tecnología madura y relativamente económica, las cuales se adaptan adecuadamente a las operaciones de los sistemas de generación fotovoltaicos siempre y cuando se realice un debido mantenimiento. La capacidad que tienen las baterías se mide en amperios hora (Ah). En un grupo de baterías conectadas entre sí, si se conectan en serie, aumenta su valor de voltaje mientras que si se conectan en paralelo aumenta su capacidad de entregar o recibir corriente. Para abastecer a la capacidad necesaria para el sistema requerido de almacenamiento se realiza el dimensionamiento en función a los consumos y número de horas de autonomía necesarias para el sistema (Abella, 2017 pp. 65-67).



Ilustración 6-2: Baterías.

Fuente: (Cumbre, 2019)

2.2.5. *Sistemas de control automático*

El control automático se ha convertido en una herramienta indispensable para el avance de la ingeniería y las ciencias numéricas. Son una herramienta importante en los sistemas de vehículos espaciales, robots, procesos modernos de fabricación y operaciones industriales que requieran un control de una o más variables como la humedad, la temperatura, la presión, etc. La teoría de control moderna analiza el dominio del tiempo de los sistemas a través de ecuaciones diferenciales, lo cual simplifica el diseño de los sistemas de control porque genera un modelo matemático real de lo que se quiere controlar. El problema radica en no todos los sistemas son estables y de esto depende el error que existe entre el sistema real y su modelo matemático, por lo que el controlador diseñado a partir del modelo puede no ser adecuadamente estable. Para ello existen varias técnicas de control que permiten estabilizar el sistema e incluso disminuir el error existente (Ogata, 2010 p. 912).

Dentro del control automático existen varios elementos que conforman su arquitectura. El más importante es la planta o el sistema que se pretende controlar, del cual se hace un modelo matemático considerando una retroalimentación de información a través de sensores o elementos de medición que posibilitan definir el error entre el valor que se requiere también llamado “Set Point” y el valor real de la planta definido como “Press Value” (Braslavsky, 2017 pp. 15-21). Esta estructura con retroalimentación que se puede observar en la Ilustración 7-2: se define como un control de lazo cerrado y tiene la capacidad de transformar la señal de entrada para que esta se encuentre en función de la señal de salida y por lo tanto la toma de decisiones del elemento de control no dependa solamente de la señal de entrada sino también de la salida (Sastoque, 2021).

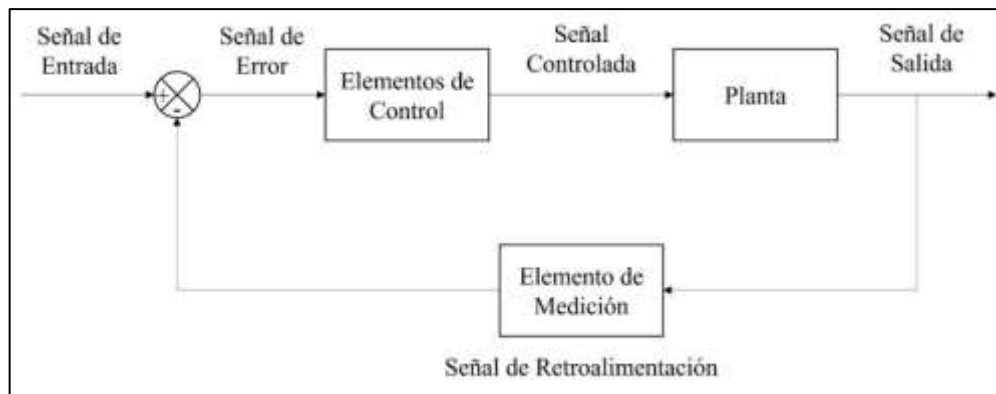


Ilustración 7-2: Representación Gráfica de un Sistema de Control en Lazo Cerrado.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

En el bloque correspondiente a elementos de control es donde se puede aplicar las diferentes técnicas o sistemas de control. Estas técnicas se diferencian entre sí por el proceso que llevan a cabo para corregir la señal de error y generar una señal controlada para la planta o proceso (Sastoque, 2021).

Los sistemas de control se aplican dentro de los sistemas de la generación fotovoltaica permitiendo mejorar la eficiencia de generación, gestión y utilización de la energía, así como maximizar la vida útil de los elementos que conforman el sistema (Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica, 2019). En los sistemas de generación fotovoltaicos los algoritmos de control se usan para realizar el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) los cuales se encargan de extraer el máximo rendimiento a la energía generada por los paneles fotovoltaicos. (Farhat, et al., 2015 pp. 476-487).

2.2.6. Tipos de sistemas de control

Cuando se desea controlar un determinado sistema, se tienen dos opciones de estructuras de control que se puede considerar como: sistema de control en bucle abierto y sistemas de control en bucle cerrado. En el sistema de control en bucle abierto no influye la señal de salida sobre el control, es decir que para que funcione de manera correcta debe haber un perfecto estudio previo de la dinámica del sistema a controlar y que no existan alteraciones o variables externas que afecten al mismo. Por el contrario, los sistemas de control en bucle cerrado tienen una retroalimentación de la variable de salida tal y como se observa en la Ilustración 7-2:, lo que permite comparar la variable a controlar con la señal de referencia y determinar el error existente entre las dos señales. Este error debe ser corregido con diferentes estrategias de control para mejorar la señal de salida. Por lo tanto, los requerimientos de operación dependen la selección del control más óptimo (Ñeco, et al., 2003 pp. 4-20).

2.2.7. Control convencional: PID

Los controladores PID son usualmente aplicados para resolver problemas de control de muchas aplicaciones en la industria, particularmente cuando la dinámica del proceso lo permite. En la actualidad, el control PID dispone de varias prestaciones, como algoritmos que se combinan con técnicas de control inteligente, lo cual mejora su respuesta ante la salida del sistema (Åström, et al., 2009 pp. 10-15).

El controlador PID está conformado por tres elementos los cuales son: el elemento proporcional “P”, que como su nombre lo indica es proporcional al error en un instante de tiempo “t” y se define como el error presente. El elemento integral “I”, que es proporcional a la integral del error hasta un instante de tiempo y puede interpretarse como la acumulación del error pasado, este tiene una acción rápida y su principal función es asegurar que la salida del proceso concuerde con el valor de referencia. Por último, el elemento derivativo “D” que es proporcional a la derivada del error en un instante de tiempo y se puede interpretar como una predicción del error futuro, este tiene una acción de respuesta lenta y tiene el propósito de mejorar la estabilidad del lazo cerrado. Por lo que se puede concluir que el controlador PID toma en cuenta los errores presentes, pasado y futuros para controlar la variable del sistema y disminuir el error (Araki, 2009 pp. 58-59).

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Ecuación 1-2: Control PID en función del tiempo.

Fuente: (Ogata, 2010 p. 912)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La Ecuación 1-2: representa la estructura matemática del control PID en función del tiempo donde K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral y T_d el tiempo derivativo. El control PID también tiene una presentación en función de la frecuencia el cual se denomina función de transferencia presentada en la Ecuación 2-2: (Améstegui, 2001 pp. 15-17).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Ecuación 2-2: Función de transferencia del control PID.

Fuente: (Ogata, 2010 p. 912)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Para conocer el valor de los parámetros K_p , T_i y T_d se utilizan técnicas de sintonía para los controladores PID. Una de las técnicas más importantes y conocidas son las reglas de Ziegler-

Nichols el cual se basa en las características de la respuesta transitoria de una planta o proceso definido en la Ecuación 2-2:. Estas reglas utilizan primero la acción del control proporcional para obtener experimentalmente una ganancia crítica K_{cr} que presenta oscilaciones constantes y un periodo crítico P_{cr} . Con estos valores obtenidos, Ziegler-Nichols presentan una tabla con fórmulas para establecer los valores de los parámetros para el controlador PID (Ogata, 2010 p. 912).

Tabla 1-2: Regla de sintonía de Ziegler-Nichols para controladores PID.

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Fuente: (Ogata, 2010)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Los controladores PID descritos en la Tabla 1-2: son empleados por su versatilidad en los sistemas de generación fotovoltaica sobre todo en los sistemas de convertidores DC/DC que son utilizados como interface entre los paneles y la carga, lo que permite el seguimiento del MPPT como se muestra en la Ilustración 8-2:. Otra función que cumple el control PID dentro de los convertidores es el control de la conmutación mediante la generación de la señal PWM (Palo, et al., 2018 pp. 1-8). Además, este tipo de control es ampliamente utilizado para el control de sistemas con estructuras móviles de seguimiento solar los cuales cuentan con un sensor para determinar la posición del sol y así mover el sistema solar fotovoltaico obteniendo la mayor potencia de generación posible (Vazquez, et al., 2019 pp. 1-7).

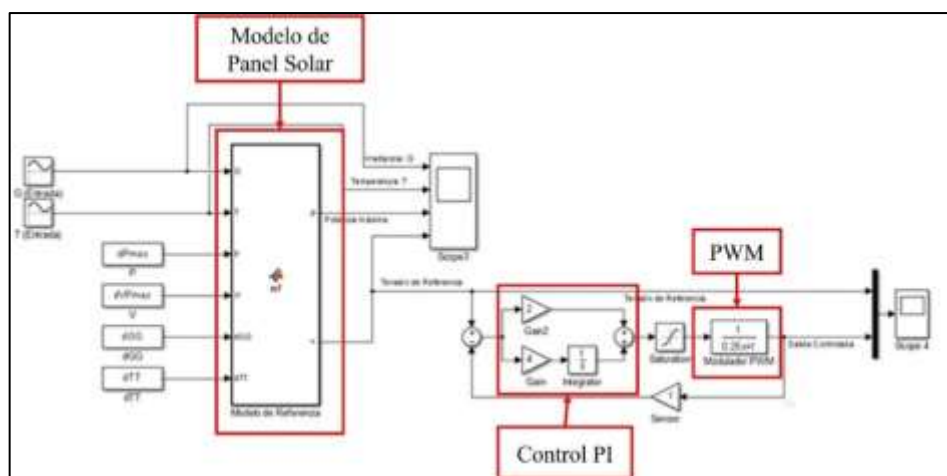


Ilustración 8-2: Sistema de control de tensión de carga con control PI para el PWM.

Fuente: (Palo, et al., 2018 pp. 1-8)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

2.2.8. Control Inteligente

El control inteligente es una serie de técnicas basadas en la inteligencia artificial que tratan de resolver problemas de control automático difícil de abordar con los métodos clásicos. El control inteligente es una combinación de técnicas de inteligencia artificial con el control automático, haciendo que este último obtenga habilidades cognoscitivas. Algunas de estas técnicas reconocidas como control inteligente son: los sistemas expertos, lógica difusa, redes neuronales, algoritmos genéticos, entre otros (Galán, et al., 2000 pp. 1-7).

2.2.8.1. Control basado en lógica difusa

Dentro del control inteligente existe un método llamado Fuzzy Logic Control (FLC) y se trata de un control basado en reglas heurísticas o estrategias de control expresadas en términos lingüísticos detallados por los operadores del proceso (Galán, et al., 2000 pp. 1-7). En general, el controlador difuso consta de cuatro partes: Las reglas difusas, el bloque defuzzificación, la inferencia de decisiones y el bloque de defuzzificación los cuales se representan como en la Ilustración 9-2: (Dumitrescu, et al., 2021 pp. 4-5).

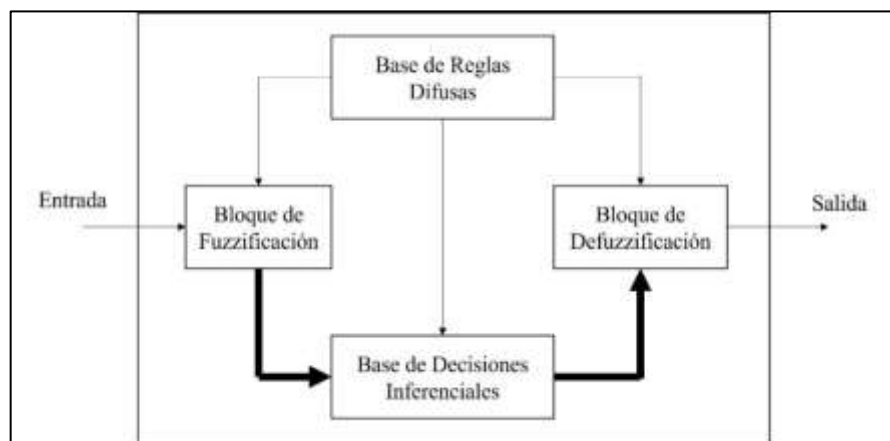


Ilustración 9-2: Representación gráfica de la estructura de un controlador difuso.

Fuente: (Dumitrescu, et al., 2021 pp. 4-5)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La base de las reglas difusas es la transposición a la lógica difusa de la descripción lingüística que representa la forma en que se lograría un control eficiente. Este tipo de control consiste en utilizar un conjunto de reglas del tipo “si” y “entonces” establecidas por un experto en base a las variables de entrada y salida. El bloque defuzzificación representa el bloque de entrada del controlador y tiene la función de obtener información difusa a través de variables, términos lingüísticos y funciones de pertenencia. El resultado del proceso de rusificación se compara con las premisas contenidas en la base de reglas y que luego son utilizadas por el mecanismo de inferencia (Dumitrescu, et al., 2021 pp. 4-5).

El mecanismo de inferencia evalúa cuales reglas son relevantes en el momento adecuado en función de los grados de pertenencia y decide el valor difuso de la cantidad de salida del controlador. El bloque de defuzzificación convierte el valor obtenido por el bloque de decisión en un valor físico que será transmitido al proceso en ejecución, es decir que se realiza la operación inversa a la fuzzificación (Dumitrescu, et al., 2021 pp. 5-6).

El control difuso tiene dos tipos de procesadores más conocidos los cuales son: Mamdani y Sugeno. Por un lado, Mamdani se aplica directamente en el control de procesos y otros sistemas expertos ya que son especialmente adecuados para la ejecución de acciones de mando y control de un operador. Por otro lado, Sugeno se utiliza principalmente en el modelado de procesos ya que los valores de las funciones de salida son precisos y las funciones de consecuencia son reemplazadas por constantes que son ponderadas por las decisiones establecidas para las condiciones iniciales (Jassbi, et al., 2006 pp. 1-5).

El control difuso tiene varias aplicaciones dentro de los sistemas de generación fotovoltaicos. Es utilizado en seguidores solares para estructuras móviles de paneles solares. De igual forma el control difuso se aplica para el control de la tensión que alimenta a la carga a través del convertidor DC-DC. En este tipo de aplicaciones los puntos de operación cercanos al MPP (punto de máxima potencia) poseen una derivada que tendrá valores pequeños mientras que en los puntos lejanos tendrá valores más grandes. El controlador difuso se encarga de definir el tamaño de cada ciclo de trabajo para obtener una salida de voltaje estable ante variaciones en la demanda de la carga como se puede observar en la Ilustración 10-2: (Torres, et al., 2017 pp. 1-6).

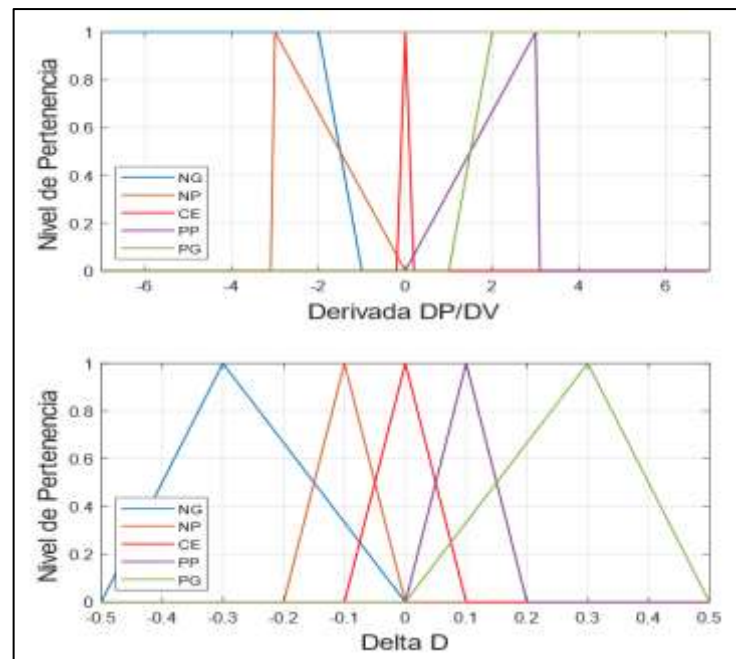


Ilustración 10-2: E/S difusa para optimización de un convertidor DC-DC.

Fuente: (Torres, et al., 2017 pp. 1-6)

La lógica difusa permite mejorar la toma de decisiones dentro de los sistemas de generación de energía, por lo que su aplicación permitiría mejorar la eficiencia obteniendo menos pérdidas utilizando como base los parámetros de radiación solar, corriente, voltaje y potencia demandada (Cabrera, et al., 2020 pp. 1-10). La lógica difusa también permite suavizar el perfil de intercambio de potencia entre sistemas o redes sin descuidar los criterios de calidad, es decir minimizando las fluctuaciones en la red y los picos de potencia. Mediante de las reglas difusa se elige el mejor momento para el intercambio de potencia entre los sistemas de generación y almacenamiento considerando el déficit o excedente de energía. En la Ilustración 11-2: se observan las funciones de pertenencia de entrada y salida de un control de este tipo. Dichas funciones hacen referencia al estado actual del perfil de potencia en la entrada, mientras que la salida se refiere a la cantidad de potencia a intercambiar entre los sistemas (Ramos, 2020 pp. 10-33).

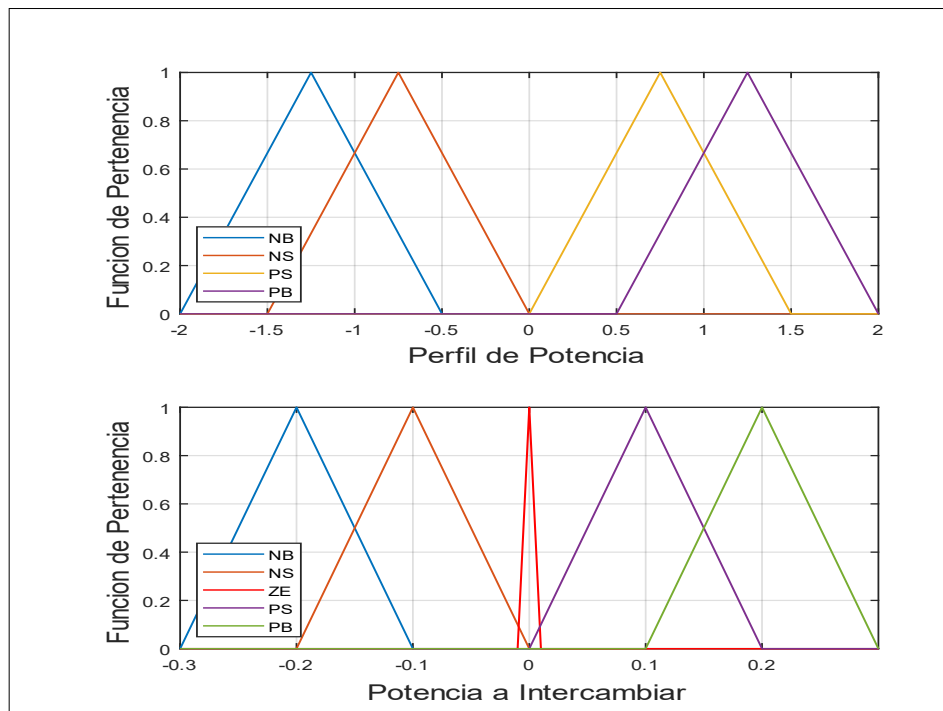


Ilustración 11-2: Funciones de pertenencia para gestión de energía entre microrredes.

Fuente: (Ramos, 2020 pp. 10-33)

2.2.8.2. Control basado en Redes Neuronales Artificiales

Una red neuronal es una estructura de procesamiento de información paralela y distribuida basada en el modelo de la actividad neuronal del cerebro, con elementos de procesamiento interconectados mediante canales de información. Este tipo de técnica de control se utiliza por la capacidad de aprender el comportamiento no lineal de las variables de un proceso (Galán, et al., 2000 pp. 1-7). Existen redes neuronales con estructuras complejas como neuronas conectadas entre sí, una de estas obtiene el nombre de Feedforward, donde las neuronas de entrada se conectan a una

capa de neuronas, las salidas de las neuronas de la primera capa se conectan a las neuronas de la segunda y así con más capas sucesivas hasta llegar a las salidas. Estas capas intermedias entre las entradas y las salidas se llaman capas ocultas tal y como se muestra en la Ilustración 12-2: (Åström, et al., 2009 pp. 10-15).

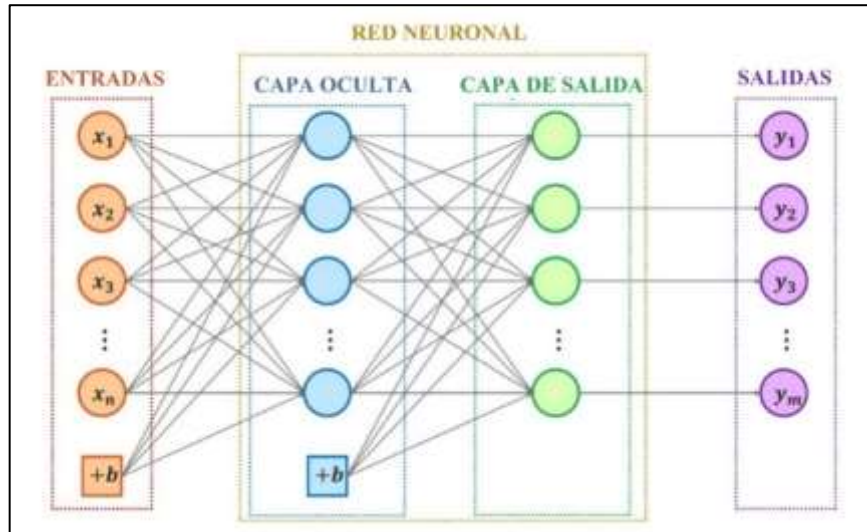


Ilustración 12-2: Ejemplo estructural de una red neuronal.

Fuente: (Åström, et al., 2009 pp. 10-15)

Una propiedad de las redes neuronales es que existen procesos de aprendizaje, es decir que es posible ejecutar un algoritmo que hace posible encontrar los parámetros tal que la función se ajuste a los valores dados de entrada y salida. Este proceso se repite hasta obtener un ajuste para el conjunto de datos que sea coherente con la operación deseada. En el control de procesos generalmente se puede hacer buen uso de funciones no lineales, como por ejemplo un instrumento con muchos sensores, donde las salidas deben combinarse no linealmente para obtener un valor de medida deseado. Además, es posible modelar sistemas dinámicos combinando las redes neuronales con integradores (Åström, et al., 2009 pp. 10-15).

Existen aplicaciones de la inteligencia artificial basada en redes neuronales para la caracterización y modelado de paneles solares. Un uso muy frecuente es el desarrollo de algoritmos para el rastreo de puntos de máxima potencia de los paneles fotovoltaicos, por lo que se puede usar el control neuronal para identificar el modelo con el que se trabaja y regular la frecuencia de conmutación en el convertidor DC-DC. La ventaja de este tipo de control ante otros métodos es que no se ve afectado por las perturbaciones externas al sistema (Loza, et al., 2017). Otra aplicación del control neuronal es el mejoramiento del comportamiento de otros métodos de control aplicado para el rastreo de puntos de máxima potencia, optimizando así el sistema y minimizando las pérdidas del mismo (Caycedo, et al., 2021 pp. 1-10).

2.2.8.3. Otros sistemas de control

Los sistemas de control se pueden implementar de muchas formas diferentes, depende mucho del tipo de sistema, sea este lineal o no. Para cada situación existe uno o más sistemas de control ideales para resolver el problema, como pueden ser el control repetitivo, control en cascada, control de relación, control selector, control predictivo entre muchos más lo cual amerita un estudio de cuál es el más adecuado y será más eficiente para el proceso a controlar (Kuo, 1996 pp. 40-45).

Uno de los más utilizados de estos es el control predictivo, donde se puede encontrar el predictor de Smith el cual consiste en un controlador PI o PID con un modelo de proceso P conectado en paralelo con el proceso, si el modelo es idéntico al proceso, hace posible generar una predicción a la salida. Un caso especial de este control es el controlador PPI siendo un sistema de segundo orden es una combinación en cascada de un controlador PI y un predictor con la función de transferencia. Estos predictores dan a lugar controladores de forma simple y obtiene mejoras sustanciales en la respuesta a cambio en el punto de consigna (Åström, et al., 2009 pp. 10-15).

Utilizando el modelo de control predictivo MPC, se genera acciones de control que se anticipan a eventos futuros como los perfiles de generación del sistema solar fotovoltaico y la demanda de energía instantánea en un periodo de tiempo, y así poder controlar procesos determinísticos como los cortes de suministro, costos de la energía o disponibilidad de los equipos, este modelo de predicción permite acciones en base a la optimización del uso de la energía y también de la gestión económica, relacionadas al comportamiento futuro del sistema (Marietta, et al., 2016 pp. 1-6).

2.2.9. Herramientas software para simulación y control

Las herramientas software que permiten el modelado, diseño, implementación y validación de los sistemas de control tienen una gran demanda en la actualidad, gracias a su versatilidad a la hora de desarrollar un controlador y tener la capacidad de probarlo mediante simulaciones. Son herramientas muy útiles para determinar la fiabilidad antes de ejecutar el control en un proceso real. En los últimos años también han sabido implementar una característica muy útil que es realizar las simulaciones hardware in the loop, lo que hace que las simulaciones sean más realistas y consideren aspectos prácticos que una simulación normal no podría. Existen una gran cantidad de software para los sistemas de control y la selección solo depende del tipo de aplicación que se le quiera dar y las capacidades del mismo para cumplir con las perspectivas del trabajo a desarrollar (Lorenzo, et al., 2004 pp. 1-7).

2.2.10. MATLAB y Simulink para sistemas de control

MATLAB y Simulink son utilizados en todas las etapas de desarrollo de un control, desde el modelado de la planta o proceso, hasta el diseño de los algoritmos de control. Ya que ofrece una gran variedad de herramientas direccionadas al control. Gracias a Simulink se tiene un entorno gráfico donde se pueden ubicar diagramas de bloques para modelar el funcionamiento del proceso y diseñar el algoritmo de control y ejecutar simulaciones de lazo cerrado. Permite utilizar bloques que representan componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos entre otros para realizar conexiones físicas además de permitir observar los diagramas de bode, lugar de las raíces y otras técnicas de diseño de sistemas de control junto con un ajuste automático para controladores PID, y sacar partido de otras estrategias de control avanzada como el control difuso, el control predictivo, redes neuronales, control robusto entre otros (MathWorks, 2022).

Una herramienta de MATLAB para el modelado es Simscape el cual permite crear rápidamente modelos de sistemas físicos dentro del entorno de Simulink mostrado en la Ilustración 13-2; lo que permite crear conexiones físicas entre modelos de componentes físicos y los diagramas de bloques, su librería le permite modelar sistemas como motores eléctricos, generadores incluida la generación fotovoltaica, actuadores, entre otros. Esta combinación permite una mayor eficiencia en el modelo y obtener mejores resultados de la simulación de forma más rápida y real, por lo que también beneficia a la aplicación de la simulación hardware-in-the-loop. Ya que las herramientas proporcionadas por la librería Simscape, es decir sus modelos de componentes físicos son más cercanos a la realidad y están respaldados por la veracidad de MathWorks (MathWorks, 2022).

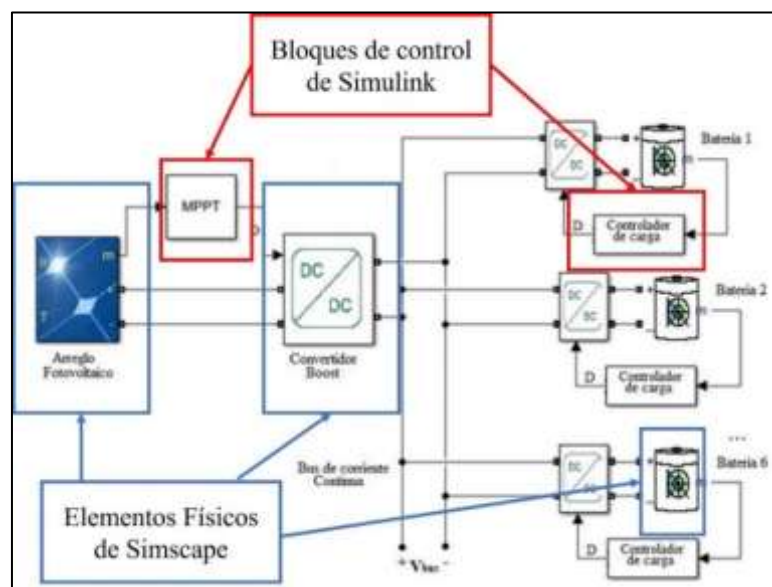


Ilustración 13-2: Modelo de una estación de carga de baterías con Simulink.

Fuente: (Rodríguez, 2019 p. 20)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Una vez diseñados los algoritmos para el sistema de control, es posible ajustarlos para la implementación pudiendo implementarlo en microcontroladores, PLCs, FPGAs y otros dispositivos de control gracias a la generación automática de código C y texto estructurado. Pero también existe la posibilidad de probar y verificar el funcionamiento del control de forma continua utilizando hardware-in-the-loop (HIL) ejecutando el algoritmo en un equipo conectado al controlar. La simulación HIL, utiliza una computadora en tiempo real como una representación virtual de la planta y una versión real del controlador. La computadora tiene una interfaz con la que controla la entrada virtual de la planta y el hardware del controlador contiene el software generado a partir del modelo del proceso (MathWorks, 2022).

Además, a través de MATLAB Compiler ver Ilustración 14-2:, es posible crear programas de MATLAB como aplicaciones independientes a partir de las simulaciones de Simulink. Estas aplicaciones pueden ser apps completas con interfaces gráficas diseñadas con MATLAB App Designer o GUIDE para facilitar el entendimiento de los usuarios y la visualización de los resultados. Lo que lo puede convertir en un Interface Humano-Máquina (HMI) para la simulación de hardware-in-the-loop (MathWorks, 2022).

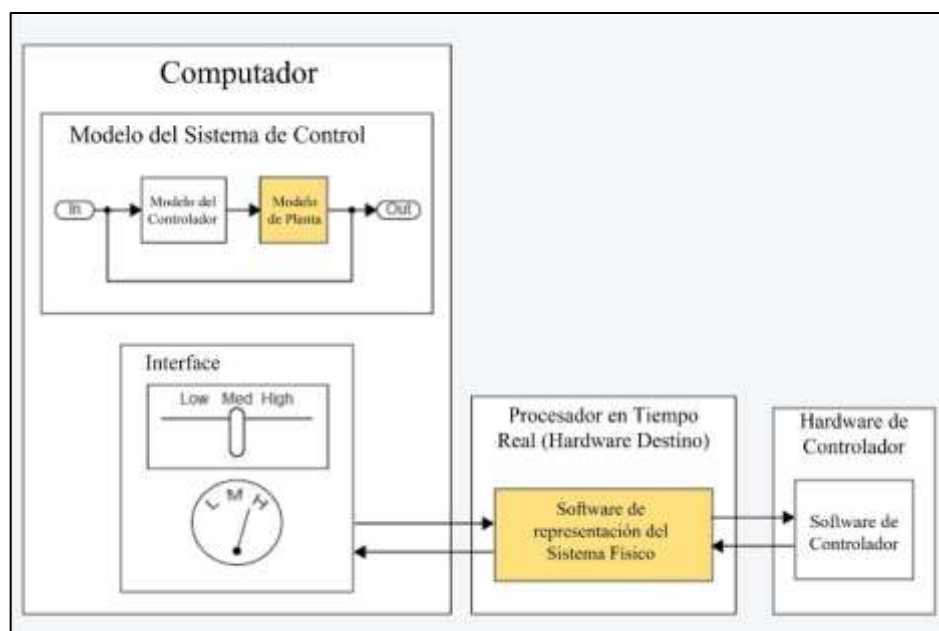


Ilustración 14-2: Estructura de la simulación.

Fuente: (MathWorks, 2022)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

2.2.11. LabVIEW para sistemas de control

LabVIEW es un entorno gráfico de programación que puede ser utilizado en ingeniería para realizar sistemas de pruebas automatizadas de investigación y producción, ya que tiene funciones integradas para realizar adquisición de datos y control de instrumentos. Una de sus mayores

ventajas es que tiene elementos de visualización interactivos y configurables que aportan al control y la presentación de datos, creando un HMI para los diferentes procesos. También tiene herramientas para el control y modelado de procesos e incluso para conexión con MATLAB, además de tener el hardware de adquisición de datos que le permite tener una relación con el mundo físico y hacer simulaciones hardware-in-the-loop. Se puede conectar de manera transparente con todo tipo de hardware como PLCs o tarjetas de adquisición como Arduino o Raspberry (National Instruments, 2022).

Utilizando la NI DAQ o dispositivos de terceros, se puede adquirir datos reales de manera más fácil y gracias a la interfaz de LabVIEW se tiene una representación visual de dichos datos ya sea numéricamente o en alguno de los gráficos disponibles (National Instruments, 2022). Es necesario recalcar que LabVIEW no viene con todas las funciones pre instaladas, solo las más básicas por lo que según la necesidad del usuario es posible descargar más aplicaciones del programa, lo que lo hace muy versátil y completo según el trabajo en el que se vaya a ocupar. LabVIEW puede formar parte de un HMI de un proceso industrial utilizando un OPC y la simulación hardware-in-the-loop, aunque no es lo más conveniente, sirve para el estudio y modelado de procesos como se muestra en la Ilustración 15-2: (Calderón, et al., 2016 pp. 1-10).

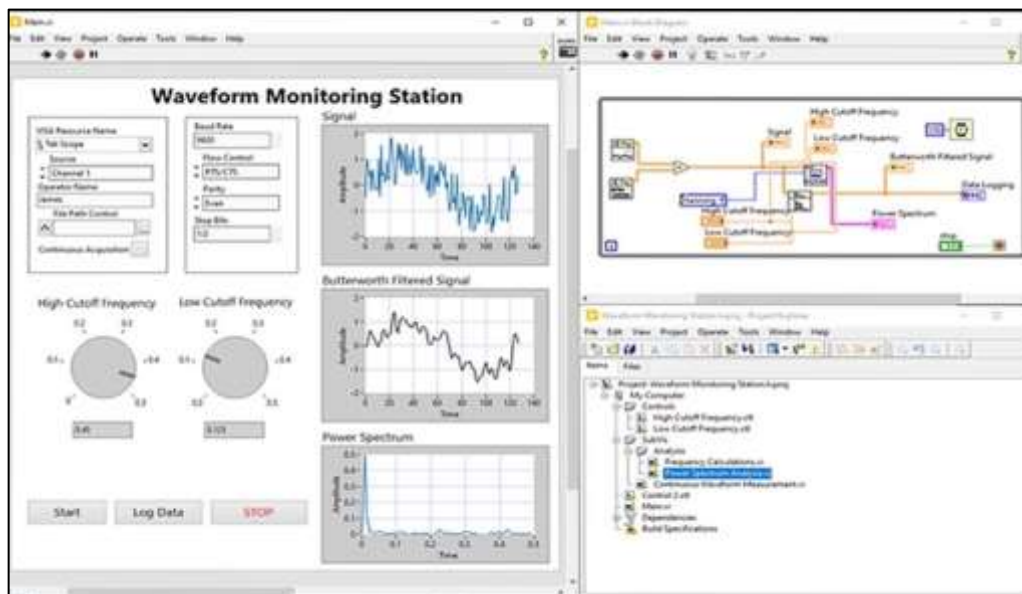


Ilustración 15-2: Interface del software LabVIEW.

Fuente: (National Instruments, 2022)

2.2.12. Python para sistemas de control

Python es un lenguaje de programación orientado a objetos de alto nivel y con semántica dinámica. Este lenguaje de programación es utilizado sobre todo en el proceso de Data Science y gracias a que es gratis y fácil de aprender ha tomado la delantera cuando de Machine Learning se

trata, esto sumado a las varias librerías de herramientas científicas, numéricas y de análisis hacen de Python un lenguaje versátil y adaptable (LUCA, 2020).

Al igual que con otros lenguajes de programación agregando toolbox o aplicaciones extra se puede adaptar a otras funcionalidades como con la librería Control Systems Library que ofrece funciones de análisis y diseño básicas a las de MATLAB lo que le permite también modelar procesos, aunque de una forma menos gráfica y más numérica. Normalmente el código Python se ejecuta de forma más lenta que el lenguaje compilado o máquina por lo que no está a la altura del control en tiempo real, pero las últimas tendencias de los sistemas de control es el control inteligente que se ramifica de la inteligencia artificial el cual es un campo donde Python tiene mayor influencia sobre todo en el Machine Learning, además de también tener gran campo en la robótica, lo que convierte a Python en una opción de programación versátil sobre todo si de Inteligencia o Visión Artificial se trata ver Ilustración 16-2: (Chamarelli, 2021).

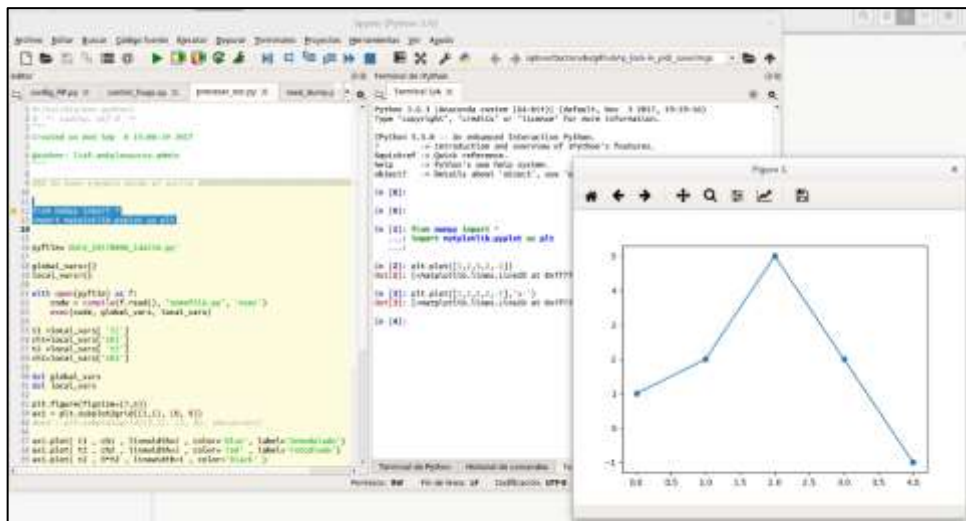


Ilustración 16-2: Interface del software Python.

Fuente: (Luda, 2022)

2.2.13. Otras herramientas software para simulación y control

Existe una gran cantidad de software con el que se puede hacer control, algunos parecidos a MATLAB como Scilab, MATRIXx, VisSim y otros más básicos que solo permiten la ejecución del modelo de control previo cálculo del mismo como el lenguaje de programación C, otros programas más industriales donde se pueden aplicar algoritmos de control PID como los softwares para PLC, TIA Portal de Siemens o EcoStruxure de Schneider, entre otros. También existen programas para los microcontroladores los cuales están basados en lenguaje estructurado o directamente lenguaje máquina donde se pueden aplicar los algoritmos de control utilizando

funciones matemáticas, por el lado de herramientas visuales como LabVIEW también se puede encontrar HP VEE, BridgeVIEW, Lookout, LabWindows, entre otros (Ruiz, 1998 pp. 1-6).

2.2.14. Gestión de la energía

La gestión energética, como concepto ha evolucionado a lo largo de los años como se observa en la Ilustración 17-2: y se puede entender desde varios sentidos, uno de ellos es la de estrategias para satisfacer la demanda energética en momentos necesarios, la eficiencia en el uso adecuado de la energía, los costos y la calidad de la energía. Es así que en 2011 se emite una norma internacional denominada ISO 50001: Sistemas de gestión de la energía requisitos con orientación para su uso, donde se define que un sistema de gestión de la energía tiene como fin obtener resultados medibles referidos a la eficiencia energética y el uso y consumo de la energía (Rojas, et al., 2014 pp. 49-60).

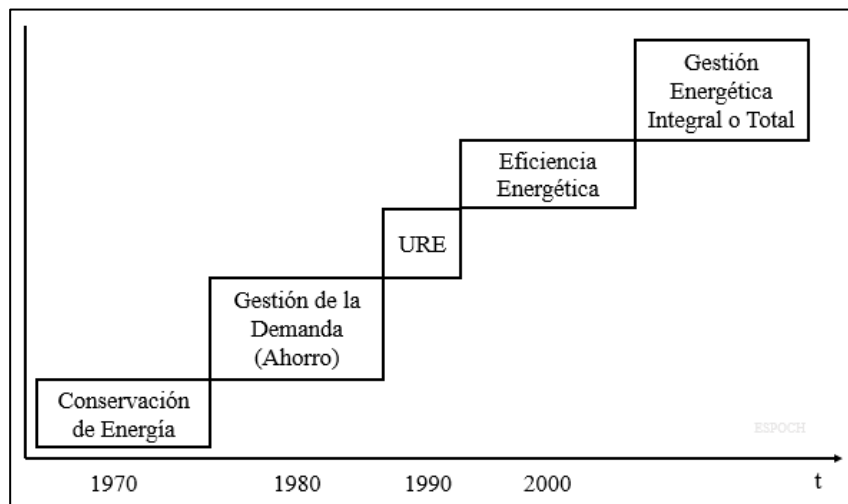


Ilustración 17-2: Evolución del concepto de gestión energética.

Fuente: (Rojas, et al., 2014 pp. 49-60)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

2.2.15. Gestión energética de la demanda del usuario

La curva de la demanda de los usuarios es difícil de determinar, porque depende de factores que varían en el tiempo como el clima, los elementos eléctricos que utiliza y la cantidad de tiempo que los usa. En este sentido se realiza una caracterización de las cargas, el tipo de carga y su consumo para clasificarlas, se busca cambiar tecnologías obsoletas por nuevas con mejor uso eficiente de la energía, así como también corregir los hábitos de consumo del usuario (González, et al., 2017 pp. 217-226). El ahorro económico generado por las diferentes estrategias debe ser cuantificado para determinar la eficiencia del sistema referente a los costos de la energía, para

ellos una gestión óptima puede ser dividida en diferentes capas. La capa de planificación, donde se conoce el consumo de cada carga y se planifica dentro de un rango de tiempo, la capa de comunicación, donde se conoce el total del consumo de las cargas del sistema, la capa de coordinación, donde se conoce el estado del sistema solar fotovoltaico, el estado del sistema de almacenamiento de energía y el de la red eléctrica y por último la capa de ejecución donde se envían las ordenes de permisos para el consumo de cada carga teniendo en cuenta los aspectos anteriores (Castillo, et al., 2009 pp. 275-280).

2.2.16. Gestión energética del sistema de almacenamiento

Las baterías tienden a degradarse según su vida útil por lo que se debe tener una correcta gestión en el uso de las mismas, por lo que se debe tener en cuenta las horas y la cantidad de producción del sistema solar fotovoltaico, la demanda de energía por parte del usuario y la disponibilidad actual de las baterías para tomar correctas decisiones de cuando utilizar lo almacenado en las baterías y cuando absorber energía de la red, así como también tener el conocimiento de cuando es más eficiente cargar o descargar el sistema de almacenaje de esta forma se posibilita un uso óptimo de las baterías y se aumenta su vida útil (López, 2018 pp. 27-28).

2.2.17. Gestión de energía absorbida de la red

Con respecto a la red eléctrica el sistema de generación fotovoltaica tiene dos puntos de vista, uno económico y otro de control. Desde el punto de vista económico el sistema genera un ahorro al no tener que comprarle siempre energía a la red, y desde el control, hace referencia a determinar cuándo es mejor seguir el autoconsumo generado por el sistema de energía renovable, y cuando es mejor absorber energía directo desde la red, dependiendo del estado de generación del sistema y del estado de carga de las baterías con respecto a la demanda del usuario y si esta puede ser satisfecha por los elementos mencionados del sistema. En caso de que no se pueda satisfacer se ocupará energía de la red y se debe tener en cuenta la facturación de la misma (González, 2012 pp. 34-48).

2.2.18. Sistemas de monitoreo

El desarrollo de la automatización de procesos va de la mano con el monitoreo de los valores del proceso que se está ejecutando, lo que hace necesario la implementación de sistemas Interface Humano-Máquina “HMI” o sistemas de Control, Supervisión y Adquisición de Datos “SCADA” que permitan la visualización de los procesos en tiempo real, valores importantes y que incluso permitan interactuar con el proceso de manera directa. El desarrollo del sistema de monitoreo,

supervisión y control busca obtener un alto nivel de producción industrial, así como un sistema confiable y adaptable (Cuenca, et al., 2013 p. 39).

En los sistemas fotovoltaicos es necesario monitorear varios aspectos tanto de los paneles como del sistema en específico como tal, entre estos aspectos se puede mencionar la potencia que genera el sistema solar fotovoltaico, el voltaje, la corriente, la temperatura y la radiación. Hablando del sistema en general se puede monitorear el estado de las baterías y la demanda del usuario, esto hace que sea más fácil conocer los valores instantáneos en tiempo real que se están obteniendo en el sistema de generación y permite optimizarlo con respecto a estas referencias (May, et al., 2016 pp. 770-788).

2.2.19. Sistema HMI

El HMI es la interface humano máquina, es decir es el elemento que permite la comunicación e interacción entre un operario y una máquina o proceso. Lo que los sistemas HMI son en realidad, monitores en muchos casos táctiles donde se instala una interface previamente desarrollada que está relacionada con el proceso, lo que se desea hacer y lo que se desea visualizar, por lo que se permite el monitoreo de dicha acción. Los HMI se adaptan a la situación sienta que puede ser solo de visualización o también puede interactuar con el control, pueden ser multi ventana o tener una única ventana. Los paneles HMI permiten traducir las variables de procesos complejos en información más fácil de procesar, por lo que se puede visualizar de manera gráfica el estado del proceso en tiempo real, siendo su finalidad optimizar el proceso industrial a través de la digitalización y centralización de la información. El sistema HMI se comunica a través de conexiones de red y la gran ventaja de estos sistemas es que permiten una mejor toma de decisiones gracias al análisis de la información en tiempo real (Quezada, et al., 2014 pp. 41-50).



Ilustración 18-2: Sistema HMI de un proceso industrial.

Fuente: (RS, 2019)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

El diseño de la interface gráfica del HMI como se muestra en la Ilustración 18-2; se debe respetar la norma ISA S101 la cual tiene el propósito de mejorar y normalizar el diseño, implementación, operación y mantenimiento de los HMI de procesos automáticos. El HMI debe presentar la información clara, existen tres puntos de vista distintos: el del usuario, quien tiene una visión personal del sistema y espera que se comporte de cierta forma, por lo que la interface debe facilitar este proceso de crear un modelo mental del proceso de forma más efectiva; el del programador, este modelo es más fácil de visualizar puesto que está constituido por lo objetos que el programador desea controlar, estos objetos no son necesarios para el usuario ya que forman parte del desarrollo del sistema, mas no de la información útil; el punto de vista del diseñador, el cual mezcla las necesidades del usuario y los materiales que dispone el programador, es un término intermedio entre ambas y es la que permite la comunicación del usuario con el proceso (Rodríguez, 2006 págs. 1-7).

2.2.20. Sistema SCADA

SCADA es un acrónimo que significa Control, Supervisión y Adquisición de datos, es un sistema basado en computadores que permite visualizar y controlar a distancia cualquier tipo de proceso. Durante los últimos años los sistemas SCADA han progresado de manera notoria por la evolución del mundo industrial y la necesidad de poder visualizar los datos del proceso y poder controlar algunas acciones del mismo. Los sistemas SCADA se comunican directamente con los PLC o controladores que están en campo junto con los procesos, obteniendo los datos y enviando la

información de control a través de redes de comunicación. Estos sistemas tienen una gran capacidad de base de datos para almacenar la información de la planta y que esta pueda ser analizada para posibles mejoras de optimización o prevención de fallos. Por cuestiones de seguridad tienen privilegios entre usuarios, siendo así que, entre más nivel, más accesibilidad a los controles del proceso, así como también se gestiona las alarmas según los límites de los datos establecidos para el proceso permitiendo actuar de forma rápida y precisa ante cualquier evento. Y en el contexto de la automatización, desde el sistema SCADA ver Ilustración 19-2: se pueden modificar los parámetros de control como las variables que requerimos, al igual que se puede configurar recetas, las cuales son configuraciones de control según sea el caso necesario (Daneels, et al., 1999 pp. 1-5).

Los sistemas SCADA van evolucionando a la par de la industria, permitiendo incluso visualizaciones y control remoto desde lugares lejanos a la ubicación del proceso, de igual forma que mejoran las técnicas de programación de los mismos y mejoran las interfaces gráficas haciendo que sean más entendibles para los operarios (Daneels, et al., 1999 pp. 1-5).

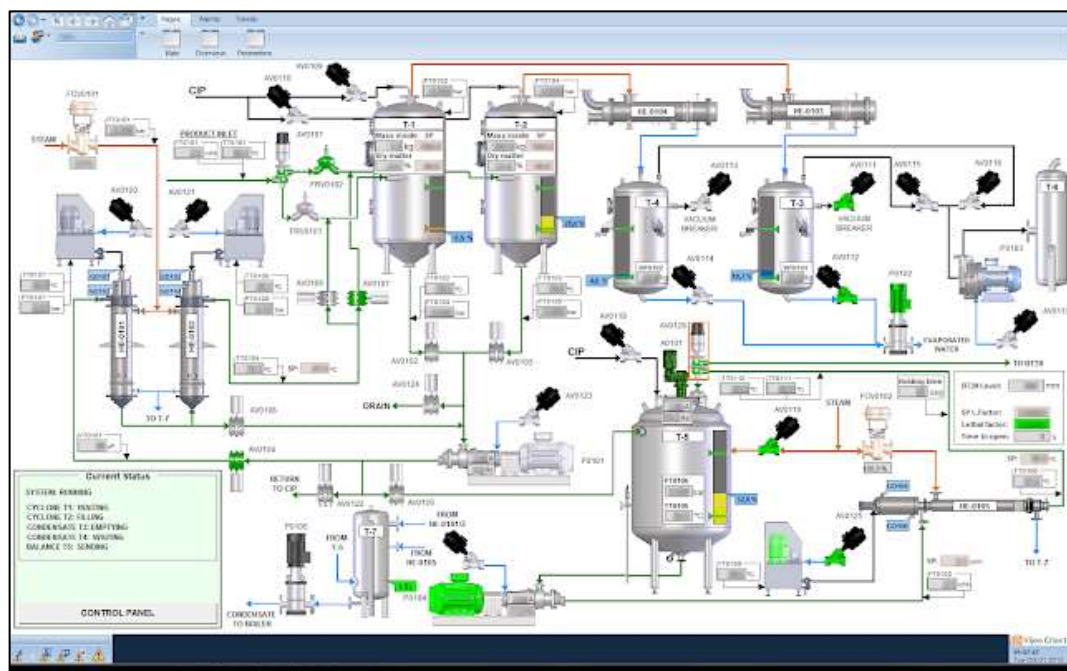


Ilustración 19-2: Sistema SCADA de un proceso industrial.

Fuente: (SENSORICX, 2018)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo contiene el desarrollo de detalles del hardware tanto de características principales para su selección como de arquitectura e implementación. También se incluye el diseño del software correspondiente para la implementación del sistema de control difuso. Para cada uno de los aspectos que se han considerado se tienen subtemas para desarrollar su explicación. El sistema solar fotovoltaico se ha implementado en el edificio de Robótica de la FIE-ESPOCH.

3.1. Diagrama general de la estación fotovoltaica

Para la estación fotovoltaica se cuenta con una estructura definida para el funcionamiento óptimo del sistema que da como resultado el abastecimiento de las cargas seleccionadas Ilustración 1-3:.

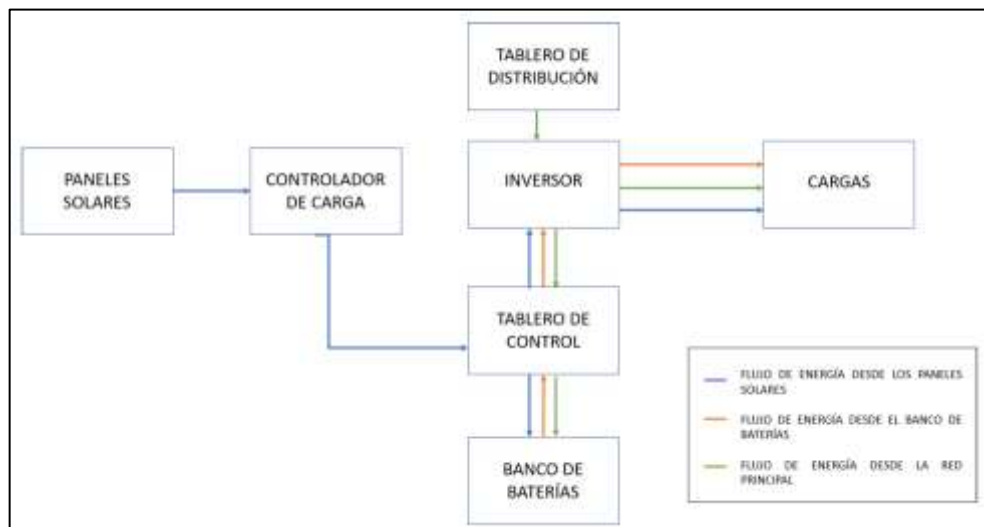


Ilustración 1-3: Diagrama general de la estación fotovoltaica.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

- Desde la instalación de los paneles solares se cuenta con flujo de energía el cual pasa a través del controlador de carga solar y este flujo sigue el recorrido hasta el tablero de control. Si el flujo de energía excede de la demanda de las cargas, esta energía se almacena en las baterías. Mediante el control fuzzy se define si el banco de baterías está en su máxima capacidad o no. En el caso de estar en la capacidad máxima, el flujo proveniente de los paneles pasa directamente al inversor y este hasta las cargas finales. En caso que las cargas no demanden

la totalidad de la energía generada por los paneles, el algoritmo de control del controlador de carga solar reducirá automáticamente la tasa de generación.

- El flujo de energía desde el banco de baterías pasa a las cargas a través del tablero de control cuando las baterías están suficientemente cargadas y los paneles solares no abastecen directamente con un flujo de energía suficiente.
- Como alternativa a la posibilidad de que los paneles solares tengan un flujo de generación energía bajo debido a condiciones atmosféricas desfavorables para el sistema, y el banco de baterías no se encuentre en una capacidad suficiente para abastecer las cargas se realiza un cambio de flujo de energía desde la red principal. Este flujo de energía viene desde el tablero de distribución hacia el inversor dejando que este flujo abastezca las cargas finales, así como también puede abastecer las baterías. Siendo un bypass automático.

3.2. Detalles de equipos de la estación fotovoltaica adquiridos por la ESPOCH

Para la instalación de la estación fotovoltaica se cuenta con equipos adquiridos por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante un proyecto de investigación realizado mediante convocatoria y financiamiento IDI-ESPOCH, durante en el año 2019-2021 denominado “Análisis y Diseño de un mercado eléctrico comunitario mediante la integración de generación renovable, sistemas de almacenamiento de energía local y algoritmos de control inteligente”. Dichos equipos fueron adquiridos después de realizar un estudio. Los equipos adquiridos dentro del marco del proyecto se detallan en la Tabla 1-3:.

Tabla 1-3: Equipos adquiridos por la ESPOCH.

Cantidad	Equipos
1	Inversor de Potencia Monofásico STUDER 1400W/48VDC/120AC
2	Tarjeta de Comunicaciones LAN X-COM LAN 3/4/5G
1	Controlador de Carga Solar MPPT STUDER VarioTrack 80 4 KWP, 65A
16	Panel Solar Fotovoltaico RESUN 230Wp/12VDC
4	Batería Solar SBB GEL 150Ah/12VDC

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.2.1. Inversor de Potencia Monofásico STUDER 1400W/48VDC/120AC

El inversor adquirido pertenece a la gama Studer XTS-1400-48 ver Ilustración 2-3: consta con límites de funcionamiento de los cuales se encuentra detallados según sus características más importantes en la Tabla 2-3: que se muestra a continuación.



Ilustración 2-3: Inversor de potencia STUDER.

Fuente: (STUDER, 2018)

En la Tabla 2-3: se detalla cinco de las consignas del inversor de potencia sacados de la hoja de datos que se puede ver en el ANEXO A:

Tabla 2-3: Especificaciones del inversor.

Inversor de Potencia Monofásico STUDER	
Tensión nominal de batería	48 Vdc
Rango de tensión de entrada	38-68 Vdc
Rendimiento máximo	93%
Corriente de carga máxima	12 A
Potencia continua	900-750 VA

Fuente: (STUDER, 2018)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.2.2. Tarjeta de Comunicaciones LAN X-COM LAN 3/4/5G

La tarjeta de comunicación se utiliza para realizar una conexión mediante un bus de comunicación entre los diferentes equipos y presenta una salida con puerto TCP para conexión tanto local como a través de una red con salida a internet. El indicador led de la pasarela LAN muestra los diferentes

estados en los que se encuentra la pasarela de comunicación. La tarjeta Xcom de igual manera tiene indicadores para visualizar procesos de errores de actualizaciones o de comunicación según el parpadeo del led indicador Ilustración 3-3: las consignas de la ficha técnica se encuentran en el ANEXO D:.



Ilustración 3-3: Tarjeta de comunicación y pasarela.

Fuente: (STUDER, 2018)

3.2.3. Controlador de Carga Solar MPPT STUDER

El controlador de carga solar adquirido para el sistema solar fotovoltaico pertenece a la gama Studer XTS-1400-48 ver Ilustración 4-3:, consta con límites de funcionamiento de los cuales se encuentra detallados según sus características más importantes en la Tabla 3-3: que se muestra a continuación.



Ilustración 4-3: Controlador de carga solar STUDER.

Fuente: (STUDER, 2018)

Las consignas de control mostradas en la Tabla 3-3: fueron seleccionadas por el uso de estas variables en las consignas de operación, la ficha técnica del controlador de carga solar se encuentra en el ANEXO B:.

Tabla 3-3: Especificaciones del controlador de carga solar.

Controlador de carga solar MPPT Studer	
Potencia máx. recomendada de generador solar	5000 W
Tensión máx. en circuito abierto	150 Vdc
Tensión máx. de funcionamiento	145 Vdc
Tensión nominal de batería	12,24,48 Vdc
Corriente máx. de salida	80 A

Fuente: (STUDER, 2018)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.2.4. Panel Solar Fotovoltaico RESUN 230Wp/12VDC

Los 16 paneles solares adquiridos para el sistema solar fotovoltaico pertenecen a la gama RESUN ver Ilustración 5-3:, que consta con límites de funcionamiento de los cuales se encuentra detallados según sus características más importantes en la Tabla 4-3: que se muestra a continuación.



Ilustración 5-3: Panel solar RESUN.

Fuente: (STUDER, 2018)

Tabla 4-3: Especificaciones del panel solar fotovoltaico.

Panel solar fotovoltaico RESUN	
Voltaje en circuito abierto	22,62 - 24.10V
Corriente	9,66 - 11.96A
Potencia total con 16 paneles	3,8 KWP
Potencia de cada panel	230 WP

Fuente: (STUDER, 2018)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.2.5. *Batería Solar SBB GEL 150Ah/12VDC*

El objetivo de la batería es almacenar energía y servir como un sistema de compensación para el exceso de energía generada por los paneles solares y cubrir el déficit de energía cuando la demanda desde las cargas sube. Se cuenta con un total de 4 baterías de plomo gel como se ve en la Ilustración 6-3: de ciclo profundo. Los límites de funcionamiento de los cuales se encuentra detallados según sus características más importantes en la Tabla 4-3: que se muestra a continuación.



Ilustración 6-3: Batería Solar SBB.

Fuente: (STUDER, 2018)

Tabla 5-3: Especificaciones de las baterías de gel.

Batería solar SBB GEL	
Dimensiones	486 x 171 x 241 mm
Voltaje	12 V
Capacidad	150 Ah
Peso	47 kg
Voltaje con 4 baterías	48 V
Energía total almacenable	7,2 KWh
Energía total utilizable (SOC 20%)	5,76 KWh

Fuente: (STUDER, 2018)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.3. Detalles de equipos de la estación fotovoltaica adquiridos por los tesistas

Para implementar la estación fotovoltaica se requerían equipos adicionales, los cuales fueron adquiridos por los autores del presente trabajo que se detallan en la Tabla 6-3:.

Tabla 6-3: Equipos adquiridos por los tesistas.

Cantidad	Equipos
1	Gabinete para instalación eléctrica de 60x40x20 cm
4	Bases de aluminio de 2,80 m para paneles solares
1	Control remoto y módulo de programación RCC-002 Xtender
1	Breaker AC
1	Breaker DC
1	Surge Arrestor
1	Cable de batería calibre #6 AWG (20 m)
1	Cable de paneles hacia la acometida 10 AWG (20m)
4	Borneras de tierra
4	Canaletas para cableado
1	Cable de red (5m)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.3.1. Control remoto y módulo de programación RCC-002 STUDER para xtender

Los equipos del sistema solar fotovoltaico pertenecen a la gama Xtender que tienen un bus de comunicación propio, esto permite al RCC-002 interactuar mediante una pantalla en su equipo y monitorear que el intercambio de datos sea más preciso como se muestra en la Ilustración 7-3:. La instalación se hace mediante encadenamiento de los equipos con cables de conexión esto permite monitorear el estado y configurar de manera local o remota la estación. Para revisar las consignas de operación del RCC se puede visualizar el ANEXO C:



Ilustración 7-3: RCC-002.

Fuente: (STUDER, 2018)

3.4. Análisis del potencial del sistema de generación

Para realizar un dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaico se tomaron como referencia las tablas de características descritas en la sección 3.2 detallando en la Tabla 7-3: los equipos vinculados en el potencial de generación, almacenamiento y el potencial de alimentación de las cargas por día con la descripción tanto de potencia como de energía máxima.

Tabla 7-3: Especificaciones del sistema.

Análisis de potencial de generación		
	Equipos vinculados	Potencia / energía máx.
Potencia de generación	Conjunto de paneles solares/ controlador de carga solar VT-80	3,8 KW
Capacidad de almacenamiento	Banco de baterías	7,2 KWh
Potencia de alimentación a cargas	Inversor XTS	1 KW

Fuente: (STUDER, 2018)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.5. Arquitectura del sistema de generación fotovoltaico

En esta sección se detalla la arquitectura de conexión de los diferentes equipos que forman parte del sistema de generación fotovoltaico.

3.5.1. Arquitectura de conexión de paneles solares

La conexión de paneles solares contó con una caja de distribución que sirvió de acometida para los terminales positivo y negativo de los 16 paneles independientemente del tipo de conexión que se escoja para ellos. Para la distribución correcta y eficiente de los paneles se proponen varios escenarios en los cuales se encuentran:

- Conexión de paneles en paralelo.

Como primer escenario se estudió la distribución de conexión de paneles solares con una arquitectura 1S-16P (1 panel en serie y 16 en paralelo). Bajo esta conexión tenemos una tensión nominal de trabajo de 24.10Vdc/22.51Vdc que ingresan hacia el controlador de carga solar. De igual forma, con 16 paneles en paralelo la corriente oscilaría entre 192A – 240A. Tomando en cuenta la corriente circulante por cada panel se requerirían 16 conexiones desde cada panel hacia la caja de distribución que soporte una corriente de 12 A (12 AWG). Se ha dimensionado un cable de calibre 4/0 AWG, desde la caja de distribución hasta el tablero de control con una distancia aproximada de 15m como se muestra en la Ilustración 8-3:.

Bajo estas condiciones se presentan dos inconvenientes importantes:

- La tensión de operación es demasiado baja para permitir el correcto funcionamiento del controlador de carga solar. Además, que considerando la distancia desde los paneles hacia el tablero de control (40 m) se tendría una caída de tensión adicional por el efecto resistivo del cable.
- El calibre de cable para permitir la circulación de corriente bajo esta configuración (4/0 AWG) que encarecería drásticamente la instalación del sistema solar fotovoltaico.

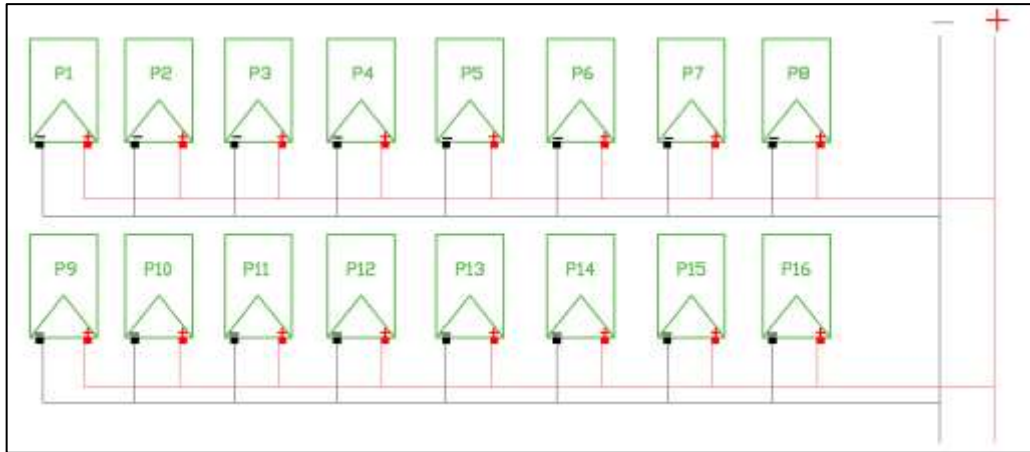


Ilustración 8-3: Distribución de paneles del primer caso de estudio.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

➤ Conexión de paneles en dos ramas.

Como segundo escenario se estudió la distribución de conexión de paneles solares con una arquitectura 2S-8P (2 panel en serie y 8 ramas en paralelo). Bajo esta conexión tenemos una tensión nominal de trabajo de 48.2Vdc/45.02Vdc que ingresan hacia el controlador de carga solar. De igual forma, con 8 ramas de paneles en paralelo la corriente oscilaría entre 96A – 120 A. Tomando en cuenta la corriente circulante por cada panel se requerirían 8 conexiones desde cada panel hacia la caja de distribución que soporte una corriente de 12 A (12 AWG). Se ha dimensionado un cable de calibre 1 AWG, desde la caja de distribución hasta el tablero de control con una distancia aproximada de 15m como se muestra en la Ilustración 9-3:.

Bajo estas condiciones se presentan nuevamente dos inconvenientes importantes:

- La tensión de operación aún es demasiado baja para permitir el correcto funcionamiento del controlador de carga solar. Además, que considerando la distancia desde los paneles hacia el tablero de control (40 m) se tendría una caída de tensión adicional por el efecto resistivo del cable.
- El calibre de cable para permitir la circulación de corriente bajo esta configuración (1 AWG) que encarecería drásticamente la instalación del sistema.

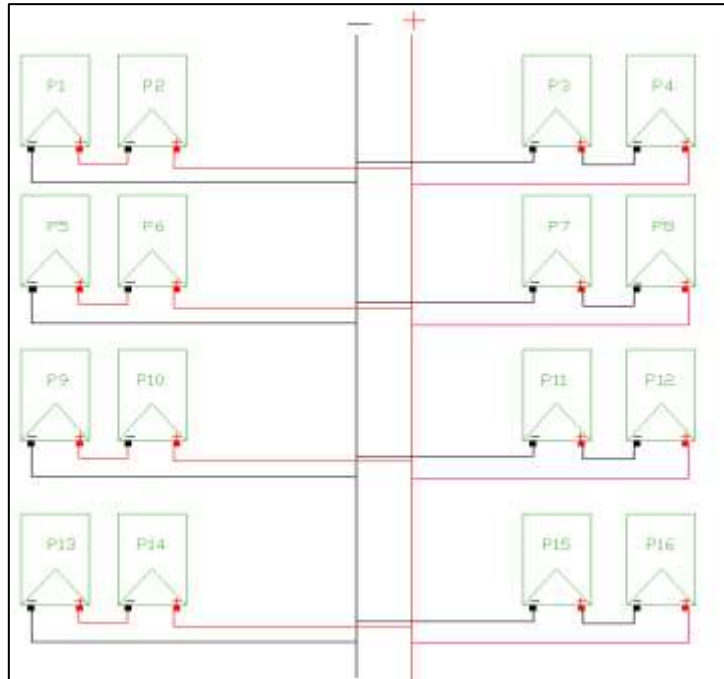


Ilustración 9-3: Distribución de paneles del segundo caso de estudio.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

➤ Conexión de paneles en cuatro ramas.

Como tercer escenario se estudió la distribución de conexión de paneles solares con una arquitectura 4S-4P (4 paneles en serie y 4 ramas de paneles en paralelo). Bajo esta conexión tenemos una tensión nominal de trabajo de 96,4Vdc/90.44Vdc que ingresan hacia el controlador de carga solar. De igual forma, con 4 ramas de paneles en paralelo la corriente oscilaría entre 55A – 65A. Tomando en cuenta la corriente circulante por cada panel se requerirían 4 conexiones desde cada panel hacia la caja de distribución que soporte una corriente de 12 A (12 AWG). Se ha dimensionado un cable de calibre 6 AWG, desde la caja de distribución hasta el tablero de control con una distancia aproximada de 15m.

Tomando en cuenta las especificaciones del controlador de carga solar se define que esta configuración es la más adecuada tanto en voltaje como en corriente. De la misma forma esta configuración garantiza el mínimo calibre de cable para la instalación como se muestra en la Ilustración 10-3:.

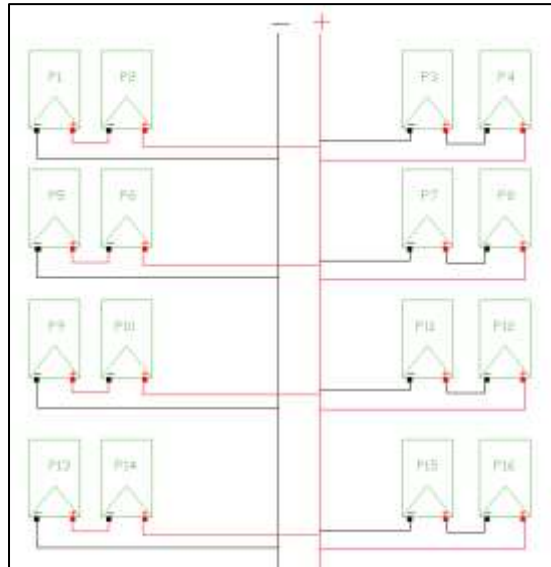


Ilustración 10-3: Distribución de paneles del tercer caso de estudio.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.5.2. Arquitectura definida para la conexión de paneles solares

Como configuración definida como óptima del tercer caso de estudio cumple con las características de los equipos adquiridos dando como configuración de 4 ramas de 4 paneles en serie, y 4 ramas en paralelo dando como corriente final 12 A y voltaje oscilante entre 96.4 y 90.44 como se muestra en la Ilustración 11-3:. En la configuración tanto de los paneles a la caja de distribución se tiene un cable 10 AWG que consta con 19 metros y desde la caja distribuidora hacia el tablero de distribución se tiene 15 metros de cable calibre 6 AWG. Con una potencia de generación máxima teórica de 4 KWP.

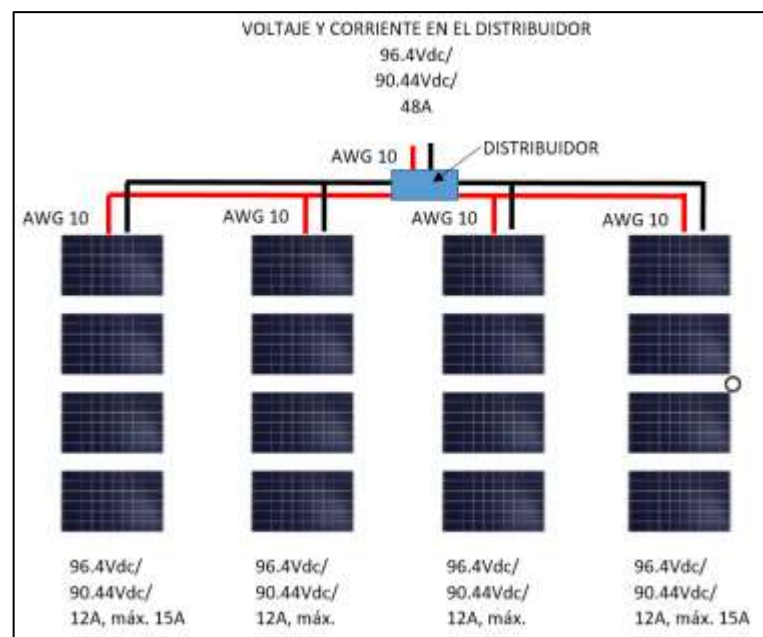


Ilustración 11-3: Distribución de paneles solares.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.5.3. Arquitectura de conexión de baterías

El sistema solar fotovoltaico cuenta con 4 baterías de 12 voltios, con una capacidad de 150 Ah cada una, como se mencionó en la sección 3.2. La arquitectura que se muestra en la Ilustración 12-3: es la que se implementó y consta de las 4 baterías en serie dando un voltaje total de 48 V, Este voltaje de operación cumple con los requerimientos de los equipos adquiridos para el sistema solar fotovoltaico. Estas baterías fueron colocadas en el piso ya que por el peso de las baterías no es óptimo colocarlas en una estructura.

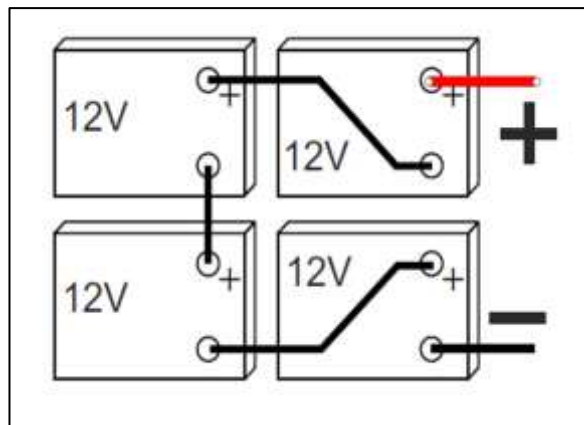


Ilustración 12-3: Especificaciones de baterías.

Fuente: (STUDER, 2020)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.5.4. Arquitectura del controlador de carga solar

El regulador de carga solar MPPT es un equipo que pesa 5kg y debe estar montado sobre un soporte a la pared, necesita instalarse en posición vertical a una distancia de 20 cm entre los otros equipos del sistema solar fotovoltaico (inversor y el tablero de control). Los puntos de conexión se detallan a continuación según la Ilustración 13-3:.

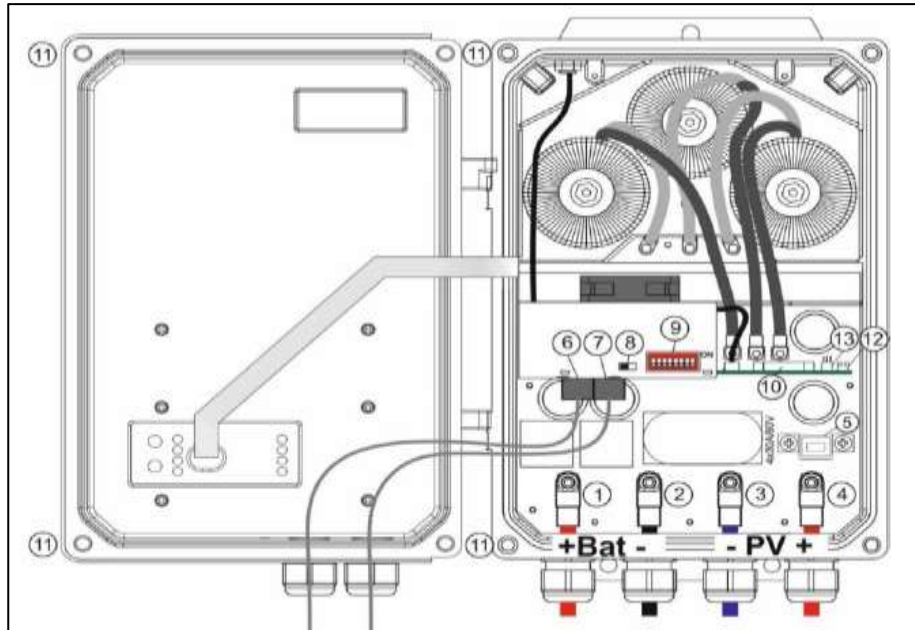


Ilustración 13-3: Conexiones del controlador de carga internamente.

Fuente: (STUDER, 2020)

- 1) En la parte interna del controlador se encuentra el borne de conexión positivo que viene desde la batería.
- 2) El borne de conexión negativo que procede de igual manera del lado negativo de la batería.
- 3) El borne de conexión del lado negativo que viene desde los paneles.
- 4) El borne de conexión del lado positivo que viene desde los paneles.
- 5) Fusible de protección.
- 6) Conexión BTS-01 es la sonda de temperatura de las baterías.
- 7) Conexión de los cables de comunicación.
- 8) Conmutador de terminación.
- 9) Interruptor para la configuración del equipo.
- 10) CR 2030 pilas para reloj.
- 11) Tornillos.
- 12) Entrada remota para pilotar funciones definidas en la programación.

Los terminales finales de la acomoda de los paneles 16 paneles solares con un cable de calibre 6 AWG se conectaron a las borneras 3 y 4 del controlador de carga que son las entradas tanto positivas y negativas respectivamente. Estos cables que vienen desde los paneles solares pasan por un Surge Arrestor previamente ya que esta protección permite al sistema aislarse de descargas eléctricas que se producen naturalmente por una tormenta. De la salida de la protección para rayos de conecta a una protección DC. Posterior a la conexión de los paneles se conectaron las baterías a las borneras 1 y 2. Internamente el VarioTrack tiene un sistema DC/DC. Posterior a las

conexiones antes mencionadas se procedió a realizar las conexiones de comunicación desde la salida 7 de los puertos, uno de los puertos conecto al RCC-02 para su monitoreo y el otro puerto se conectó al Xtender. Todas estas conexiones están en el diagrama de la Ilustración 14-3:.

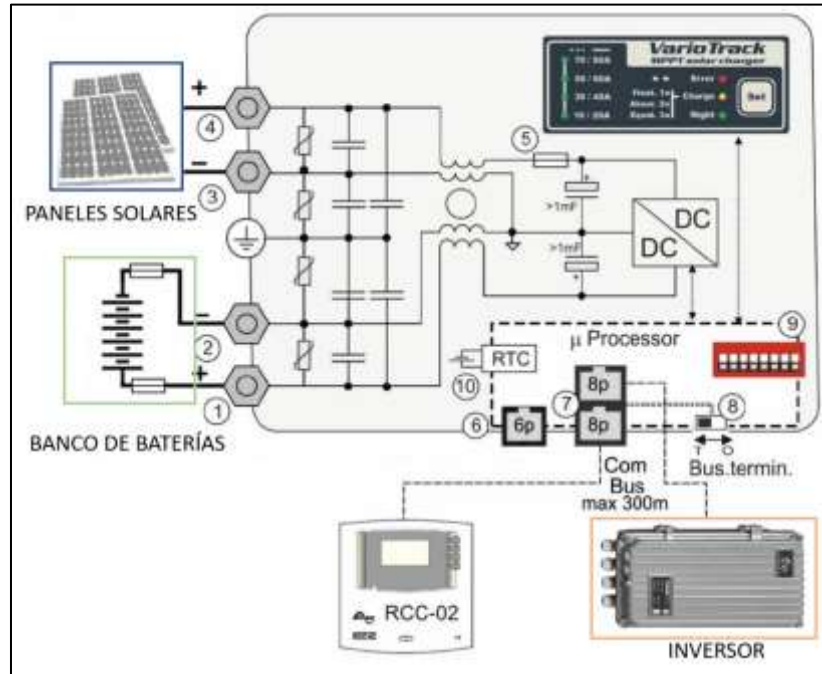


Ilustración 14-3: Diagrama de conexión del controlador de carga solar.

Fuente: (STUDER, 2020)

3.5.5. Arquitectura del inversor

Para el montaje del equipo XTS se colocó en posición vertical con los cables dirigidos hacia abajo, estos equipos necesitan ventilación suficiente para su óptimo desempeño por ello tanto el controlador como el inversor se colocaron externamente al tablero general de control. El equipo XTS puede llegar a tener temperaturas superiores a los 60 grados Celcius. Los puntos de conexión se detallan a continuación en conjunto con la Ilustración 15-3:.

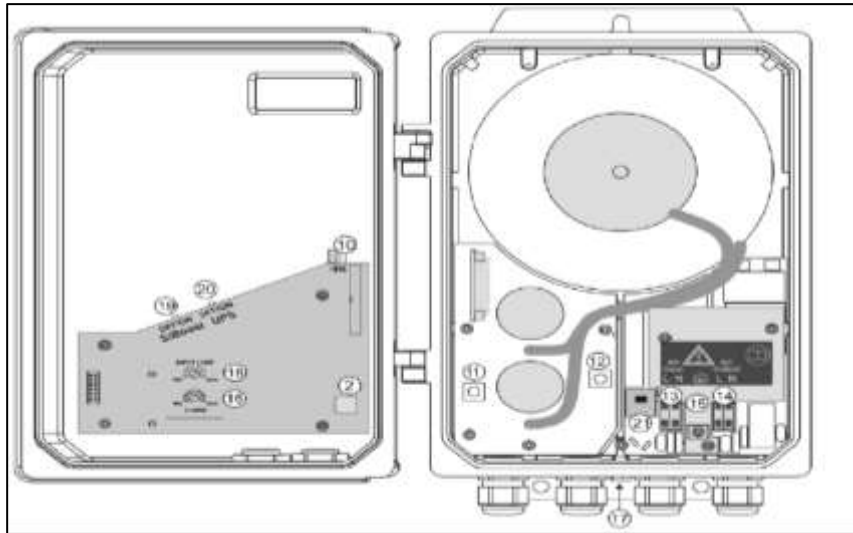


Ilustración 15-3: Conexiones del inversor internamente.

Fuente: (STUDER, 2020)

- 1) El interruptor de encendido/apagado.
- 2) Conector de temperatura de batería.
- 3) Conector para conexión con el RCC-02.
- 4) Conmutador de terminación del bus de comunicación.
- 5) Soporte de pila para alimentación del reloj interno.
- 6) Encendido y apagado por contacto solo en XTH.
- 7) Entrada desde el módulo RCM.
- 8) Contacto auxiliar para el XTS.
- 9) Indicadores led para activación de contactos.
- 10) Puentes de fase.
- 11) borne positivo de la batería.
- 12) Borne negativo de la batería.
- 13) Bornes de conexión de entrada del flujo de energía desde la red principal.
- 14) Bornes de conexión de salida del flujo de energía desde la red principal.
- 15) Conector para el módulo RCM-10.
- 16) Botón de ajuste de corriente.
- 17) Borne de conexión a tierra.
- 18) Botón de límite de corriente de entrada.

El modelo XTS se tiene la opción de ajustar 4 parámetros o funciones base que es la corriente de carga de la batería, la corriente máxima de la fuente Ac, asistencia a la fuente con el interruptor deslizable del módulo de detección de pérdida de red.

Cada equipo XTS puede ser usado para conexión eléctrica desde la red pública dentro de los rangos de 230V/50H y 120V/60h ya que el inversor tiene una protección interna contra sobrecargas y cortocircuitos.

El inversor puede ahorrar la energía de las baterías en el modo de detección de cargas, este se activa cuando la carga es inferior a la definida en el parámetro general. Todos los umbrales pueden ser modificados según el sistema requiera.

La conexión que se implementó se muestra en la Ilustración 16-3: como entrada al controlador se tiene la estación fotovoltaica de 16 paneles, esta se conecta a un dispositivo de protección. Desde las baterías ingresan al Xtender por las borneras, para la comunicación se conectó desde el puerto e y el cable de comunicación hasta el RCC. Para una conexión híbrida de conecta desde la red principal en la entrada G que ingresa hasta la entrada AC IN y esta se conecta a la salida AC OUT haciendo una conexión de neutro que se conectan tierra en un solo punto de instalación.

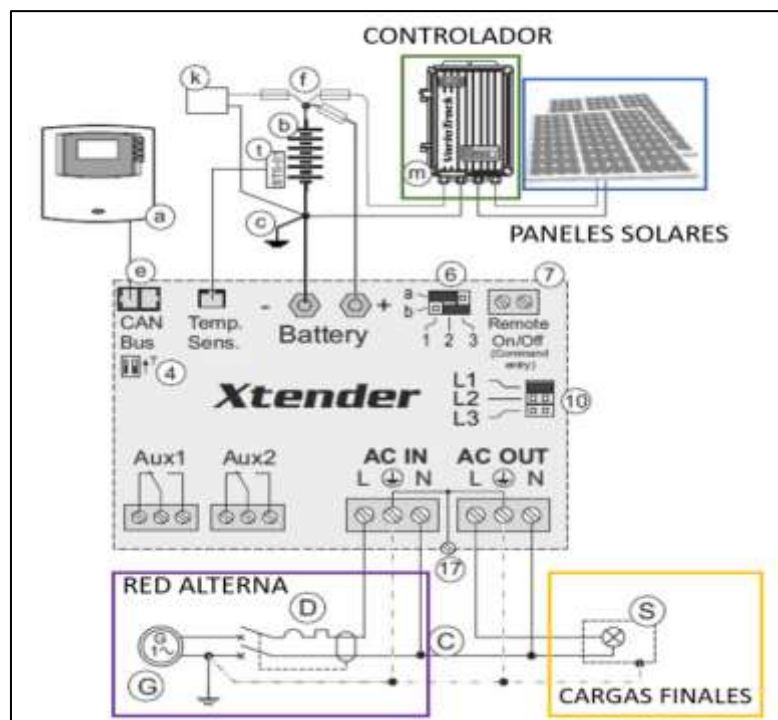


Ilustración 16-3: Diagrama de conexión del inversor del SSF.

Fuente: (STUDER, 2020)

3.5.6. Arquitectura de comunicación

Para la comunicación se utilizaron los equipos Xcom-232i se necesitó material suplementario necesario en este caso fue una computadora y una conexión a internet mediante un puerto empotrado en la pared. Se conectó el cable Ethernet entre la pasarela y el punto de acceso al router, se conectó el cable serial entre la pasarela y el Xcom-232i y posteriormente se conectó el cable de conexión entre Xcom-232i y el sistema Xtender como se muestra en el diagrama de conexión de la Ilustración 17-3:.

Para realizar el control de manera remota se inserta la tarjeta micro SD que contiene el equipo en la ranura del Xcom-232i y se realizaron las configuraciones correspondientes para que se conecte automáticamente al servidor, al enviar un mensaje al RCC se concluye el proceso de comunicación.

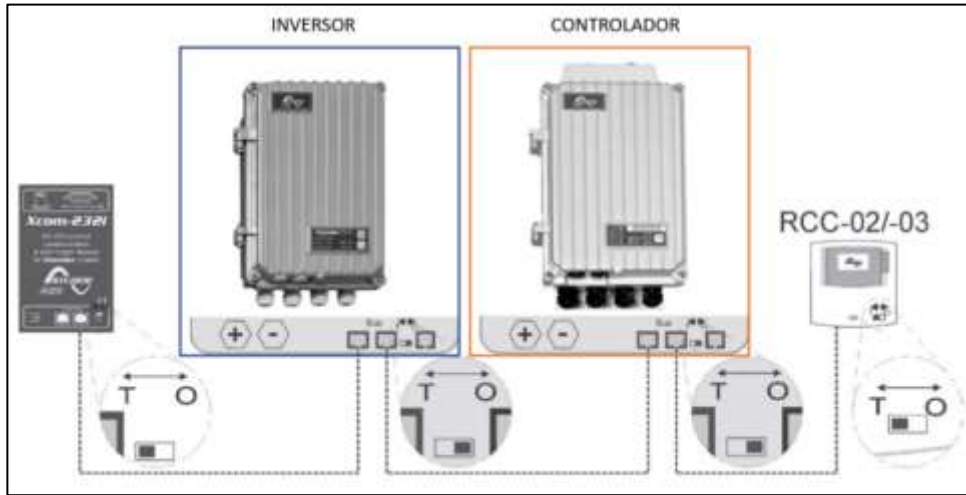


Ilustración 17-3: Diagrama del Xcom-LAN.

Fuente: (STUDER, 2020)

3.5.7. *Arquitectura del tablero de control*

Cada uno de los equipos se colocaron en un diagrama previo a la instalación para conocer la ubicación más óptima utilizando el espacio del tablero de la manera más óptima como se muestra en la Ilustración 18-3; y los datos detallados en la Tabla 8-3:

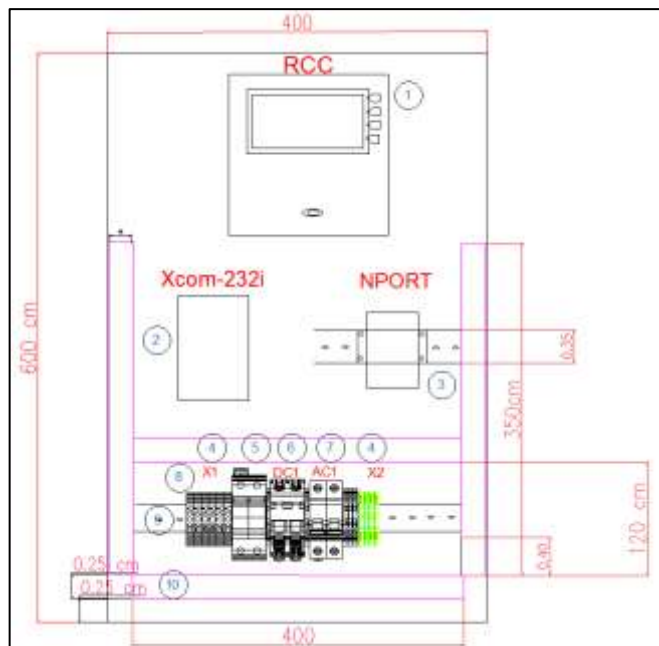


Ilustración 18-3: Diagrama del tablero de control.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 8-3: Detalle de materiales del tablero de distribución.

LISTA DE MATERIALES DEL TABLERO				
ÍTEM	CANT	N. PARTE	FABRICANTE	DESCRIPCIÓN
1	1	RCC'002	STENDER STUDER	CONTROL REMOTO Y MODULO DE PROGRAMACIÓN
2	1	XCOM-232i	STUDER	TARJETA DE COMUNICACIÓN
3	1	NX-PORT	STUDER	PASARELA DE COMUNICACIÓN
4	4	102010000	WEIDMULLER	BORNERAS DE TIERRA
5	1	SURGE ARRESTOR	SHNAI ELECTRIC	PROTECCIÓN ATI RAYOS 2 POLOS 1300 VDC – 40 KA
6	1	BREAKER DC	SCHNEIDER ELECTRIC	BREAKER DC 2 POLOS (500 VDC – 32A)
7		BREAKER AC	SCHNEIDER ELECTRIC	BREAKER AC 2 POLOS (20A)
8	4	038353000	WEIDMULLER	BORNERA DE CABLE #6
9	2	RD1_001	HD	RIEL DIN 1M
10	2			CANALETA DE PLÁSTICO 20X20X100

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.6. Cálculo de abastecimiento de cargas






Para realizar el cálculo de las cargas que el sistema de generación fotovoltaica se requirió de los planos de iluminación que están en el edificio de robótica de la FIE como se muestra en la Ilustración 19-3: y sus componentes se detallan en la Tabla 9-3:.



Ilustración 19-3: Distribución de cargas en el edificio de Robótica de la FIE.

Fuente: ESPOCH

Tabla 9-3: Detalle de materiales del plano de iluminación.

SIMBOLOGÍA	
DESCRIPCIÓN	ELEMENTO
LÁMPARA LED DE 60 WATTS, EMPOTRABLE	
LÁMPARA LED DE 40 WATTS, EMPOTRABLE	
CONDUCTOR THHN # (n) AWG,tomacorriente 110V	
CONDUCTOR THHN # (n) AWG, tomacorriente 220V	
CIRCUITO PROTEGIDO O REGULADO PROVENIENTE DE TABLERO (TDPR PA1 Y STDR-(n))	

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Basándose en los planos de distribución de cargas se han identificado las áreas, así como que tipos de lámparas están siendo usadas por cada área, dando como resultado el total de cargas de iluminación. Estos datos se muestran en la Tabla 10-3:.

Tabla 10-3: Cálculo de cargas de iluminación en el edificio de robótica de la FIE.

Líneas	Área	Lámparas [W]			Cargas de Iluminación [W]	STDR1 [W]	STDR2 [W]
		60	40	18			
L1	Laboratorio de Prototipado	0	7	0	280	602	2212
L2	Bodega Laboratorio de Electrónica	6	3	1	498		
L3	Laboratorio de Máquinas	0	7	1	298		
L4	Laboratorio de Robótica (Ring)	16	0	0	960		
L5	Pasillo Frontal Oficina Técnicos Baño Técnicos	5	3	2	456		
L6	Zona de Baños	0	4	4	232		
L7	Pasillo Lateral	0	0	5	90		
L8	Cuarto de Máquinas	0	3	0	120		
TOTAL					2934 W		

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Según los datos obtenidos en la sección 3.4 de los equipos vinculados en el sistema solar fotovoltaico teniendo en cuenta el potencial de generación, potencial de almacenamiento y el potencial de alimentación de las cargas por día la potencia máxima del sistema se determinó en

900 W. Dentro del cálculo de cargas de iluminación en el edificio de robótica de la fie se seleccionaron los circuitos a abastecer determinando como puntos estratégicos la cantidad de lámparas por sección, el uso del área al día y la potencia demandada de las cargas de iluminación. Los circuitos de iluminación que se van a abastecer son los siguientes mostrados en la Tabla 11-3:.

- L1 (Laboratorio de prototipado)
- L6 (Zona de baños)
- L7 (Pasillo lateral)
- L8 (Cuarto de máquinas)

En la Ilustración 20-3: se determina las áreas establecidas para abastecer con el sistema solar fotovoltaico dando como resultado la parte lateral del edificio de robótica de la facultad de informática y electrónica.

Ya que el edificio esta seccionado según las cargas, se ha realizado una distribución secundaria sobre la cual se va a intervenir mediante dos tableros de distribución que permiten el paso desde el tablero principal hacia las cargas seleccionadas mediante la generación fotovoltaica mostradas en la Ilustración 20-3:.

Tabla 11-3: Cargas a abasteces con el sistema solar fotovoltaico.

Líneas	Área	Lámparas [W]			Cargas de Iluminación [W]
		60	40	18	
L1	Laboratorio de Prototipado	0	7	0	280
L6	Zona de baños	0	4	4	232
L7	Pasillo Lateral	0	0	5	90
L8	Cuarto de maquinas	0	3	0	120
TOTAL					722 W

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022



Ilustración 20-3: Sección a abastecer del edificio de robótica.

Fuente: ESPOCH

3.7. Dimensionamiento del cableado y protecciones del sistema

El dimensionamiento del cableado y protecciones vienen definida por condiciones de la instalación como el voltaje o la corriente que circula a través de ellos, para evitar cortocircuitos, sobre dimensionamiento de cables y evitar pérdidas por el uso de un cable con calibre incorrecto.

3.7.1. Dimensionamiento de cableado de cada rama de paneles

La corriente de una rama de paneles es alrededor de 12A, tomando en cuenta que el panel es una fuente de corriente que pudiese presentar sobre corriente se ha considerado un factor de 1.25 veces la corriente nominal como margen de seguridad. Con lo cual la corriente máxima sería alrededor de 15A por cada rama de paneles utilizando la Ecuación 1-3:

Por lo que sería admisible un cable AWG 12 o AWG 10. Se ha seleccionado un cable AWG 10 para compensar las posibles caídas de tensión por distancia dada la resistividad del conductor en un circuito de corriente continua, el cual tiene un rango de corriente e 30A a 35A.

$$S = \frac{2 \times L \times I_{max}}{\sigma \times e}$$

Ecuación 1-3: Dimensionamiento del cableado.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

En la Tabla 12-3: se detalla cada uno de los elementos que se utilizan en la Ecuación 1-3:.

Tabla 12-3: Cargas a abasteces con el sistema solar fotovoltaico.

Elemento	Descripción	Valor
S	Sección del cable mm ²	Variable
L	Longitud del circuito m	Variable
I _{max}	Corriente máxima que circula	Variable
σ	Conductividad del material	Variable
e	Caída de tensión máxima	Variable

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.7.2. Dimensionamiento de acometida de paneles hacia el tablero de control

La corriente estimada para las 4 ramas de paneles es de 48A (considerando la corriente nominal indicada en el datasheet del panel solar) hasta 54A (considerando una sobre corriente por rama de 1.25 veces y hasta en 2 ramas). Las 4 ramas se conectan en la caja de paso donde se encuentra el distribuidor y desde allí bajan 2 cables (positivo y negativo) hasta el tablero. Para este conductor se ha seleccionado un cable AWG 6 que tiene un rango de corriente de 55A a 65A.

3.7.3. Dimensionamiento de acometida de control hacia las cargas

Teniendo los datos de las cargas revisados en la sección 3.6 se tiene que el abastecimiento en 3 circuitos que se encuentran en un tablero general de iluminación, para estas cargas se utilizó cable de calibre 10 AWG utilizando la Ecuación 1-3:.

3.7.4. Dimensionamiento de protecciones

Para la protección desde los paneles hasta el tablero de control se utilizó el Surge Arrestor un equipo para evitar las sobrecargas naturales de los rayos, ya que los 16 paneles se encuentran al aire libre, sus características de voltaje son de 1300VDC y I_{max} de 40kA.

Como protección de corriente continua DC se tiene un breaker para sistemas solares de 50 ADC bifásico para protección de los equipos cada rama de paneles tiene un total de 12 A como se muestra en la Ecuación 2-3:.

$$I_{max} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 48 A$$

Ecuación 2-3: Dimensionamiento de la protección DC.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Para la protección AC breaker de 20 amperios con 2 polos ya que según la limitación del convertidor permite el paso solo de 12-18 A.

3.8. Selección del software para el sistema de control y monitoreo

Para diseñar e implementar el sistema de control y monitoreo de la estación fotovoltaica se requiere seleccionar un software que permita realizar los procesos antes mencionados. De esta forma, se realizó un análisis comparativo de las herramientas mencionadas en la sección 2.2.6 el cual se detalla en la Tabla 13-3:.

Tabla 13-3: Características de los sistemas de control seleccionados.

Herramientas Software	Permite Modelado Matemático	Facilidad de Trabajo	Permite Interfaz Gráfica de monitoreo	Permite Simulación Hardware in the Loop	Programación Estructurada o por Bloques	Sistemas de Control
MATLAB y Simulink	SI	SI	SI	SI	AMBAS	SI
LabVIEW	SI	SI	SI	SI	BLOQUES	SI
Python	SI	NO	SI	SI	ESTRUCTURADA	NO

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Con el análisis presentado en la Tabla 13-3: se puede concluir que tanto MATLAB como LabVIEW podrían ser herramientas potencialmente utilizables para el desarrollo del trabajo de integración curricular. Se escogió la herramienta de MATLAB y Simulink por la versatilidad que tiene para poder implementar modelos matemáticos y sistemas de control combinando bloques y programación estructurada. De igual forma se utilizó el entorno del App Designer que ofrece MATLAB para implementar el sistema de monitoreo.

Por lo tanto, el software de MATLAB permitiría realizar tanto el modelado de la estación fotovoltaica como la implementación del sistema de control y monitoreo.

3.9. Selección del sistema de control

Para el sistema de control y gestión de la energía es necesario determinar el tipo de control que se va a aplicar y cuál es el más adecuado para el sistema implementado en la estación fotovoltaica. De esta forma se realizó un análisis comparativo entre diferentes tipos de control el cual se detalla en la Tabla 14-3:.

Tabla 14-3: Análisis de características de las estrategias de control.

Tipos de Control	Facilidad de Uso	Control Inteligente	Datos para entrenamiento	Procesamiento	Aplicable para el escenario
Control Clásico: PID	SI	NO	NO	BAJO	NO
Control Basado en Lógica Difusa	SI	SI	NO	MEDIO	SI
Control Basado en Redes Neuronales	NO	SI	SI	ALTO	SI

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Se concluyó que la solución factible sería el control basado en lógica difusa. Porque un sistema de control basado en redes neuronales requiere datos previos para el entrenamiento del mismo. Además, a nivel de eficiencia se estaría utilizando una estrategia de control inteligente muy compleja para una toma de decisiones muy simples, terminando en sobre procesamiento. Por lo tanto, se definió como estrategia de control un algoritmo basado en lógica difusa, el cual permitirá obtener una respuesta adaptativa y rápida del sistema ante condiciones cambiantes en las entradas del mismo.

3.10. Modelado de la estación fotovoltaica

El modelo de la estación fotovoltaica tiene como objetivo simular el comportamiento tanto de la generación fotovoltaica, demanda de las cargas y almacenamiento de energía. Esta simulación permite diseñar y comprobar el funcionamiento del sistema de control con la estación real.

El modelo de la estación fotovoltaica se diseñó tomando en cuenta tres puntos principales:

- El bloque de generación de energía que consta del modelo de los paneles solares.
- El bloque de control y gestión de la energía donde se encuentra el algoritmo de control diseñado en este trabajo de integración curricular.
- El bloque de almacenamiento de energía que incluye el modelo para el banco de baterías.

Es la Ilustración 21-3: se muestra un diagrama de funcionamiento del sistema, donde los cuadros azules representan las secciones antes mencionadas. Los cuadros verdes describen las entradas que necesita cada bloque, mientras que los cuadros rojos muestran las salidas de cada bloque.

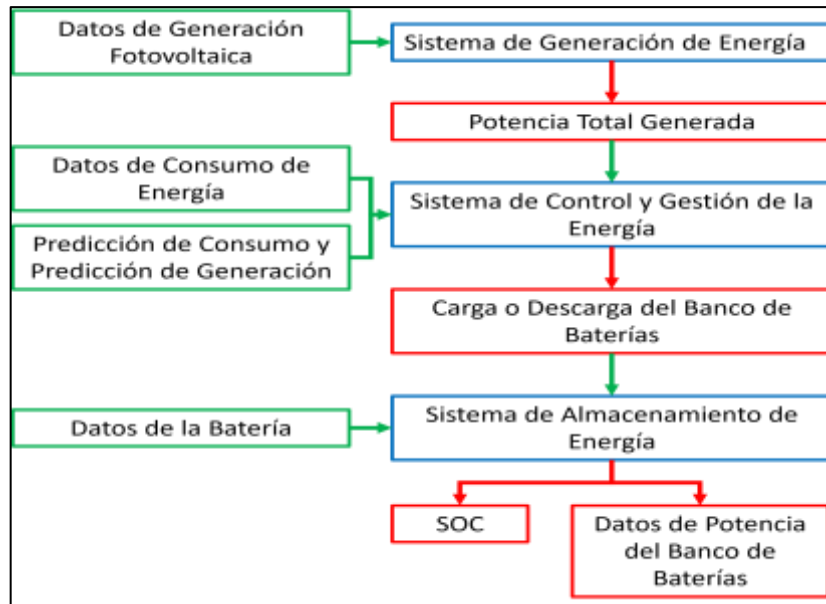


Ilustración 21-3: Diagrama de funcionamiento del modelo del SSF.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Los datos de entrada y configuración para cada uno de los modelos se ingresan a través de scripts de MATLAB. En el entorno de Simulink se modeló mediante bloques la operación de cada uno del sistema como en Ilustración 21-3:.

3.10.1. Modelado de paneles solares

La sección de generación de energía fotovoltaica que se muestra en la Ilustración 22-3: representa las conexiones físicas que se tienen en el sistema real tal y como se muestra en la sección 3.5.1. El modelo de panel solar implementado requiere como entrada el valor instantáneo de irradiancia solar y temperatura ambiente. Dicha información se provee mediante un perfil cuarto horario con un total de 96 muestras por día que se ingresan mediante vectores. La salida del modelo es la corriente y voltaje de cada rama de paneles. La salida de corriente de cada rama se suma para tener la corriente total del conjunto de paneles, mientras que el voltaje se mantiene constante. Como resultado de la multiplicación del voltaje y la corriente se obtiene la potencia instantánea que generan el conjunto de paneles.

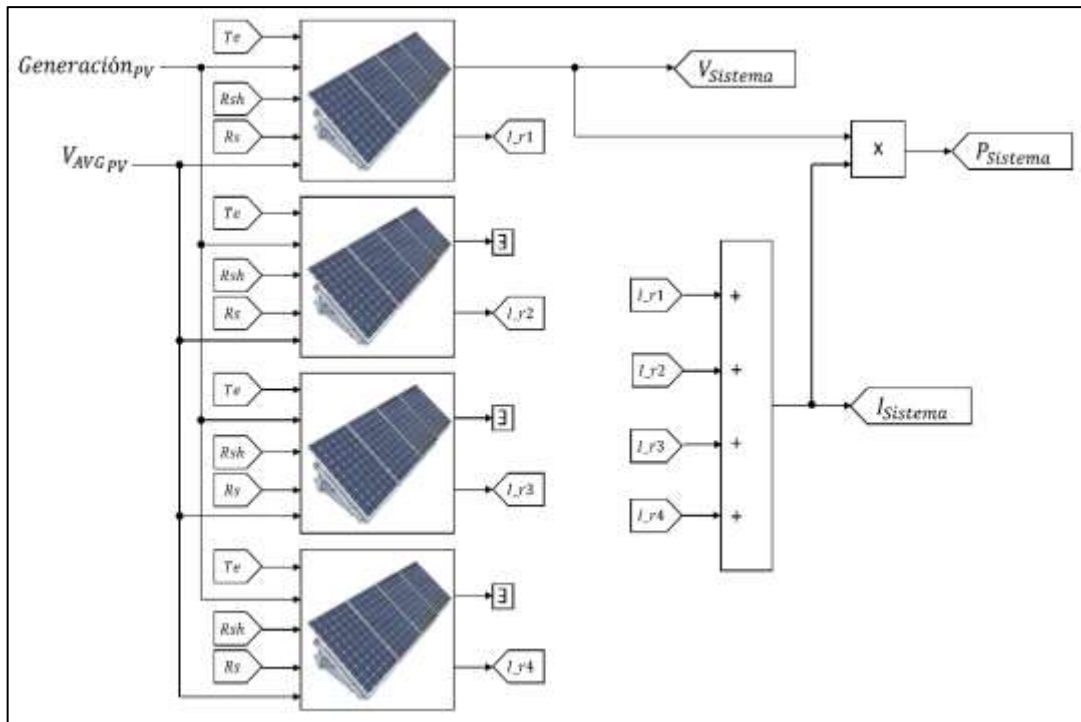


Ilustración 22-3: Sistema de generación de energía fotovoltaica en Simulink.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

El modelo matemático que representa el comportamiento de los paneles solares está basado en el circuito eléctrico que se muestra en la Ilustración 23-3; y sus elementos se detallan en la Tabla 15-3:.

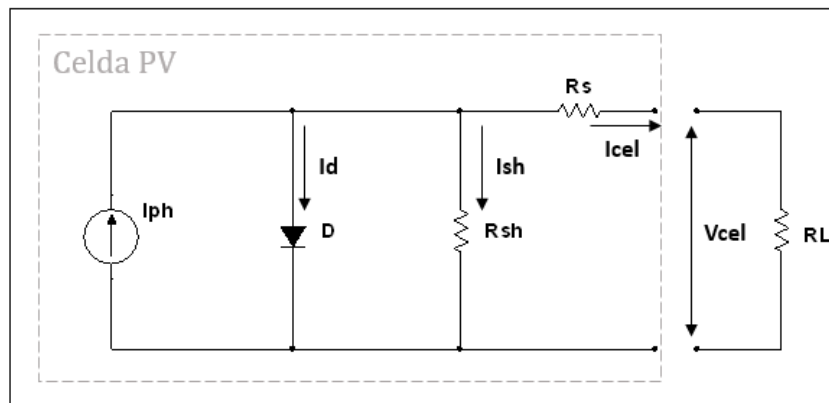


Ilustración 23-3: Circuito Equivalente de un Panel Solar.

Fuente: (Vera, y otros, 2018)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 15-3: Elementos del circuito equivalente de un panel solar.

Elemento	Descripción	Valor
I _{ph}	Corriente Fotogenerada	Variable
I _d	Corriente en el Diodo	Variable
I _{sh}	Corriente Shunt	Variable
R _{sh}	Resistencia Shunt	4 KOhm
R _s	Resistencia Serie	0.032 ohm
I _{cel}	Corriente de la Celda	Variable
V _{cel}	Voltaje de la Celda	96.4 V
RL	Resistencia de la Carga	Carga de la demanda

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

$$I_{PV} = I_{PH} - I_S \left(e^{\frac{q(V+I_{PV}R_s)}{KT_e A}} - 1 \right) - \frac{V + I_{PV}R_s}{R_{sh}}$$

Ecuación 3-3: Corriente generada por los paneles solares.

Fuente: (Vera, y otros, 2018)

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La Ecuación 3-3; Error! No se encuentra el origen de la referencia. permite calcular la corriente g enerada por el conjunto de paneles conectados en serie, los valores de cada parámetro se detallan en la Tabla 16-3:.

Tabla 16-3: Elementos de la ecuación del modelo matemático de los paneles solares.

Elemento	Descripción	Valor
I_{PV}	Corriente de la celda	Variable
I_{PH}	Corriente Fotogenerada	Variable
I_S	Corriente de Saturación Inversa del Diodo	Variable
R_{sh}	Resistencia Shunt	4 KΩ
R_s	Resistencia Serie	0.032 Ω
V	Voltaje de la celda	96.4 V
q	Carga del Electrón	1.6×10^{-19} C
K	Constante de Boltzmann	1.38×10^{-23} J/K
T_e	Temperatura de Operación de la celda	25 °C
A	Factor de Idealidad	1.2

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.10.2. Modelado de baterías

La sección del sistema de almacenamiento que se observa en la Ilustración 24-3: representa la operación de un banco de baterías. Las entradas al modelo son los parámetros y características de cada batería, así como la conexión en serie entre ellas. La entrada para la operación del banco de baterías es la potencia determinada por el sistema de control que permite cargar (potencia negativa) y descargar (potencia positiva) el banco. La salida del modelo corresponde a la información del voltaje y corriente instantáneo del banco de baterías. La salida como retroalimentación hacia el sistema de control es el estado de carga (SOC), que es una representación porcentual de la cantidad de energía remanente en el banco de baterías. El modelo además incluye dos salidas que permiten cuantificar la cantidad de energía absorbida o entregada desde el banco de baterías para poder ser visualizada posteriormente en el sistema de monitoreo.



Ilustración 24-3: Sistema de Almacenamiento de Energía.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

El modelo matemático que representa el comportamiento de la batería está basado en el circuito electrónico presentado en la Ilustración 25-3: y sus elementos se detallan en la Tabla 17-3:.

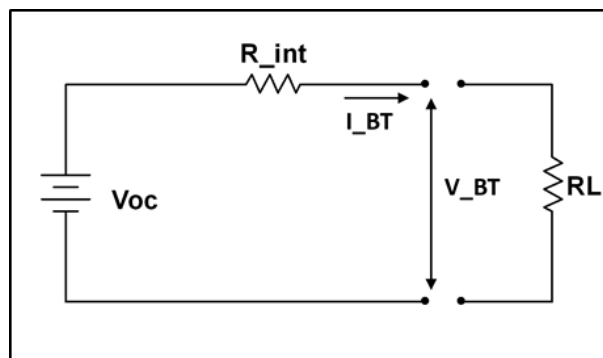


Ilustración 25-3: Sistema de Almacenamiento de la batería.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 17-3: Elementos del circuito equivalente de la batería.

Elemento	Descripción	Valor
V_{oc}	Voltaje en circuito abierto de la batería	12 V
R_{int}	Resistencia interna de la batería	4 m Ω
V_{BT}	Voltaje en terminales del circuito	Variable
I_{BT}	Corriente de la batería	Variable
R_L	Resistencia de la carga	Carga de la demanda

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

$$V_{BT} = \frac{-V_{oc} + \sqrt{V_{oc}^2 - 4 * R_{int} * P_{BT}}}{2}$$

Ecuación 4-3: Voltaje de carga de la batería.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

$$V_{BT} = \frac{V_{oc} - \sqrt{V_{oc}^2 - 4 * R_{int} * P_{BT}}}{2}$$

Ecuación 5-3: Voltaje de descarga de la batería.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La Ecuación 4-3: permite calcular el voltaje de carga empleado en el banco de baterías, mientras que la Ecuación 5-3: permite calcular el voltaje de descarga. Los elementos de las ecuaciones se detallan en la Tabla 18-3:.

Tabla 18-3: Elementos de las ecuaciones de carga y descarga de la batería.

Elemento	Descripción	Valor
V_{oc}	Voltaje en circuito abierto de la batería	12 V
R_{int}	Resistencia interna de la batería	4 m Ω
V_{BT}	Voltaje en terminales de la batería	Variable
P_{BT}	Potencia de la batería	Variable

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.11. Diseño del algoritmo de control

El sistema de control tiene la función de gestionar los sistemas de energía dentro de la estación fotovoltaica, siendo los principales:

- Flujo de energía desde los paneles hacia el inversor.
- Flujo de energía desde los paneles hacia las baterías.

- Flujo de energía desde las baterías hacia el inversor.
- Flujo de energía desde la red principal hacia el inversor.
- Flujo de energía desde la red principal hacia las baterías.

El primer paso es realizar un balance de potencia entre la generación instantánea y la demanda instantánea. Esto nos da como resultado un excedente positivo (cuando la generación supera la demanda) o negativo (cuando la demanda supera la generación).

En la Ilustración 26-3:, se detallan los perfiles de generación que se han considerado para la estación fotovoltaica y en la Tabla 19-3: sus respectivos valores. Los perfiles se han dividido dependiendo de las posibles condiciones climáticas y considerando la potencia instalada en paneles solares. De esta manera, se consideró un perfil para un día completamente soleado, un perfil para un día nublado y otro para un día lluvioso.

Donde como se observa en la Tabla 19-3: están determinados según su porcentaje de nubosidad y su irradiancia máxima en el día, basándonos en la información detallada en (Tapia, et al., 2022)

Tabla 19-3: Características de los tipos de días utilizados en los perfiles de generación.

Tipo de Día	Porcentaje de Nubosidad	Irradiancia Máxima [W/m ²]
Soleado	0% - 25%	$700 \leq x$
Nublado	25% - 75%	$200 < x < 700$
Lluvioso	75% - 100%	$x \leq 200$

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022.

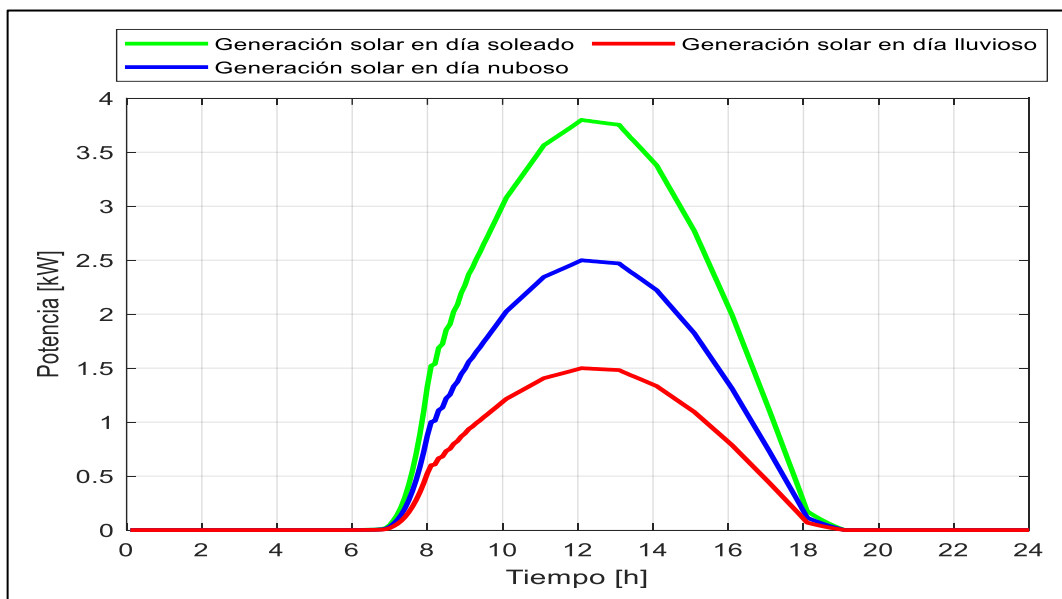


Ilustración 26-3: Perfiles de generación para diferentes escenarios.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 20-3: Datos de perfiles de generación.

Perfiles de Generación	
Escenario	Potencia Máxima [KW]
Día Soleado	3,8
Día Nuboso	2,5
Día Lluvioso	1,5

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

En la Ilustración 27-3: se observan los perfiles que se consideraron para simular el consumo de las cargas de iluminación del edificio y en la Tabla 20-3: los valores correspondientes. Es importante resaltar que el sistema solar fotovoltaico es capaz de alimentar, en régimen permanente, a cargas que demanden hasta 1 KW de potencia. Por lo tanto, se consideraron 3 perfiles de consumo:

- Demanda máxima: asumiendo que se mantiene un consumo constante de 1KW durante todo el día.
- Demanda media: considerando un perfil de consumo constante de 1KW durante las horas en las que el edificio se encuentra abierto durante el día (08:00 a 21:00) y una demanda mínima (200 W) el resto de las horas.
- Demanda standard: es un perfil que incluye una un escalón, asumiendo una reducción en el consumo (600 W) en las horas de mayor presencia de luz solar (menos demanda de iluminación artificial) y una demanda mínima (200 W) el resto de las horas.

Empleando los perfiles de generación solar presentados en la Ilustración 27-3:, se calculó el total de energía disponible durante el día. Los resultados se muestran en la Ilustración 28-3: y los datos en la Tabla 21-3:.

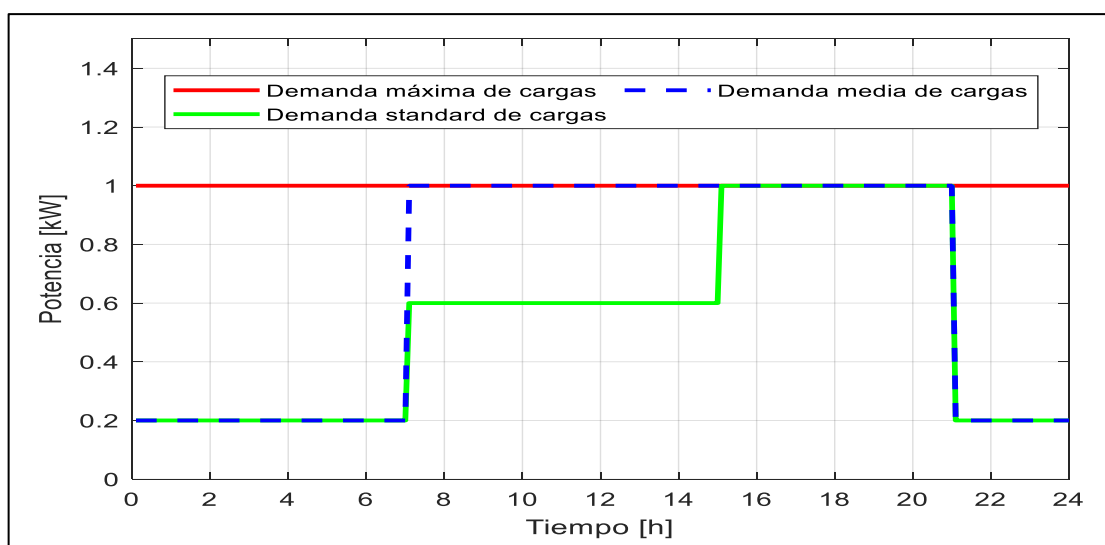


Ilustración 27-3: Perfiles de demanda para diferentes escenarios.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 21-3: Datos de perfiles de demanda.

Perfiles de Demanda		
Escenario	Tiempo [h]	Potencia Máxima [KW]
Carga Máxima	00:00 - 24:00	1
Carga Media	07:00 - 21:00	1
Carga Estándar	07:00 - 15:00	0,6
	15:00 - 21:00	1

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

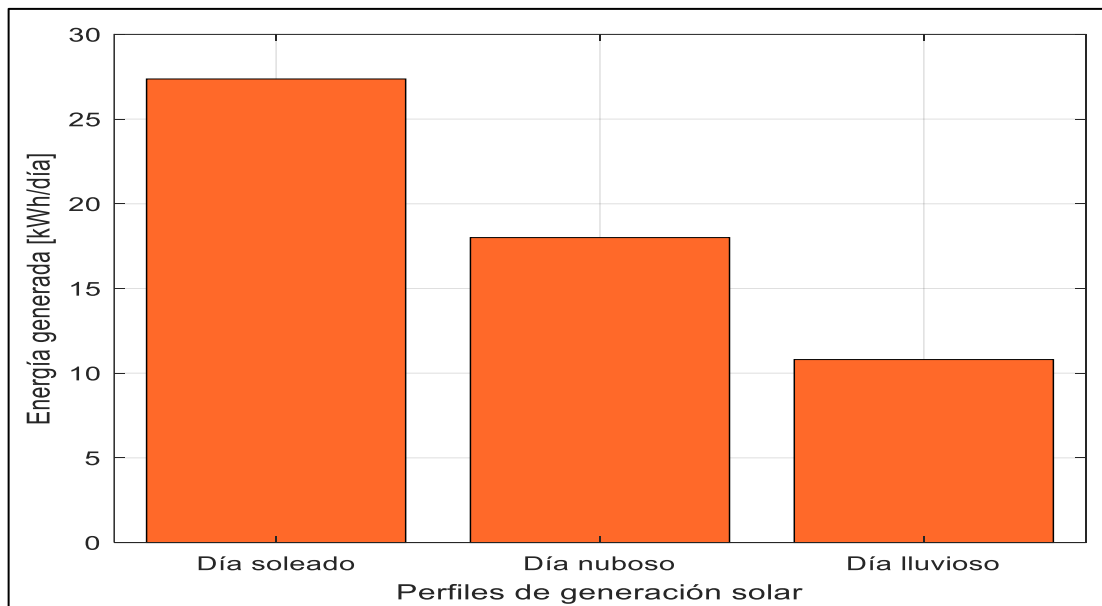


Ilustración 28-3: Energía disponible en base a los perfiles de generación.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

De forma similar, empleado los perfiles de consumo presentados en la Ilustración 27-3: se calculó el total de energía demandada durante el día. Dichos valores se muestran en la Ilustración 29-3: y sus datos correspondientes en la Tabla 22-3:.

Tabla 22-3: Datos de energía generada por día.

Energía Generada por Día	
Perfil de Generación	Energía [KWh/día]
Día Soleado	27
Día Nublado	18

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

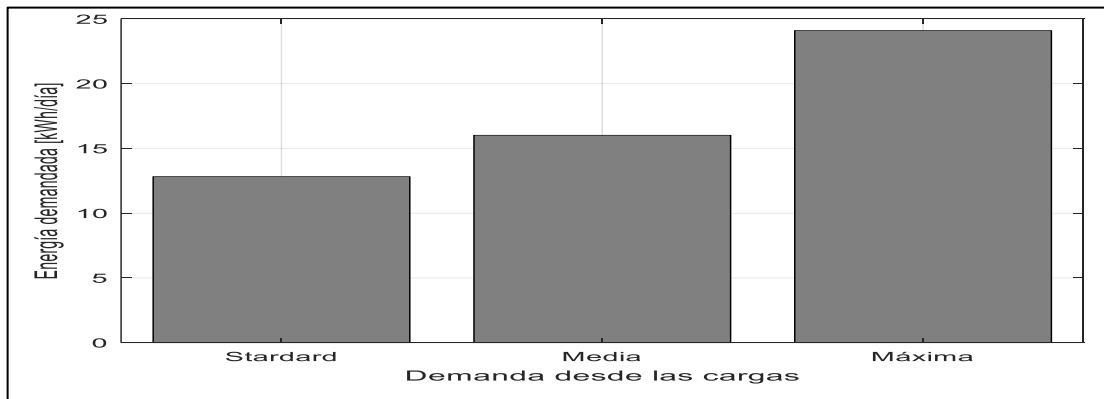


Ilustración 29-3: Demanda de energía en base a los perfiles de demanda.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 23-3: Datos de energía generada por día.

Energía Demandada por Día	
Perfil de Demanda	Energía [KWh/día]
Carga Estándar	13
Carga Media	16
Carga Máxima	24

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Haciendo uso de los resultados tanto de energía total generado como de demanda total de energía, se establecieron las posibles combinaciones entre los casos presentados en las Ilustración 28-3; y la Ilustración 29-3;. El objetivo es estimar el déficit o excedente de energía en cada caso tal y como se muestran en la Ilustración 30-3; Ilustración 31-3; Ilustración 32-3; y sus respectivas tablas. El valor correspondiente al balance energético, si fuese positivo indica que hay un excedente de energía que puede ser almacenado en las baterías.

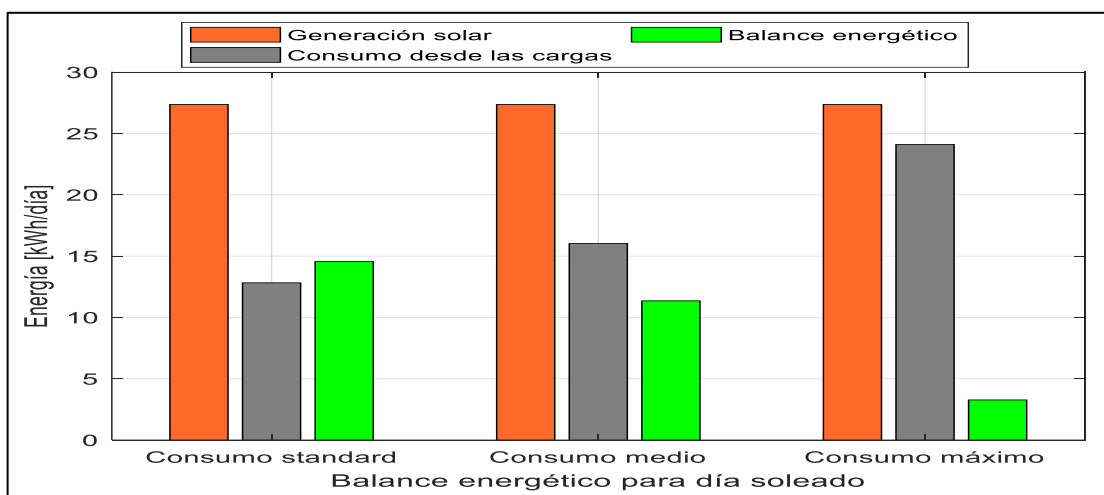


Ilustración 30-3: Balance energético para un día soleado.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 24-3: Balance energético en un día soleado.

Balance Energético		
Perfil de Generación:	Día Soleado	27 KWh/día
Perfil de Demanda	Energía Demandada [KWh/día]	Balance de Energía [KWh/día]
Carga Estándar	13	14
Carga Media	16	11
Carga Máxima	24	3

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Por el contrario, un valor negativo indica que existe un déficit de energía que deberá ser cubierto sea por las baterías y/o por la red principal. El comportamiento antes detallado es el que intenta simular el control basado en lógica difusa, de tal forma que se pueda obtener una salida adaptativa que controle el banco de baterías. De igual forma se muestran los datos en la Tabla 24-3;, Tabla 25-3: y la Tabla 26-3:.

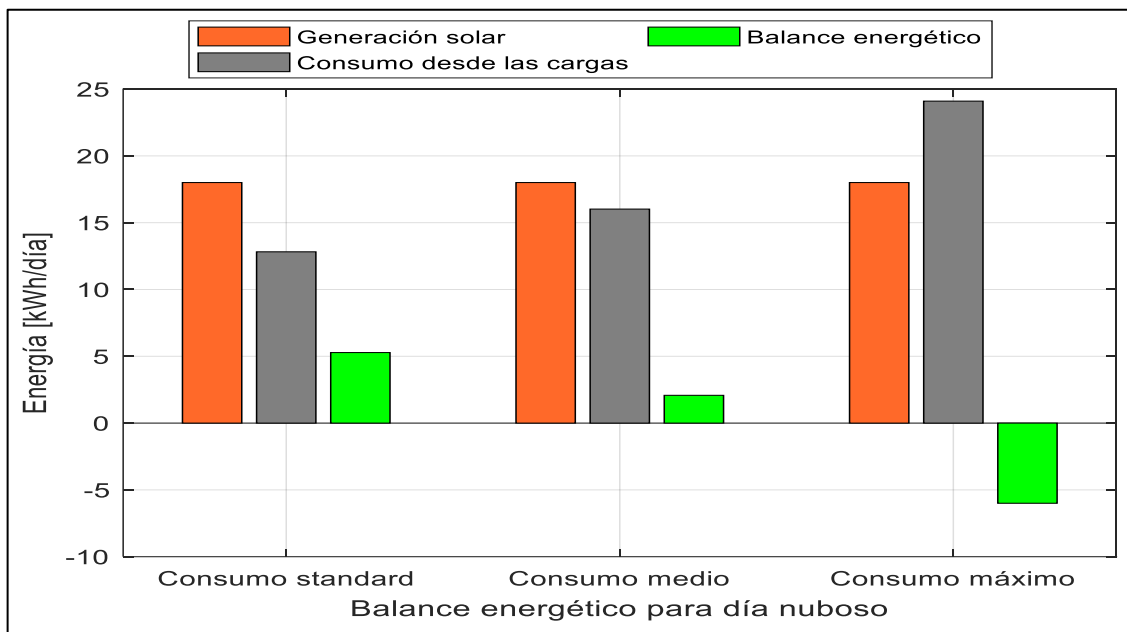


Ilustración 31-3: Balance energético para un día nublado.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 25-3: Balance energético en un día nublado.

Balance Energético		
Perfil de Generación:	Día Nublado	18 KWh/día
Perfil de Demanda	Energía Demandada [KWh/día]	Balance de Energía [KWh/día]
Carga Estándar	13	5

Carga Media	16	2
Carga Máxima	24	-6

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

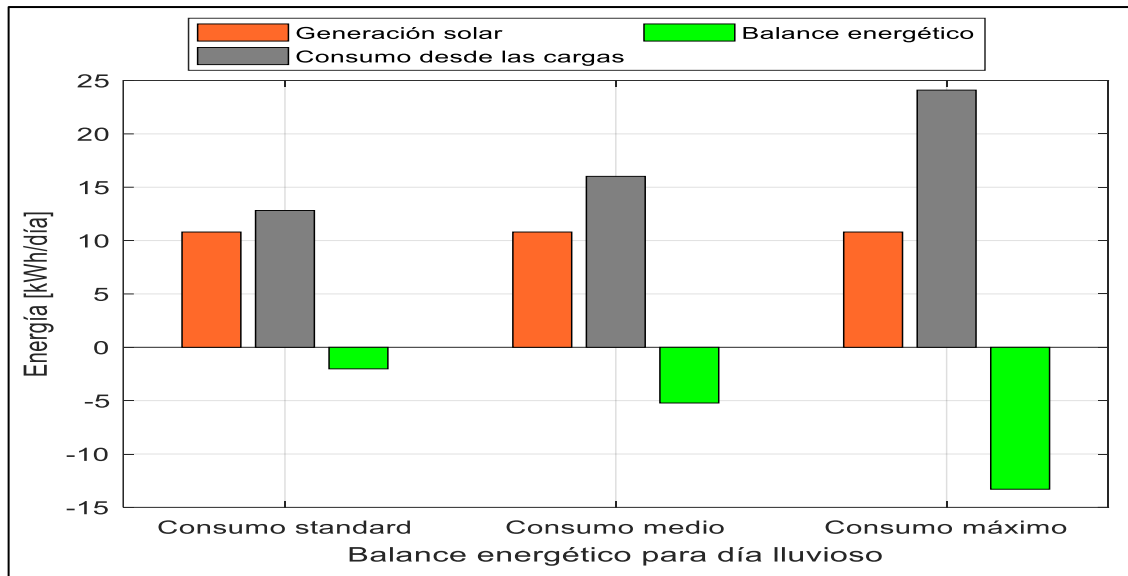


Ilustración 32-3: Balance energético para un día lluvioso.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 26-3: Balance energético en un día lluvioso.

Balance Energético		
Perfil de Generación:	Día Lluvioso	11 KWh/día
Perfil de Demanda	Energía Demandada [KWh/día]	Balance de Energía [KWh/día]
Carga Estándar	13	-2
Carga Media	16	-5
Carga Máxima	24	-13

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Lo siguiente es detallar el control, el control difuso que se muestra en la Ilustración 33-3: consta de cuatro entradas:

P_{EXC} : Corresponde al excedente (positivo o negativo) resultado de restar la potencia consumida por las cargas de la potencia generada en cada instante de tiempo.

SOC_{BAT} : Corresponde a un valor referencial porcentual de la cantidad de energía remanente dentro de la batería.

PRE_{GEN} : Es un valor energético que se calcula mediante el algoritmo de ventana deslizante para estimar el volumen de energía que se generará dentro de las siguientes 2 horas.

PRE_{DEM} : Es un valor energético que se calcula mediante el algoritmo de ventana deslizante para estimar el volumen de energía que se consumirá dentro de las siguientes 2 horas.

Las funciones de membresía asignadas a cada una de las entradas del control difuso propuesto se muestran en la Ilustración 34-3:, Ilustración 35-3:, Ilustración 36-3:, Ilustración 37-3:.

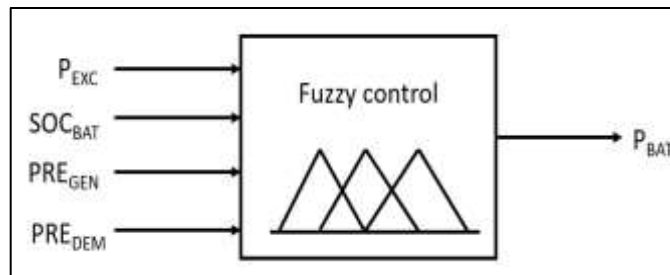


Ilustración 33-3: Control Difuso con sus entradas y salidas.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Las funciones de membresía asignadas a cada una de las entradas del control difuso propuesto se muestran en la Ilustración 34-3:, Ilustración 35-3:, Ilustración 36-3:, Ilustración 37-3:.. Las variables lingüísticas asignadas a cada una de ellas se detallan a continuación en la Tabla 27-3:.

Tabla 27-3: Variables lingüísticas de las funciones de membresía de las entradas.

Variable Lingüística	Descripción
N_{EXC}	Excedente de energía negativo.
M_{EXC}	Excedente de energía medio.
P_{EXC}	Excedente de energía positivo.
LOW_{BAT}	Nivel bajo del SOC en la batería.
MED_{BAT}	Nivel medio del SOC en la batería.
HIG_{BAT}	Nivel alto del SOC en la batería.
LOW_{GEN}	Predicción de generación de energía fotovoltaica baja dentro de la ventana deslizante.
MED_{GEN}	Predicción de generación de energía fotovoltaica media dentro de la ventana deslizante.
HIG_{GEN}	Predicción de generación de energía fotovoltaica alta dentro de la ventana deslizante.
LOW_{DEM}	Predicción de consumo de energía bajo dentro de la ventana deslizante.
MED_{DEM}	Predicción de consumo de energía medio dentro de la ventana deslizante.
HIG_{DEM}	Predicción de consumo de energía alto dentro de la ventana deslizante.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

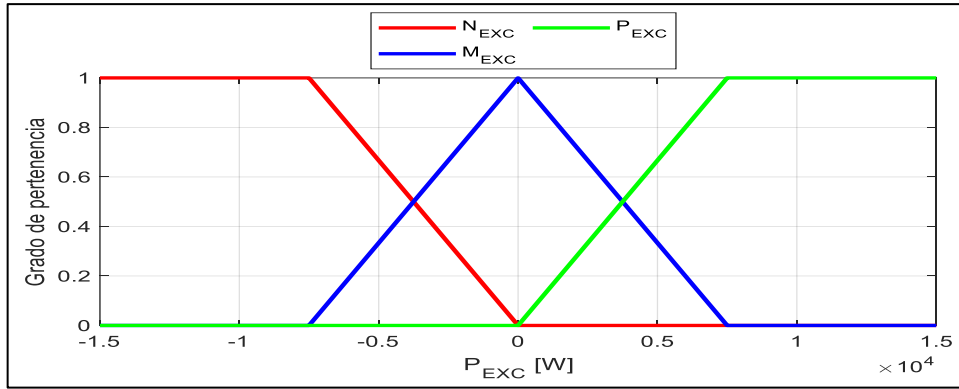


Ilustración 34-3: Funciones de Membresía de la entrada P_{EXC} .

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

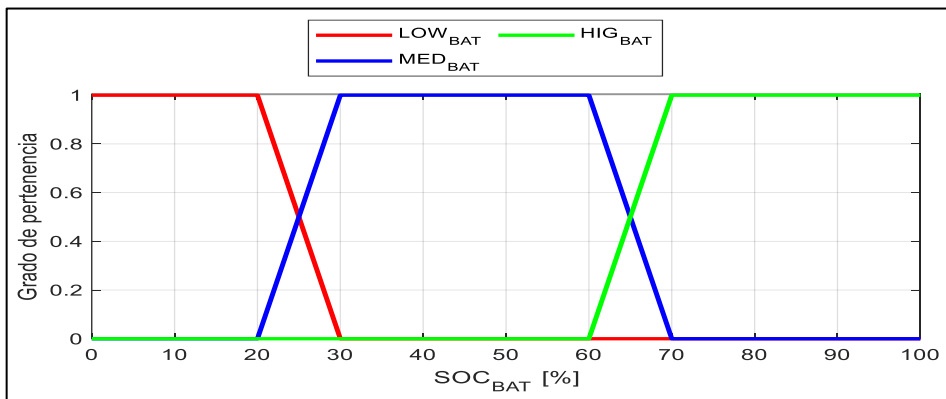


Ilustración 35-3: Funciones de Membresía de la entrada SOC_{BAT} .

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

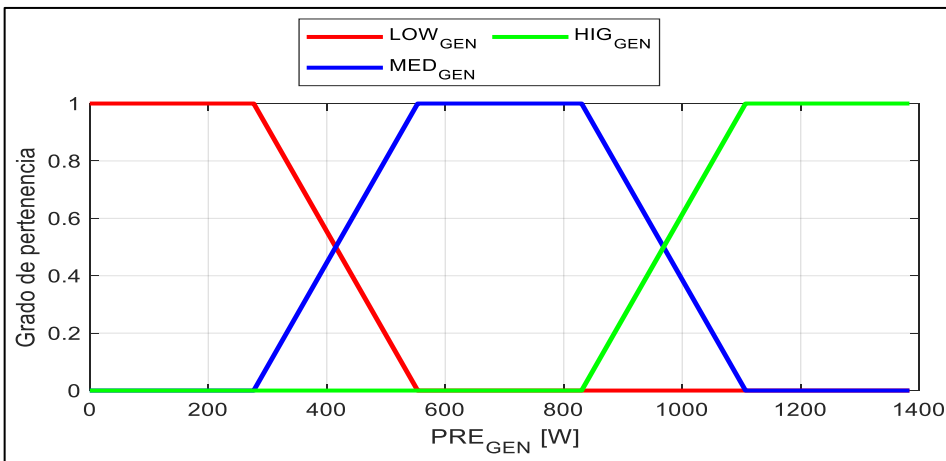


Ilustración 36-3: Funciones de Membresía de la entrada PRE_{GEN} .

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

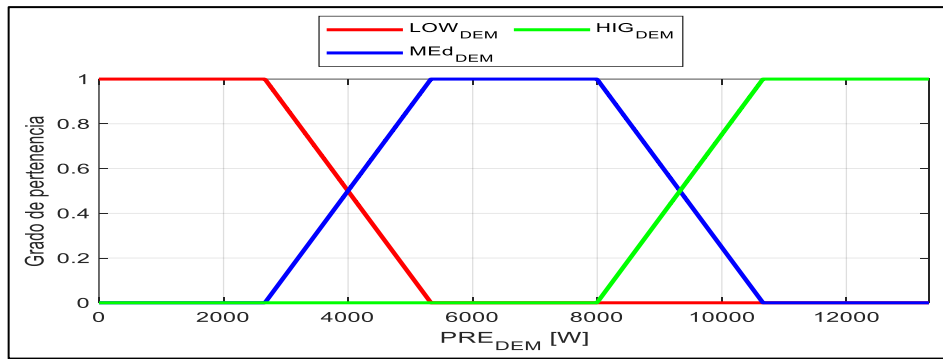


Ilustración 37-3: Funciones de Membresía de la entrada PRE_{DEM} .

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La salida P_{BAT} corresponde al valor de potencia de carga o descarga de la batería. Las funciones de membresía asignadas la salida del control difuso propuesto se muestra en la Ilustración 38-3:. Las variables lingüísticas asignadas a cada una de ellas se detallan a continuación en la Tabla 28-3:.

Tabla 28-3: Variables lingüísticas de las funciones de membresía de la salida.

Variables Lingüísticas	Descripción
$HIG - N_{P-BAT}$	Nivel alto de potencia para cargar la batería.
$MED - N_{P-BAT}$	Nivel medio de potencia para cargar la batería.
$LOW - N_{P-BAT}$	Nivel alto de potencia para cargar la batería.
$MED - 0_{P-BAT}$	Nivel neutro de potencia para cargar/descargar la batería.
$LOW - P_{P-BAT}$	Nivel bajo de potencia para descargar la batería.
$MED - P_{P-BAT}$	Nivel medio de potencia para descargar la batería.
$HIG - P_{P-BAT}$	Nivel alto de potencia para descargar la batería.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

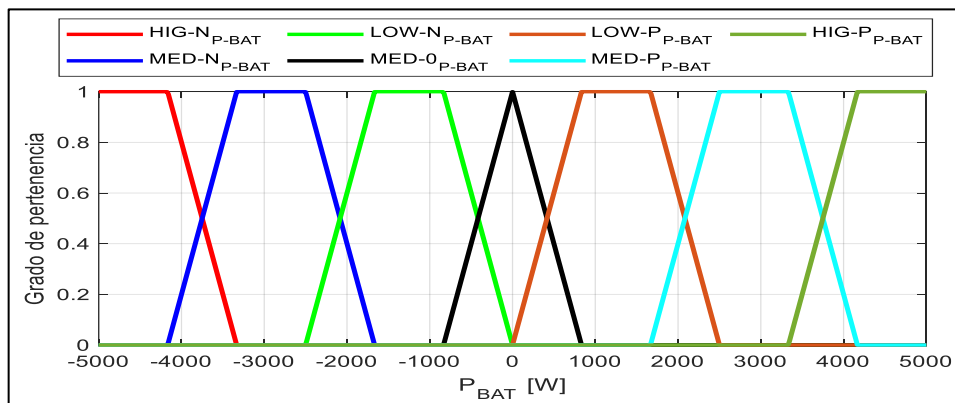


Ilustración 38-3: Funciones de Membresía de la salida P_{BAT} .

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La entrada correspondiente a la predicción de la generación tiene como objetivo estimar la posible cantidad de energía que se podría generar desde los paneles solares de acuerdo a las condiciones climáticas del día (día soleado, nuboso o lluvioso). Tomando en cuenta que el control difuso actúa periódicamente de acuerdo al período de muestra de 15 minutos, en cada instante de tiempo requerirá los datos correspondientes a las 4 entradas antes descritas para poder calcular la salida que actuará sobre el comportamiento de carga o descarga (y ratio) de la batería.

Bajo esta consideración, la predicción de la generación es un valor que se debe actualizar igualmente de forma periódico. Para tal efecto, se implementó un algoritmo de ventana deslizante que se irá recorriendo hacia adelante en el eje temporal para poder cuantificar la energía que potencialmente se generaría en el futuro. Se definió un tamaño de ventana de 2 horas, espacio de tiempo que se considera suficiente para considerar posibles cambios en la climatología y además brinda un rango de acción para poder planificar de forma óptima el comportamiento de la batería.

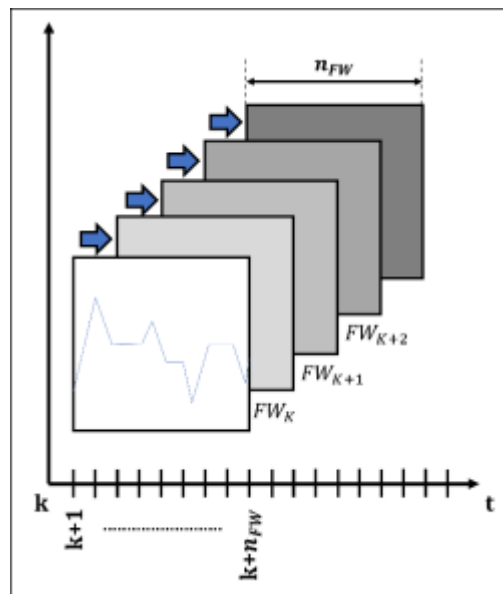


Ilustración 39-3: Método de ventana deslizante.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

El comportamiento del algoritmo de ventana deslizante se describe en la Ilustración 39-3: donde al encontrarse en un determinado instante k , se crea una ventana hacia adelante que analiza el perfil de generación solar y calcula la energía que se generaría en ese espacio de tiempo. El ejemplo mostrado en la Ilustración 40-3: se realizó de forma explicativa para el perfil de generación solar de un día soleado.

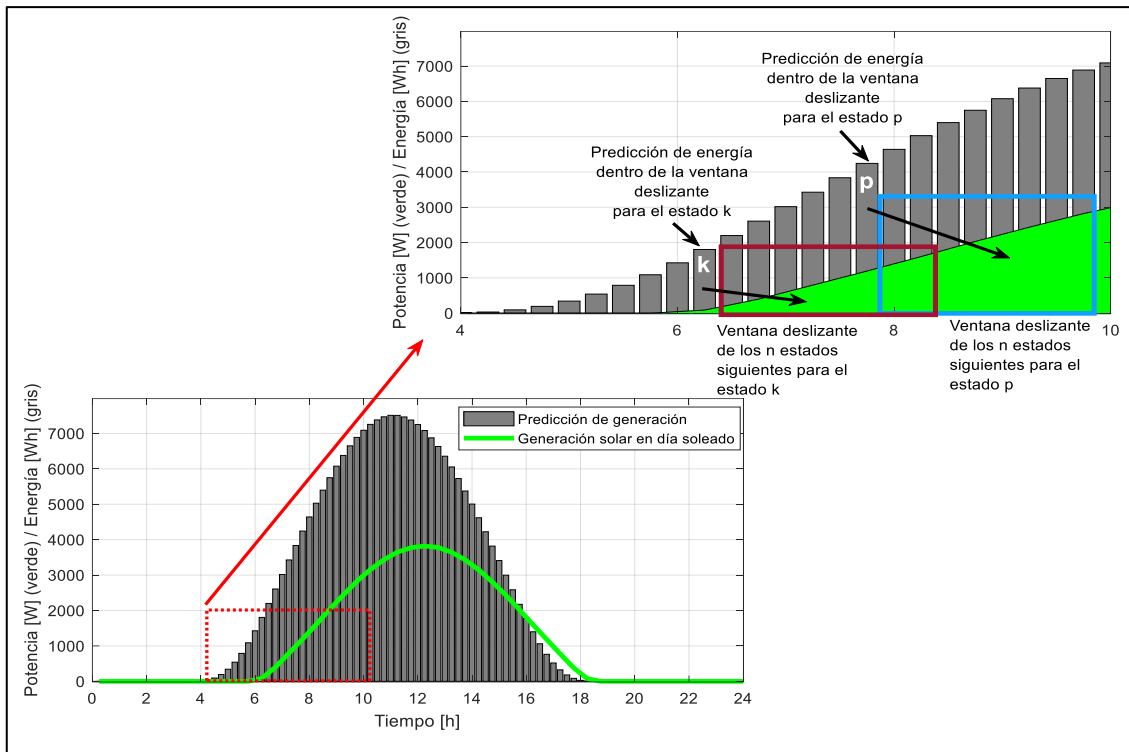


Ilustración 40-3: Método de ventana deslizante aplicado a un perfil de generación.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La Ilustración 40-3: y la Ilustración 41-3: muestran el comportamiento de la estimación de generación de energía para los perfiles de generación solar de un día nublado y lluvioso, respectivamente.

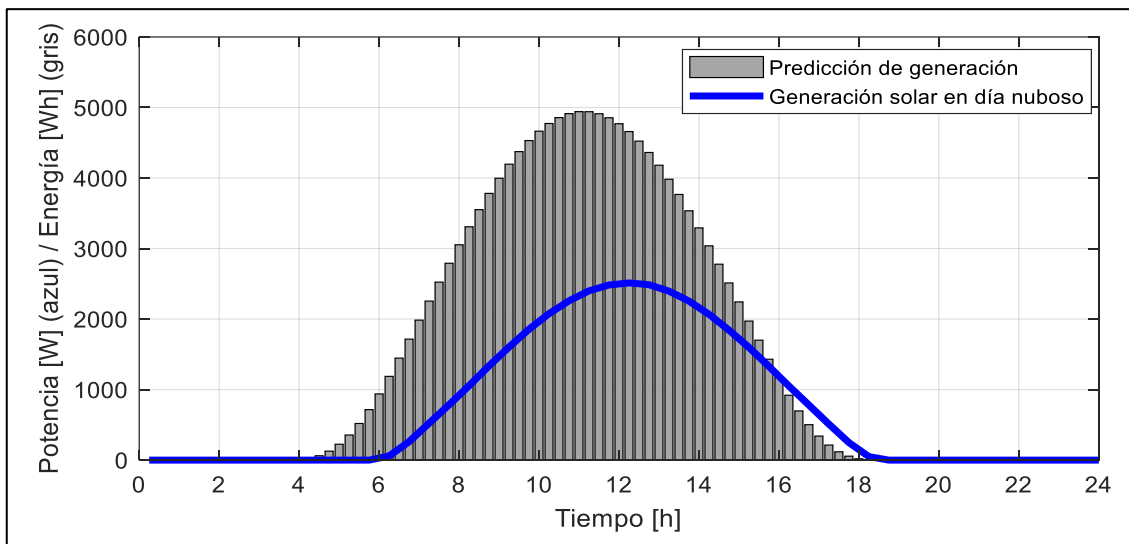


Ilustración 41-3: Predicción de generación de un día nublado.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

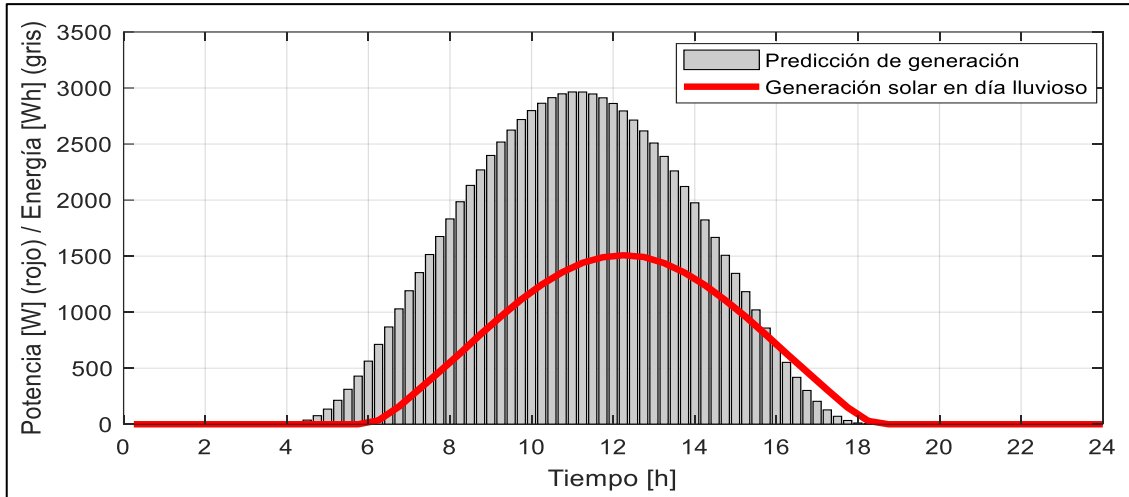


Ilustración 42-3: Predicción de generación de un día lluvioso.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La entrada correspondiente a la predicción de la demanda de energía desde las cargas de cálculo aplicando el mismo algoritmo de ventana deslizante, pero considerando el perfil de consumo asociado a las cargas. En este caso se utilizó un tamaño de ventana de 20 muestras que corresponde a 2 horas considerando que el tiempo de muestreo del perfil de demanda de las cargas es de 0.1 horas. La Ilustración 42-3: ejemplifica el comportamiento del algoritmo de ventana deslizante para el perfil de consumo de carga media.

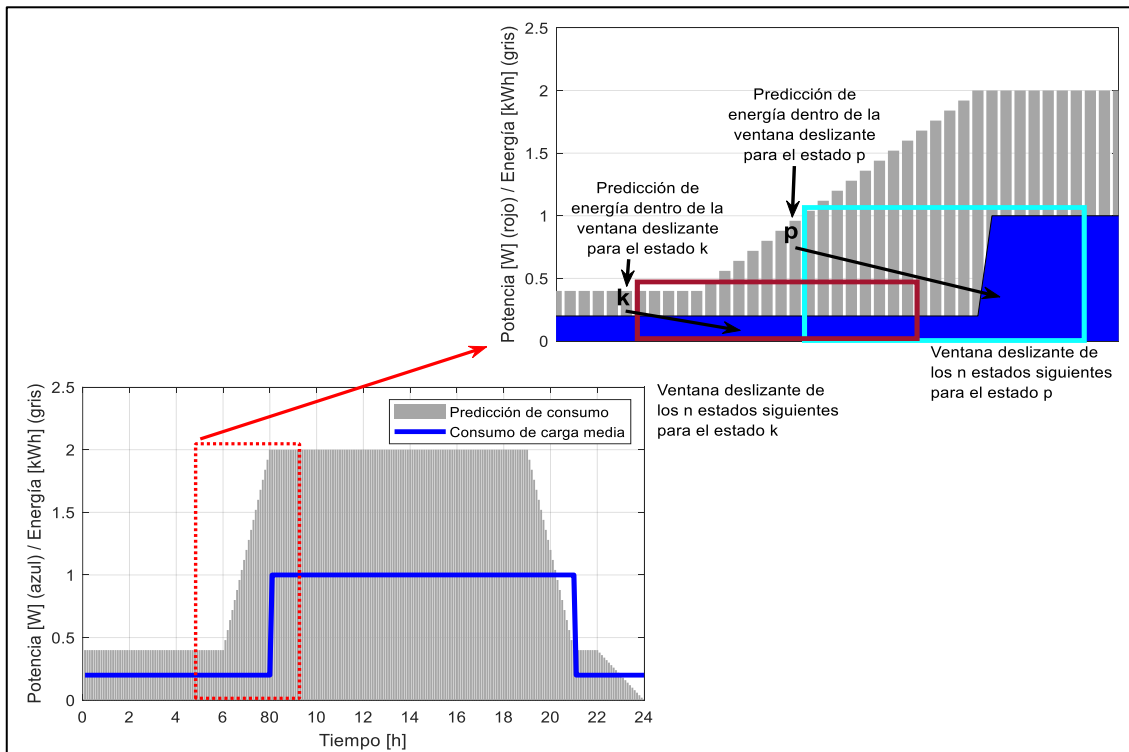


Ilustración 43-3: Método de ventana deslizante aplicado a un perfil de consumo.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La Ilustración 43-3: y la Ilustración 44-3: definen las estimaciones de consumo de energía que se realizaron para los perfiles de consumo de cargas standard y máximo, respectivamente.

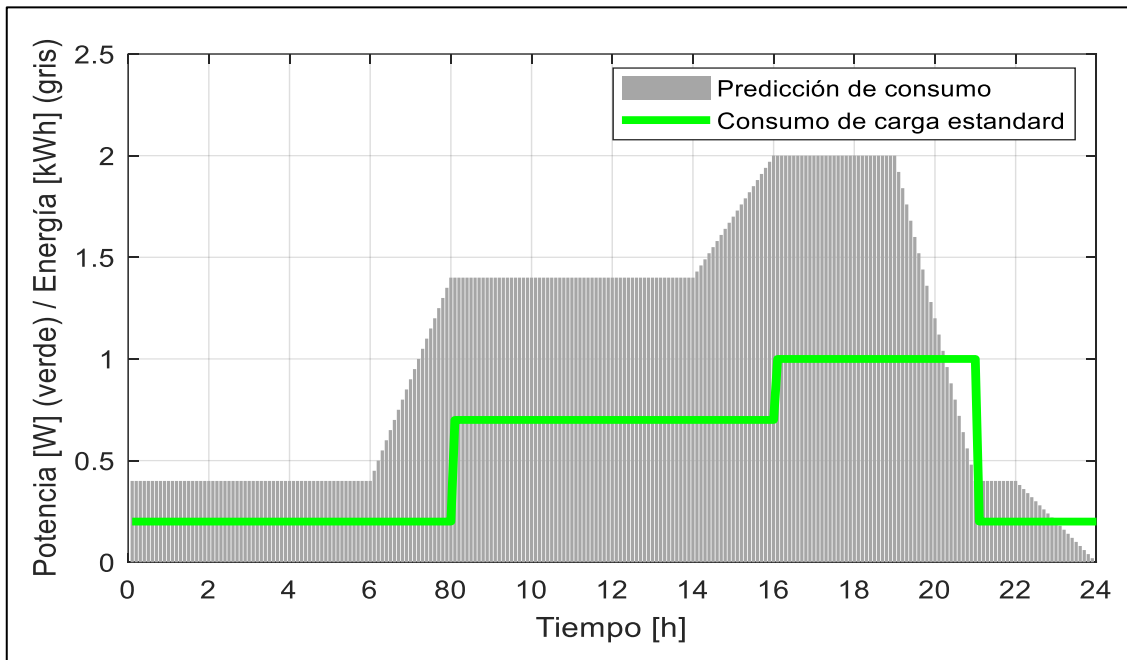


Ilustración 44-3: Predicción de consumo de una carga estándar.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

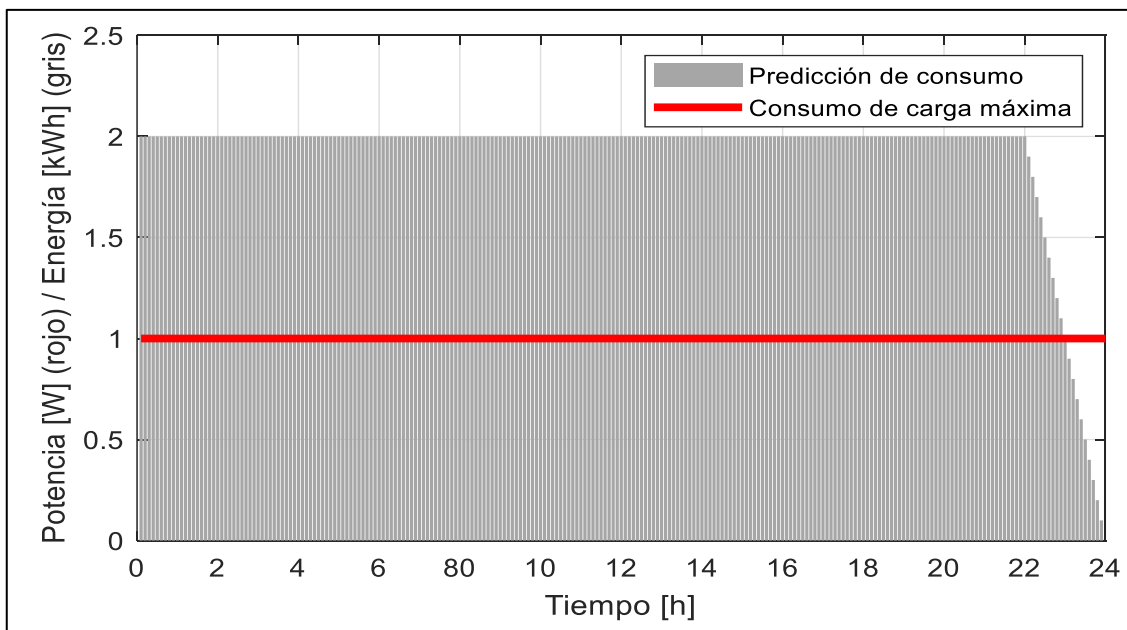


Ilustración 45-3: Predicción de consumo de una carga máxima.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Por último, se determinó la operación del control difuso que relaciona las entradas y la salida la cual requiere de un conjunto de reglas que permitan determinar el comportamiento para la operación de la batería. El conjunto de reglas se evalúa en paralelo y se activan únicamente

aquellas que entren dentro del proceso de inferencia difusa. Las diferentes funciones lingüísticas para una misma regla se relacionan mediante el operador AND. El cálculo de la salida se realiza mediante el método del centroide o centro de masa.

La Tabla 29-3: y la Tabla 30-3: resumen las reglas que se han definido como adecuadas para el funcionamiento del sistema y que han sido obtenidas mediante un proceso de experimentación y reforzamiento hasta alcanzar la respuesta deseada.

La lectura de las reglas difusas para la Tabla 29-3: se puede interpretar, a manera de ejemplo, de la siguiente manera:

IF $P_EXC=N_EXC$ AND $SOC_BAT=LOW_BAT$ AND $PRE_GEN=LOW_GEN$ AND $PRE_DEM=LOW_DEM$ THEN $P_BAT=LOW_P_BAT$.

Tabla 29-3: Reglas difusas cuando el excedente es negativo.

P_EXC = N_EXC				
	LOW_BAT		PRE_DEM	
		LOW_DEM	MED_DEM	HIG_DEM
PRE_GEN	LOW_GEN	LOW_P_BAT	LOW_P_BAT	LOW_P_BAT
	MED_GEN	MED_BAT	LOW_P_BAT	LOW_P_BAT
	HIG_GEN	MED_P_BAT	MED_P_BAT	LOW_P_BAT
	MED_BAT		PRE_DEM	
		LOW_DEM	MED_DEM	HIG_DEM
PRE_GEN	LOW_GEN	HIG_P_BAT	MED_P_BAT	MED_P_BAT
	MED_GEN	HIG_P_BAT	HIG_P_BAT	MED_P_BAT
	HIG_GEN	HIG_P_BAT	HIG_P_BAT	HIG_P_BAT
	HIG_BAT		PRE_DEM	
		LOW_DEM	MED_DEM	HIG_DEM
PRE_GEN	LOW_GEN	HIG_P_BAT	MED_P_BAT	MED_P_BAT
	MED_GEN	HIG_P_BAT	HIG_P_BAT	MED_P_BAT
	HIG_GEN	HIG_P_BAT	HIG_P_BAT	HIG_P_BAT

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La lectura de las reglas difusas para la Tabla 30-3: se puede interpretar, a manera de ejemplo, de la siguiente manera:

IF $P_EXC=P_EXC$ AND $SOC_BAT=MED_BAT$ AND $PRE_GEN=HIG_GEN$ AND $PRE_DEM=MED_DEM$ THEN $P_BAT=MED_N_BAT$.

Tabla 30-3: Reglas difusas cuando el excedente es positivo.

P_EXC = P_EXC				
LOW_BAT		PRE_DEM		
		LOW_DEM	MED_DEM	HIG_DEM
PRE_GEN	LOW_GEN	HIG_N_BAT	HIG_N_BAT	HIG_N_BAT
	MED_GEN	HIG_N_BAT	HIG_N_BAT	HIG_N_BAT
	HIG_GEN	HIG_N_BAT	HIG_N_BAT	HIG_N_BAT
MED_BAT		PRE_DEM		
		LOW_DEM	MED_DEM	HIG_DEM
PRE_GEN	LOW_GEN	HIG_N_BAT	HIG_N_BAT	HIG_N_BAT
	MED_GEN	HIG_N_BAT	HIG_N_BAT	HIG_N_BAT
	HIG_GEN	MED_N_BAT	MED_N_BAT	MED_N_BAT
HIG_BAT		PRE_DEM		
		LOW_DEM	MED_DEM	HIG_DEM
PRE_GEN	LOW_GEN	MED_N_BAT	MED_N_BAT	MED_N_BAT
	MED_GEN	MED_N_BAT	MED_N_BAT	MED_N_BAT
	HIG_GEN	LOW_N_BAT	LOW_N_BAT	LOW_N_BAT

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Aplicando las reglas difusas y las diferentes funciones de membresía antes detalladas, se obtienen varias superficies que describen el comportamiento del control difuso como se puede observar en la Ilustración 46-3:, la Ilustración 47-3: y la Ilustración 48-3: para la superficie de control (SC) para la salida P_BAT.

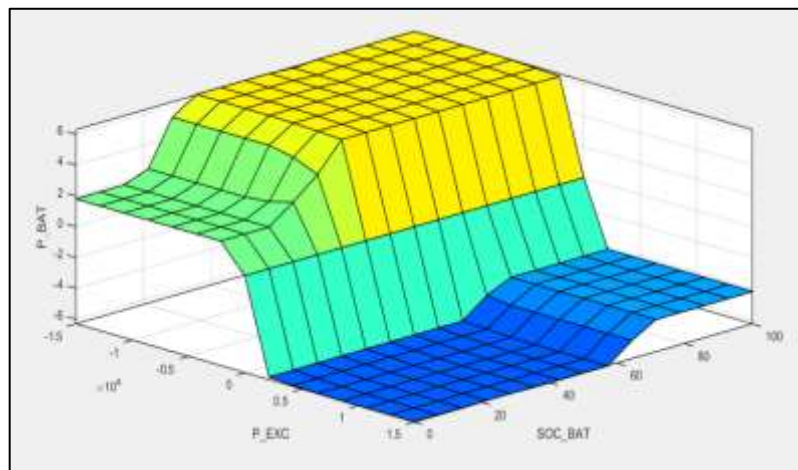


Ilustración 46-3: SC en función de las entradas P_EXC y SOC_BAT.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

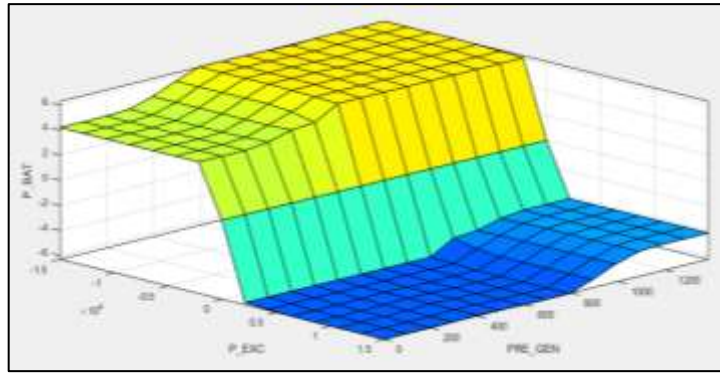


Ilustración 47-3: SC en función de las entradas P_EXC y PRE_GEN.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

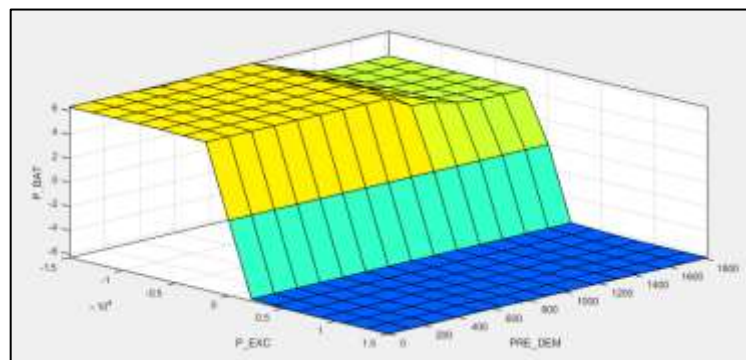


Ilustración 48-3: SC en función de las entradas P_EXC y PRE_DEM.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

El algoritmo de control se representa en la Ilustración 49-3: como un diagrama de flujo.



Ilustración 49-3: Diagrama de Flujo del Control Difuso.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.12. Diseño de la interfaz para el sistema de monitoreo

Para el sistema de monitoreo se requiere poder visualizar los los valores instantáneos del sistema como el consumo energético del edificio, la generación de los paneles solares y el nivel de carga de la batería, que son los valores más importantes. Además, también se podrán observar las gráficas de generación y consumo, así como también de históricos de energía como se muestra en la Ilustración 50-3: y la Ilustración 51-3:.



Ilustración 50-3: Previsualización del sistema de monitoreo.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

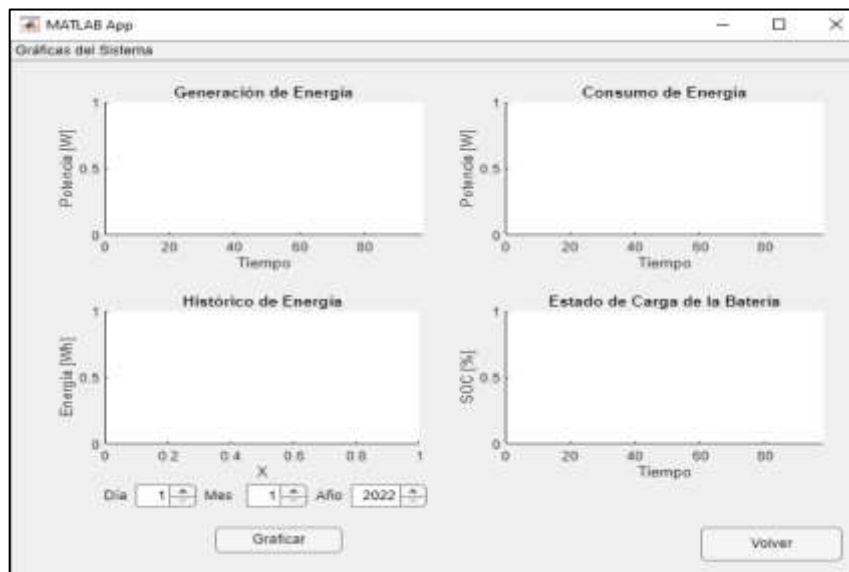


Ilustración 51-3: Previsualización del sistema mediante graficas.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.13. Implementación in situ de la estación fotovoltaica

La instalación del sistema solar fotovoltaico ha sido implementada en el edificio de robótica de la FIE perteneciente a la ESPOCH en la Panamericana Sur km 1 1/2, Riobamba-Ecuador, siendo el espacio de laboratorios para docencia y prácticas para los estudiantes. Con las características de Área disponible en el techo de 17m de largo por 5 metros de ancho dando un total de 85 m² para uso de la instalación en la losa como se puede observar en la Ilustración 52-3:



Ilustración 52-3: Edificio de Robótica de la FIE.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Según la sección 3.5.2 la distribución de los 16 paneles se estableció en 4 ramas de 4 paneles en serie, dada estructura de instalación amerito una estructura física de aluminio que se realizó mediante un diseño previo que se observa en la Ilustración 53-3: la cual tiene como objetivo que los cuatro paneles por rama se instalen a un ángulo de treinta grados ya que al estar en la zona ecuatorial es el ángulo reglamentario para aprovechar al máximo la capacidad solar.

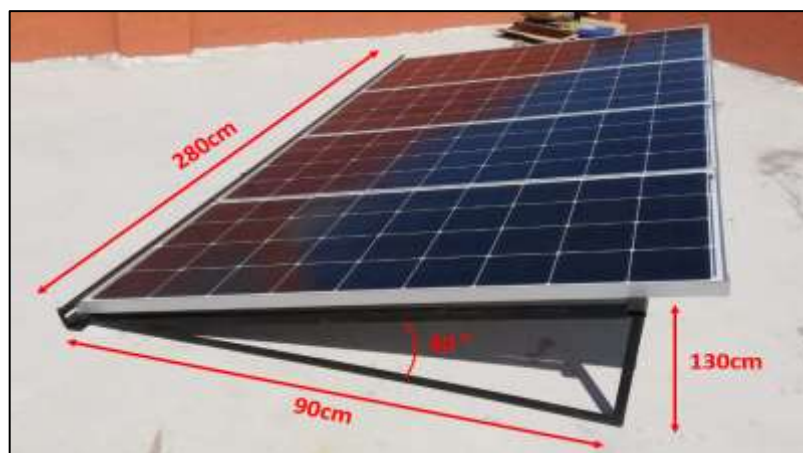


Ilustración 53-3: Diseño de la estructura de soporte para paneles.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Posterior al diseño de la estructura se procedió a la instalación de todas las ramas de paneles en la losa con una sujeción al piso para mayor fijación como se muestra en la Ilustración 54-3:.



Ilustración 54-3: Ramas de paneles instalados.

Realizado por: **Falcón, B.; Velásquez, A. 2022**

Las conexiones de los paneles se realizaron utilizando el cable que se explica en la sección 3.5.2 como protección extra al cableado se impermeabilizó utilizando mangueras para exterior con sujeción al piso. Dichas conexiones ingresan a la caja de distribución ubicada en la última rama de paneles solares fijado a la estructura de aluminio como se observa en la Ilustración 55-3:.



Ilustración 55-3: Conexión de paneles.

Realizado por: **Falcón, B.; Velásquez, A. 2022**

3.14. Montaje del tablero de control

Para el montaje del tablero de control, como se observa en la Ilustración 56-3:, se distribuyeron los elementos como se especifica en la sección 3.5.7, donde se establece una zona para el RCC

que es el módulo de control, otra zona para la tarjeta de comunicación y su pasarela y por último una zona de conexiones y protecciones del sistema.

Del RCC sale un cable serial para la conexión de comunicación con el Controlador de Carga. La tarjeta de comunicación y su pasarela ethernet están conectadas mediante un cable serial RS-232, la tarjeta de comunicación está conectada a través de otro cable serial al Inversor para cerrar el circuito de comunicación. La pasarela Ethernet se conecta a un punto de internet dentro de la sala de máquinas donde se encuentran ubicados los equipos y el tablero de control.

Partiendo en orden en la zona de conexiones, se encuentra la entrada de energía proveniente de los paneles solares, la cual entra al Surge Arrestor para tener una protección contra rayos, y en paralelo esta entrada de los paneles se dirige hacia la protección DC para evitar problemas con la entrada de energía. La salida de esta protección de DC se conecta al Controlador de Carga.

De la red eléctrica general se conectan una fase y un neutro al Inversor utilizando borneras y a su vez del Inversor salen una fase y un neutro y se dirigen a la protección AC, siendo la salida en corriente alterna del sistema de generación fotovoltaica que se encarga de alimentar las cargas conectadas.

Por último, se encuentra un puente de tierras de todos los equipos del sistema, cuya salida es conectada a la tierra del tablero de distribución principal del edificio.

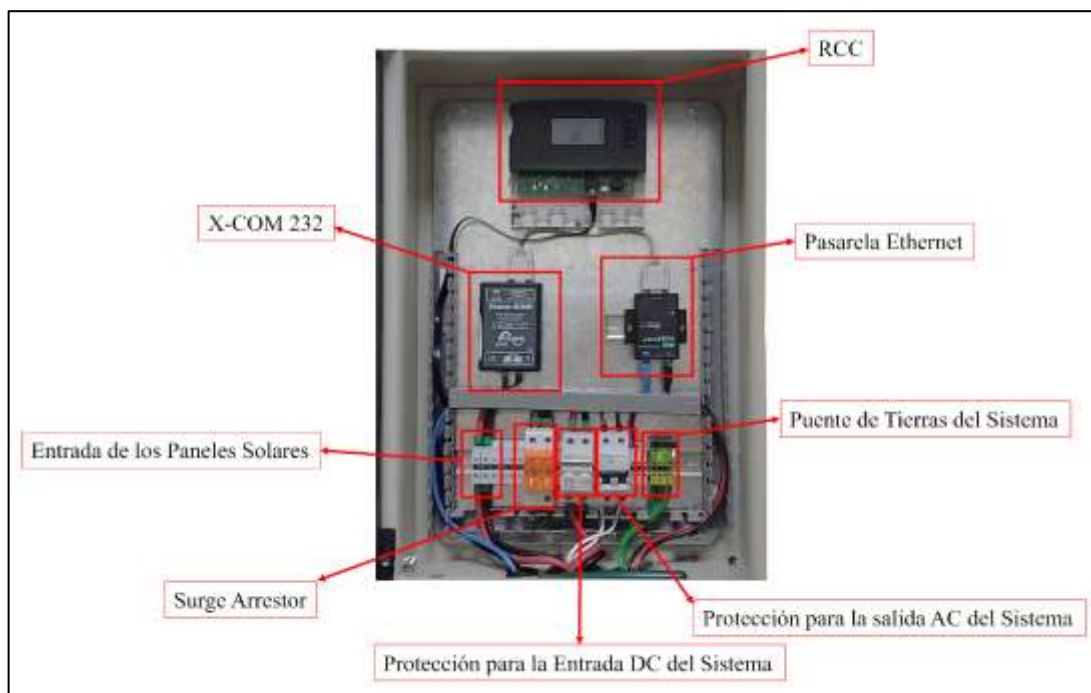


Ilustración 56-3: Montaje del tablero de control.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.15. Montaje del controlador de carga solar e inversor

Los equipos fueron montados sobre la pared cerca del tablero de control. Empezando por el controlador de carga solar como se detalla en la Ilustración 57-3:, al montarse en la pared se debe conectar también su ventilador en la parte superior para ayudar con el enfriamiento del equipo y evitar errores por sobrecalentamiento. Se configura según el uso que se le va a dar con un dip switch y a continuación se conecta los cables de salida de los paneles solares que pasan por la protección DC a la entrada “FV”, ubicando correctamente positivos y negativos. Las salidas positivas y negativas del banco de baterías deben conectarse a las borneras ubicadas en la sección “BATTERY”. En la zona de comunicación se conectar un cable al RCC y otro cable de comunicación hacia el inversor para generar una red de comunicación entre los equipos. Por último, se utiliza un cable de tierra para protección del equipo, el cual se dirige al puente de tierras en el tablero de control.

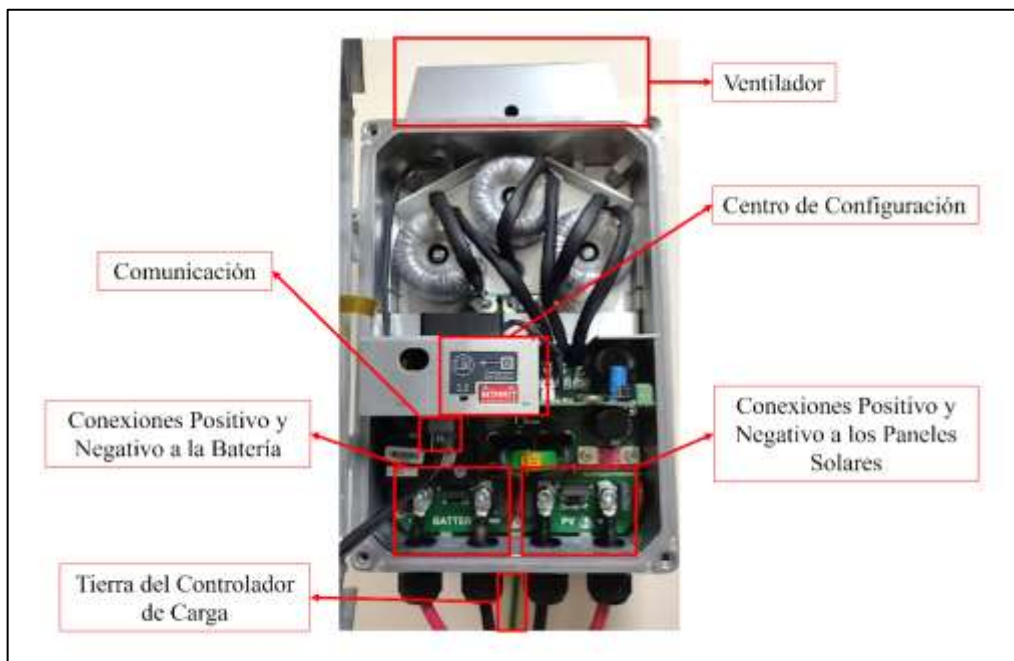


Ilustración 57-3: Montaje del controlador de carga solar.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Para el inversor como se observa en la Ilustración 58-3: también debe conectar su ventilador correspondiente en el parte superior seguido de su instalación, para evitar problemas de sobrecalentamiento. Al igual que en el controlador de carga, se debe conectar el banco de baterías en sus borneras de positivo y negativo. En la zona de entradas y salidas AC, la entrada AC es conectada a la red de distribución del edificio y la salida AC se conecta a una protección AC que se encuentra en el tablero de control y la salida de la protección se dirige a las cargas seleccionadas

dentro del edificio. En la zona de comunicación se conecta el cable que viene desde el controlador de carga y sale otro cable que se dirige a la tarjeta de comunicación. Por último, de la zona de entradas y salidas AC también sale un cable de tierra que junto con la tierra del inversor se dirigen al puente de tierras en el tablero de control.

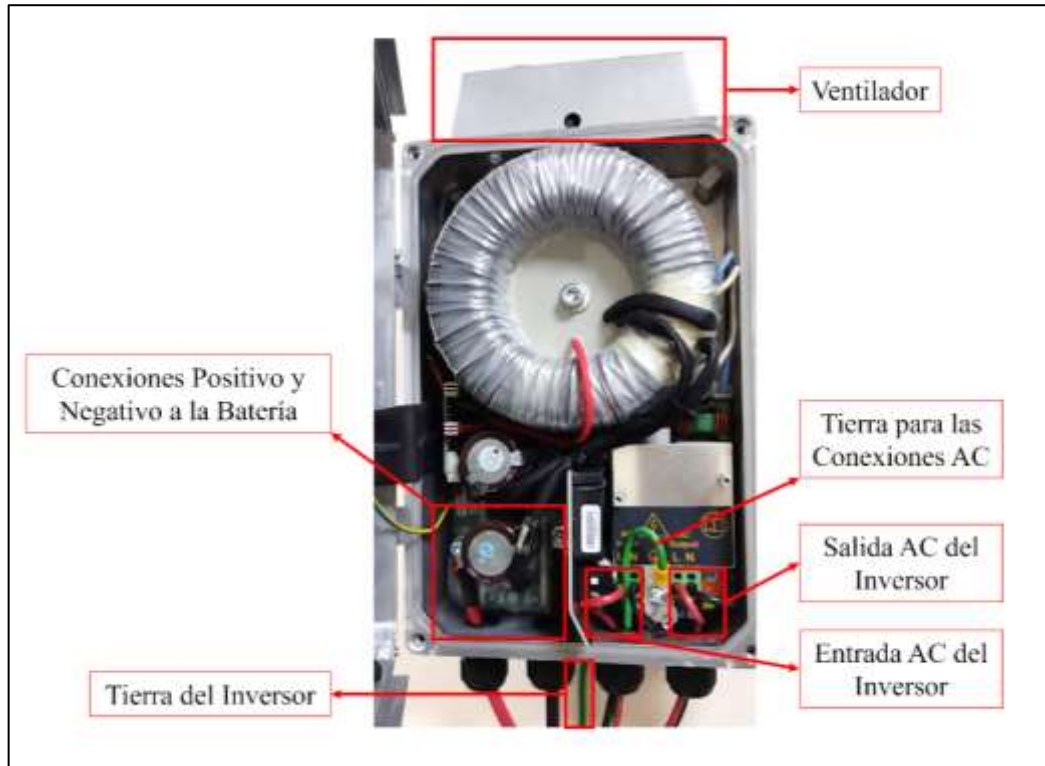


Ilustración 58-3: Montaje del inversor.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.16. Conexión con el Sistema de monitoreo de STUDER para el SSF

El sistema de equipos de la marca STUDER se dedica a realizar equipos para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos apostando por el futuro de la gestión energética, tanto para sistemas particulares o públicos. Con los avances tecnológicos los sistemas de STUDER se ha ido actualizando para ofrecer facilidad de control. Es por eso que los equipos de STUDER se conectan a la red de internet como se menciona en la 3.2.2 teniendo un portal de visualización de la estación por una página web restringida a un código único de los equipos, así como a través de una aplicación móvil. La ilustración Ilustración 59-3: muestra la página de inicio del SSF.

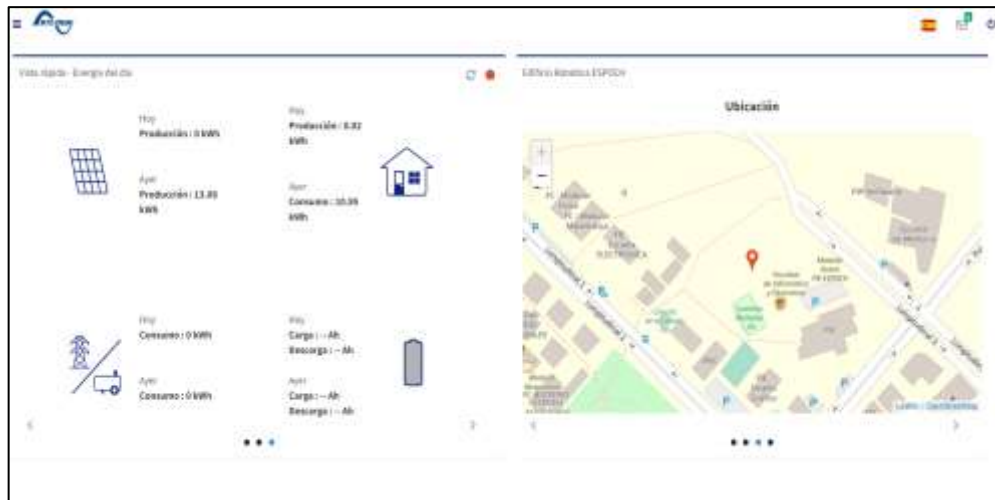


Ilustración 59-3: Sistema de monitoreo STUDER.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

El portal de STUDER permite monitorear los gráficos tanto de los sistemas de potencia, de energía y la tensión de la batería en un lapso de tiempo desde que el SSF fue conectado a través de la tarjeta de comunicación, como se muestra en la Ilustración 60-3: se muestra las gráficas de producción de tres días seleccionados por el usuario.



Ilustración 60-3: Sistema de monitoreo STUDER.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La ventaja principal que tiene el sistema de monitoreo STUDER es poder modificar las consignas de operación desde la aplicación de manera remota, así como a través de la página web. Este sistema permite que el usuario implemente su propio control y realice los cambios desde el portal

monitoreando si el sistema mejora o empeora con las consignas asignadas como se observa en la Ilustración 61-3:

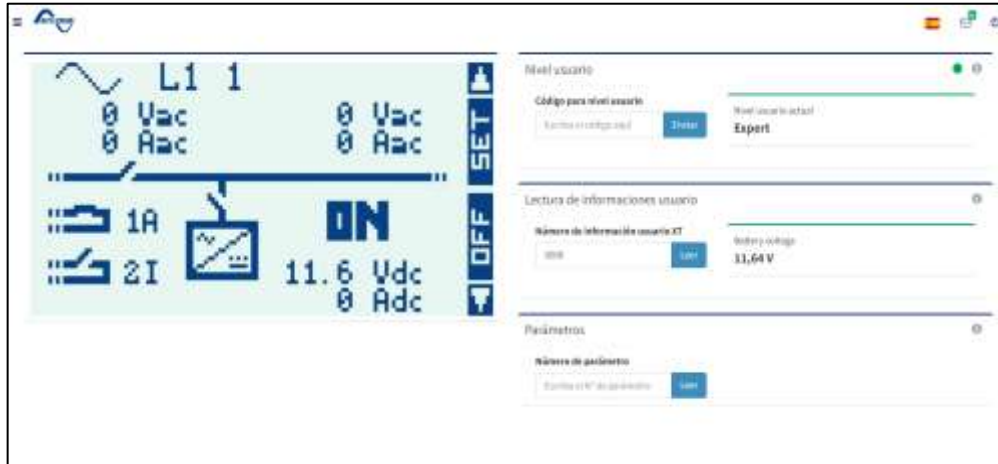


Ilustración 61-3: Control a distancia STUDER.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.17. Implementación de las consignas de control en el SSF.

Para implementar las consignas de control en el sistema solar fotovoltaico, es necesario primero obtener resultados del modelo de simulación para llegar a una conclusión de cuales son los valores que se utilizarán para modificar los parámetros de control.

Teniendo en cuenta que la salida del control difuso (CD) es la potencia a la que se carga o descarga la batería se buscó una forma de modificar estos valores dentro del control de STUDER. Solo se puede modificar el parámetro de la corriente máxima de carga, siendo esta la variable con la que se trabajó. Para poder modificar esta variable es necesario cambiar el nivel de usuario a Experto insertando el código: 426468.

En la Ilustración 62-3: se observa cómo se procedió a determinar el valor de la consigna de control utilizando los resultados de simulación. El parámetro 10002 pertenece a la corriente de carga del banco de baterías y el 48 hace referencia a los 48V pertenecientes a la tensión en las borneras del banco de baterías.

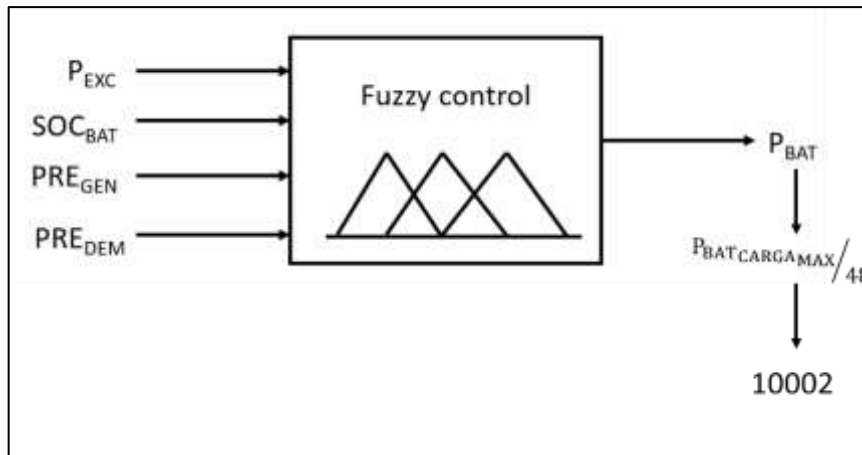


Ilustración 62-3: Aplicación del resultado del CD para obtener CC.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

3.18. Implementación del sistema de monitoreo.

Como se menciona en la sección anterior, el sistema de monitoreo ofrece la capacidad de observar los valores históricos de un día, de manera más fácil y gráfica. Se utilizó el App Designer de MATLAB, donde seleccionar los registros utilizando “spinners” que permiten escribir un número o utilizar flechas para aumentar o disminuir el número dentro de un rango específico, es de esta forma que se elige el día, mes y año en el que se quiere buscar los datos históricos.

Con la fecha es posible distinguir entre los diferentes archivos de históricos guardados como CSV (Comma Separated Values) y se puede visualizar las diferentes variables del sistema registradas en estos respaldos según sea necesario. En el panel principal se puede observar como en la Ilustración 63-3: los datos energéticos tanto de consumo, generación, carga de la batería y suministro de la red. En el panel de gráficas de la Ilustración 64-3: es posible observar las curvas de generación y consumo del día así como también el balance energético. En el panel de equipos de la Ilustración 65-3: se detalla la energía con la que trabajó tanto el inversor como el controlador de carga. El código perteneciente a cada panel del sistema de monitoreo se especifica en el ANEXO K:, ANEXO L: y el ANEXO M:

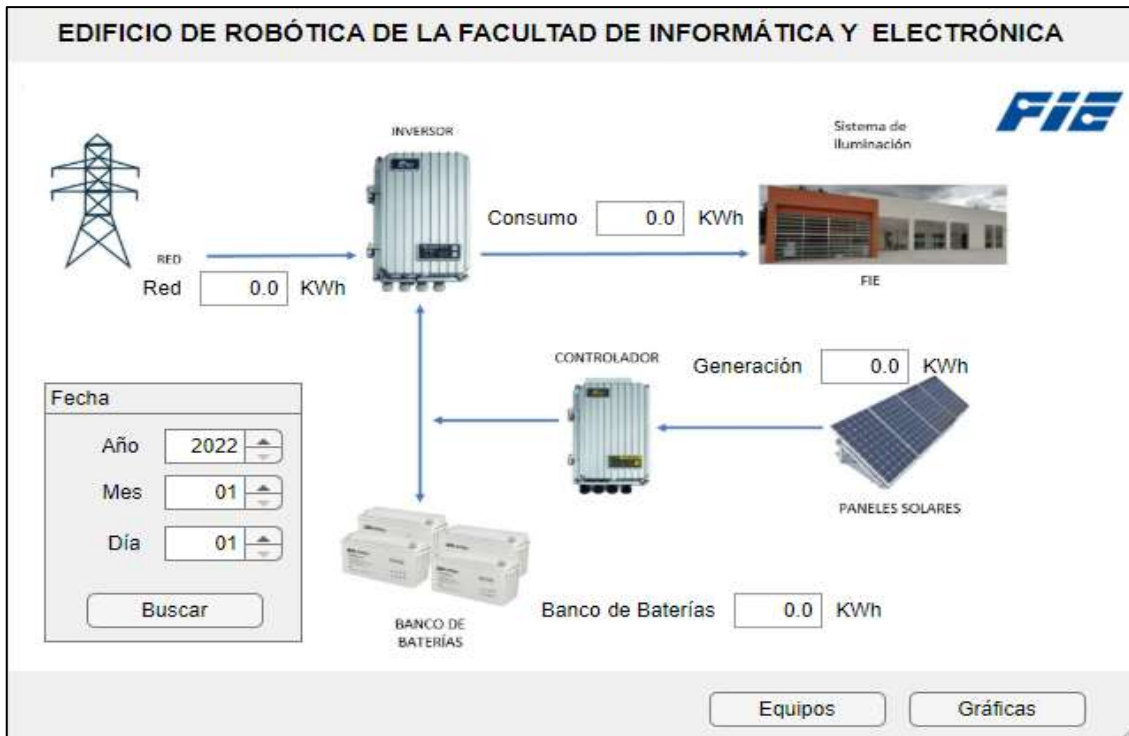


Ilustración 63-3: Implementación del panel principal del sistema de monitoreo.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

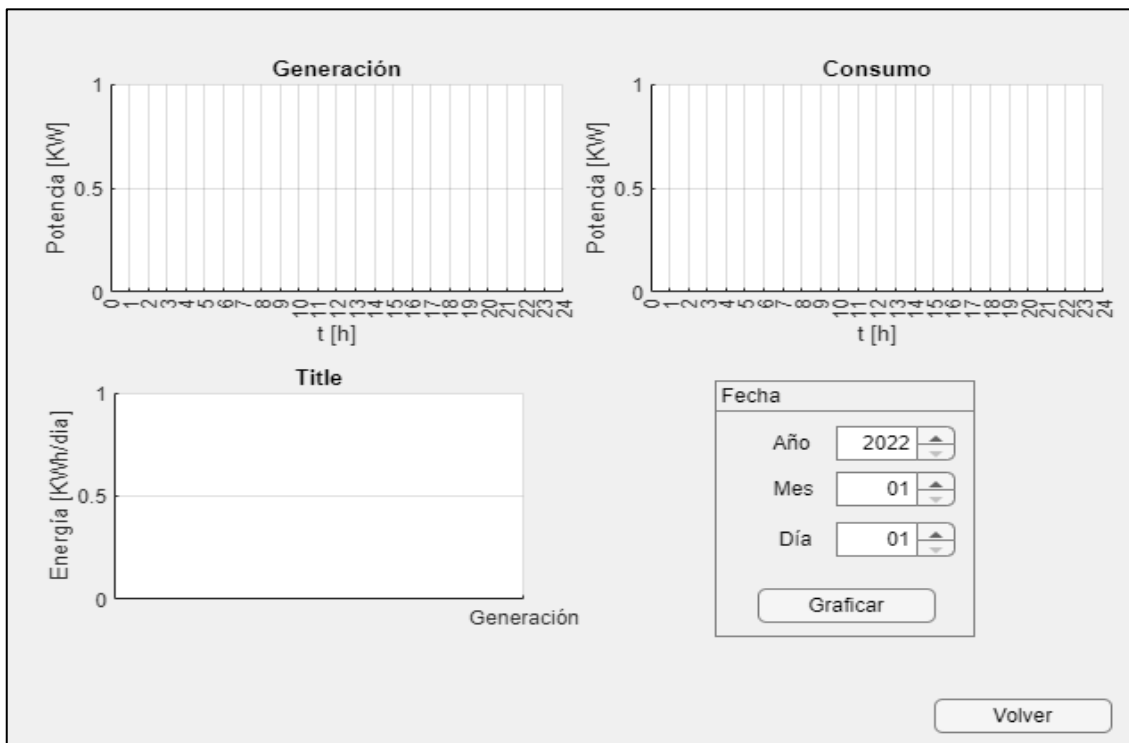



Ilustración 64-3: Implementación del panel de gráficas del sistema de monitoreo.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Controlador de Carga




Voltaje Promedio V

Corriente Ah/dia

Energía KWh/dia

Inversor



Voltaje Promedio V

Corriente Ah/dia

Energía KWh/dia

Fecha

Año ▲▼

Mes ▲▼

Día ▲▼

Ilustración 65-3: Implementación del panel de equipos del sistema de monitoreo.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de las pruebas de simulación y experimentales realizadas sobre el sistema solar fotovoltaico y comparativas del control basado en lógica difusa aplicado a la gestión energética del mismo. En la parte final se presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

4.1. Sistema de control aplicado al modelo de simulación.

Para probar el sistema de control basado en lógica difusa utilizado en la gestión de energía del sistema solar fotovoltaico es necesario evaluar su funcionamiento en el modelo de simulación aplicándolo en diferentes escenarios para determinar que su comportamiento es el correcto. Estos escenarios al igual que en la sección 3.1.1, donde se estructura el algoritmo de control, dependen de los perfiles de generación y de demanda.

4.1.1. Pruebas de simulación para un día soleado.

En la Ilustración 1-4: se puede observar el perfil de generación para un día soleado, cuya potencia máxima es de 4KW (pero por las pérdidas posibles se utilizará un máximo de 3.8 KW), y el perfil de demanda, perteneciente a una demanda estándar, que tiene una potencia máxima de 1KW. De igual forma se observa la potencia del banco de baterías la cual determina si se está cargando (potencia negativa) o descargando (potencia positiva) y se corresponde a la salida del control Fuzzy. Por último, se observa en la Ilustración 2-4: el SOC del banco de baterías. Estas gráficas representan las 24 horas de un día y con demandas (D_m) específicas.

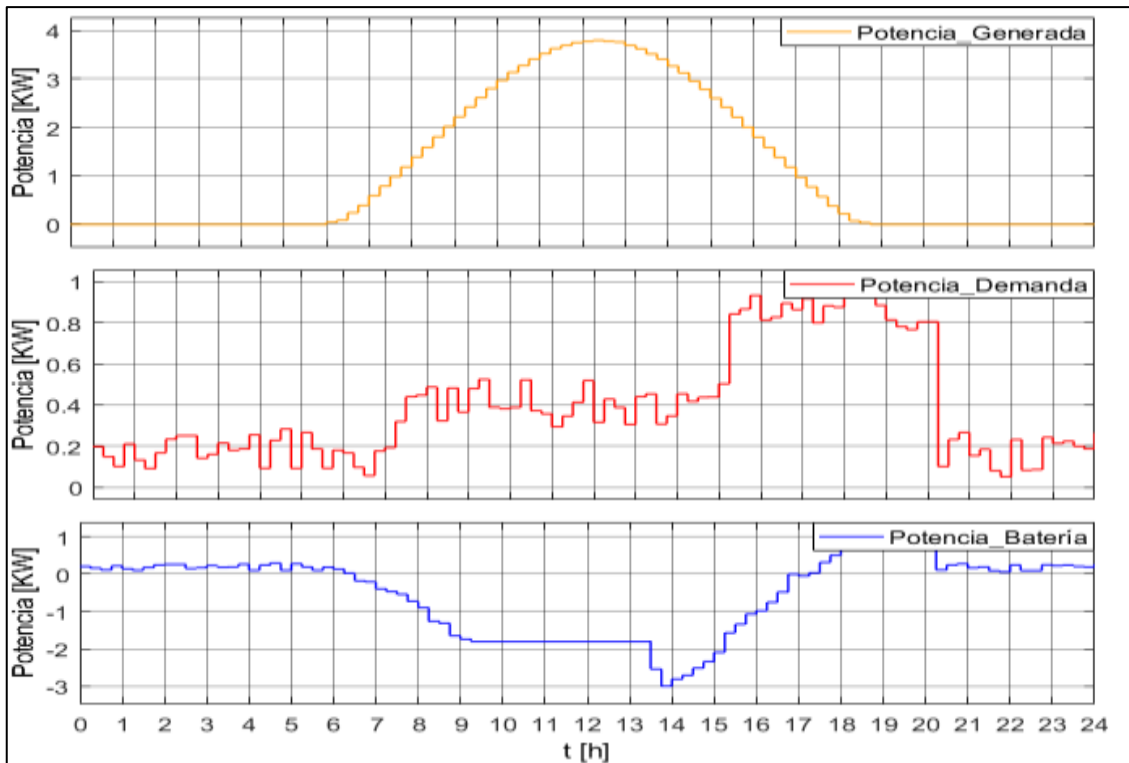


Ilustración 1-4: Comportamiento del S. simulado para un día soleado y Dm estándar.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

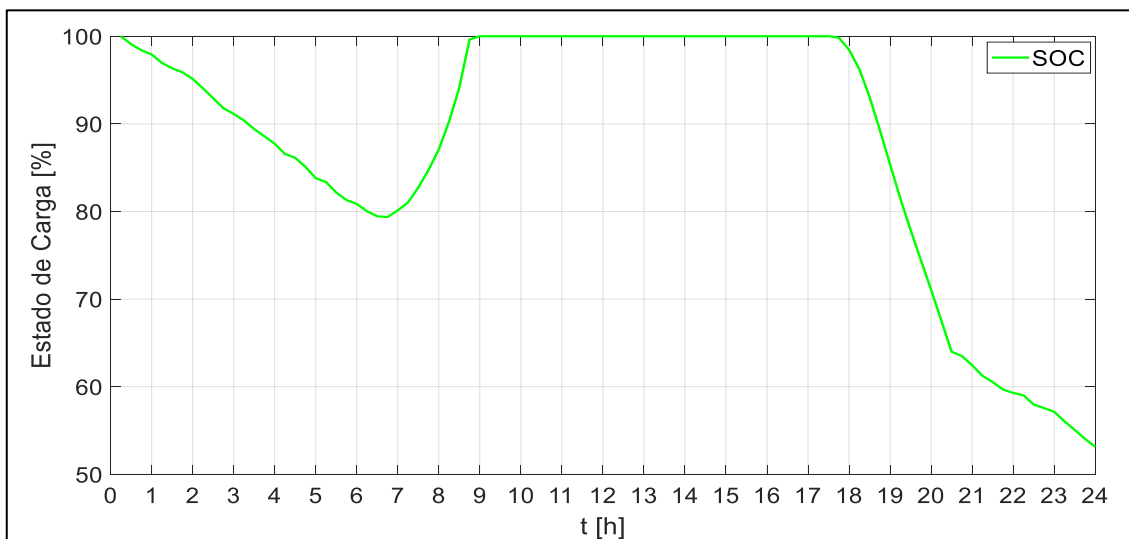


Ilustración 2-4: Comportamiento del SOC simulado para un día soleado y Dm estándar.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Al ver el SOC en la Ilustración 2-4:, se observa que al finalizar las 24 horas aún queda carga para abastecer a las demandas del siguiente día. Hasta las 6am tendrá una descarga de 20% más quedando en 35% aproximadamente.

De la misma forma en la Ilustración 3-4: y la Ilustración 5-4:, se detallan los escenarios con perfil de generación de un día soleado y perfiles para una demanda media y una demanda máxima y sus estados de carga en la Ilustración 4-4: y la Ilustración 6-4: respectivamente.

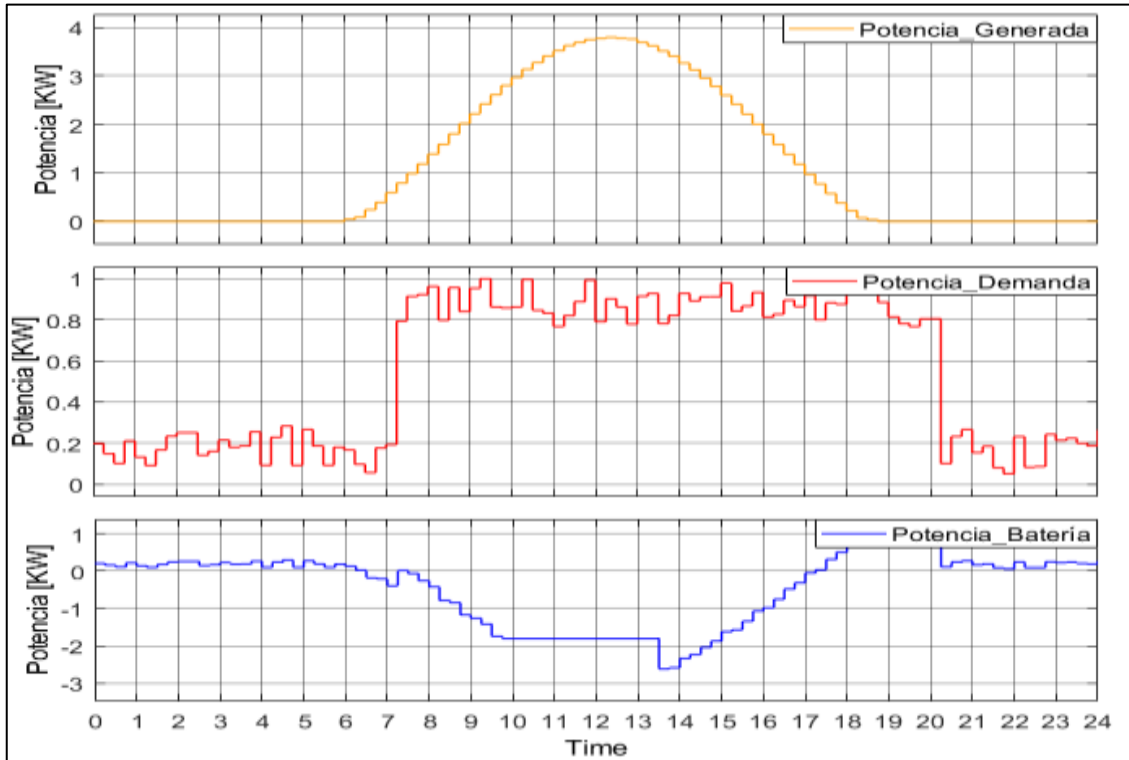


Ilustración 3-4: Comportamiento del sistema simulado para día soleado y Dm media.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

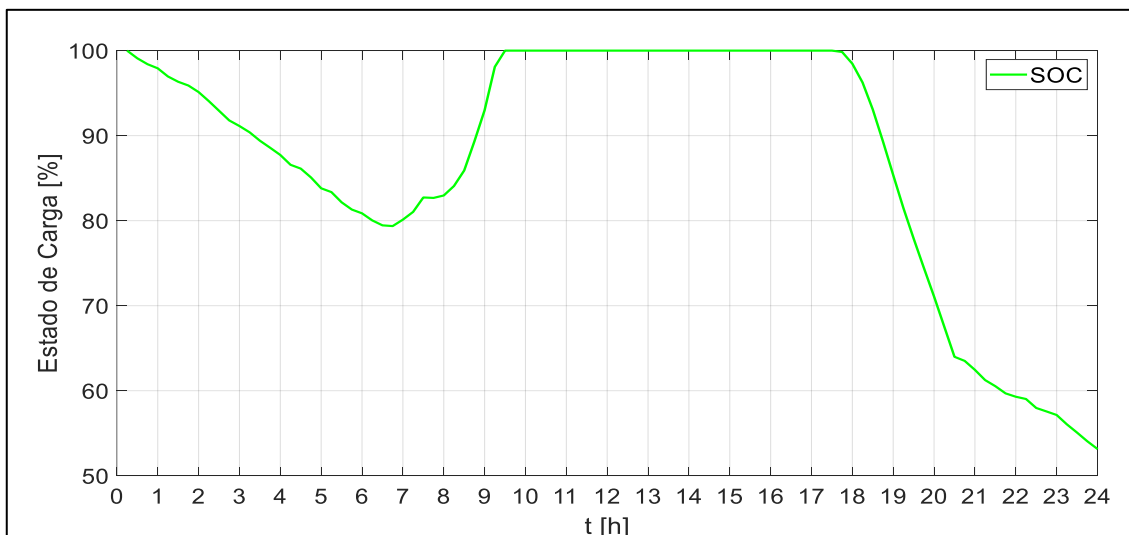


Ilustración 4-4: Comportamiento del SOC simulado para día soleado y Dm media.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

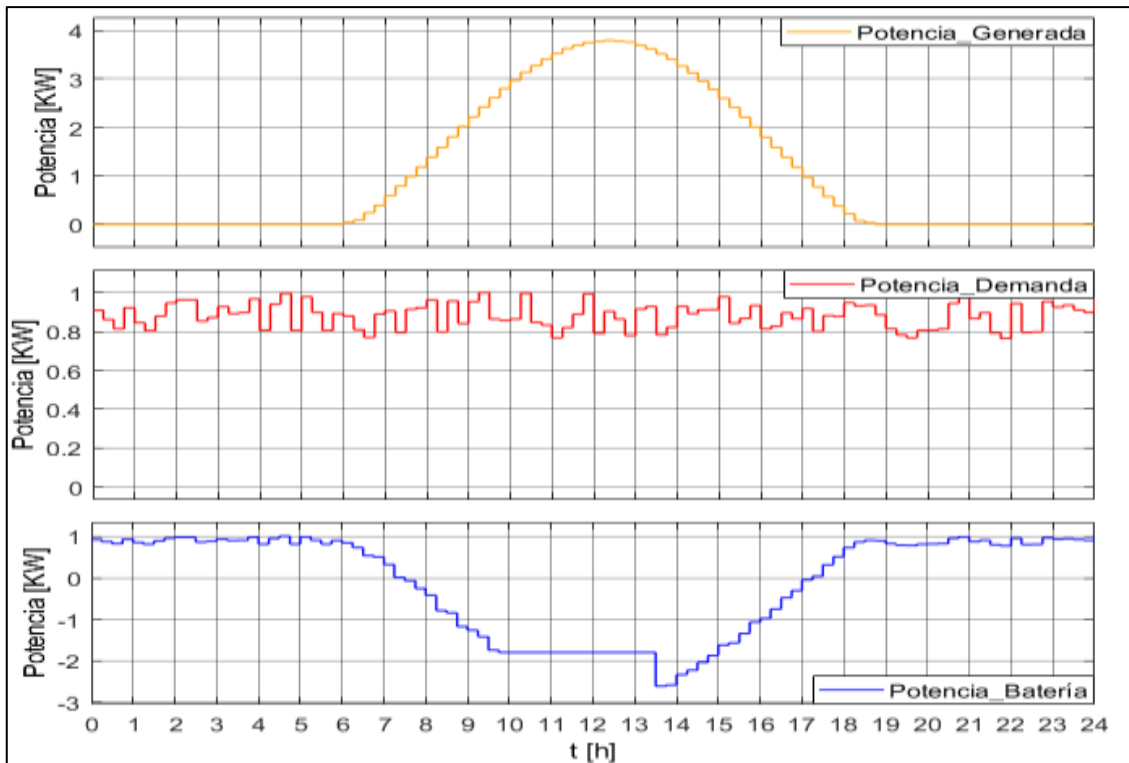


Ilustración 5-4: Comportamiento del sistema simulado para día soleado y Dm máxima.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

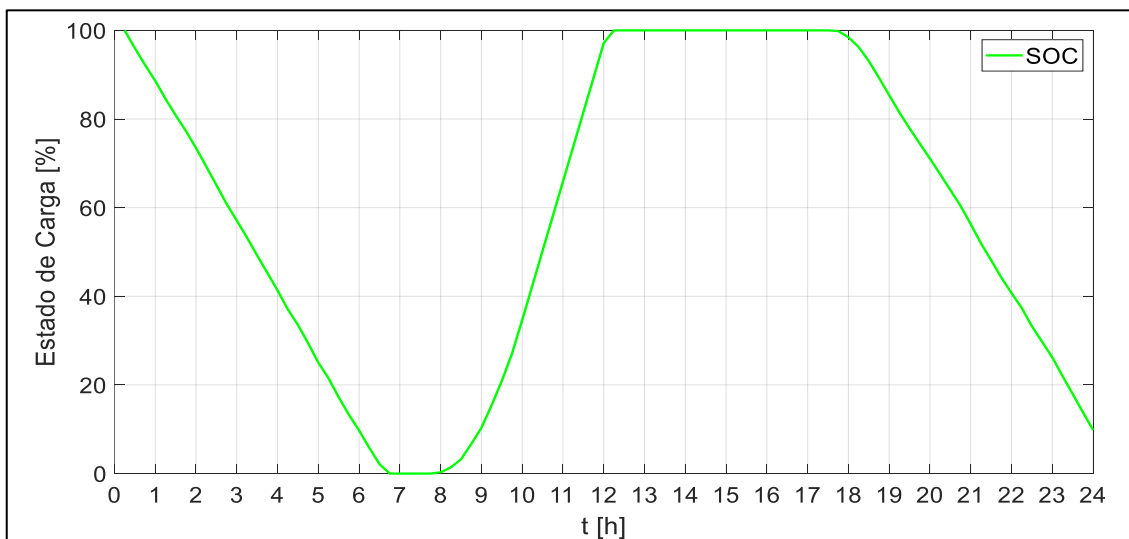


Ilustración 6-4: Comportamiento del SOC simulado para día soleado y demanda máxima.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

El SOC para una demanda media tiene un comportamiento similar al de la demanda estándar, mientras que el SOC para una demanda máxima al finalizar el día queda descargado. Para este tipo de perfil de demanda, es necesario una rama más de baterías, para mejorar la autonomía.

El resultado energético para los escenarios mostrados en la Ilustración 1-4:, Ilustración 3-4: e Ilustración 5-4: se presenta resumido en la Ilustración 7-4: y sus respectivos valores en la Tabla

1-4: El valor de balance energético es resultado de restar la generación solar menos el consumo de cargas. Mientras que el valor de carga de baterías corresponde a la energía que se almacenó en el banco de baterías. La diferencia entre el balance de energía y la carga de baterías corresponde a la energía que se inyectaría a la red eléctrica como excedente dado que esa energía ya no puede ser almacenada en el banco de baterías.

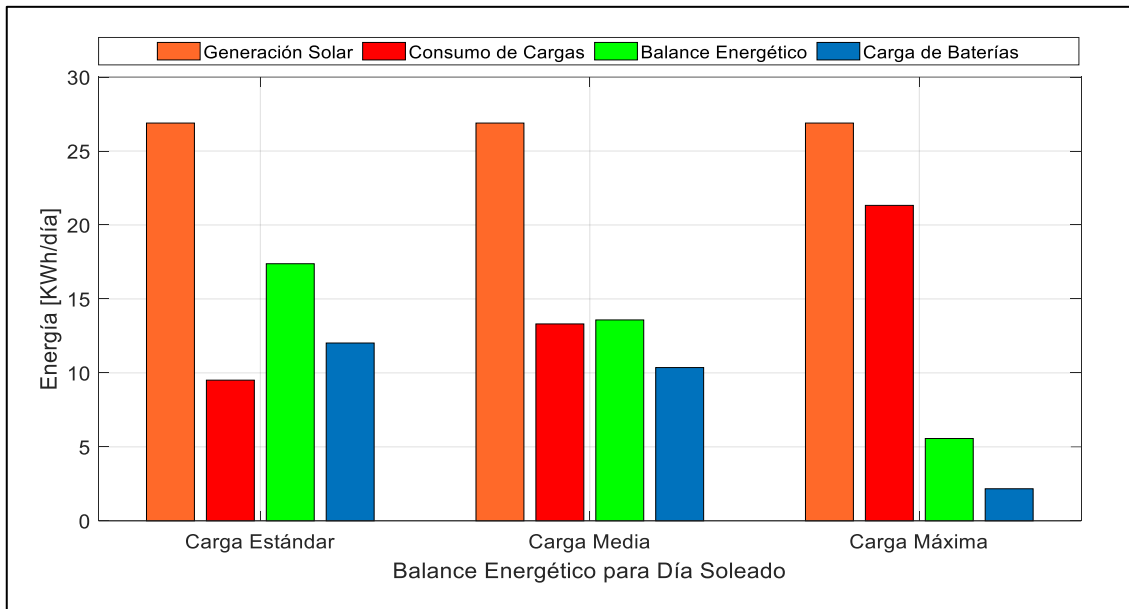


Ilustración 7-4: Balance Energético del sistema simulado para día soleado.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 1-4: Datos del balance energético para un día soleado.

Balance Energético [KWh/día]			
Perfil de Generación:	Día Soleado	26.8912	
Perfil de Demanda	Energía Demandada	Balance de Energía	Carga de Baterías
Carga Estándar	9.5106	17.3806	12.0207
Carga Media	13.3106	13.5806	10.3603
Carga Máxima	21.3263	5.5650	2.1665

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

4.1.2. Pruebas de simulación para un día nuboso.

Como se observa en la Ilustración 8-4: la potencia máxima en el perfil de generación de un día nuboso es de 2.3 KW, y las cargas que se utilizaron son las mismas descritas en la sección 4.1.1. En la Ilustración 10-4: y la Ilustración 12-4: se muestra el comportamiento del sistema ante un perfil de carga media y un perfil de carga máxima, en conjunto con su estado de carga en la Ilustración 9-4:, Ilustración 11-4: e Ilustración 13-4: respectivamente.

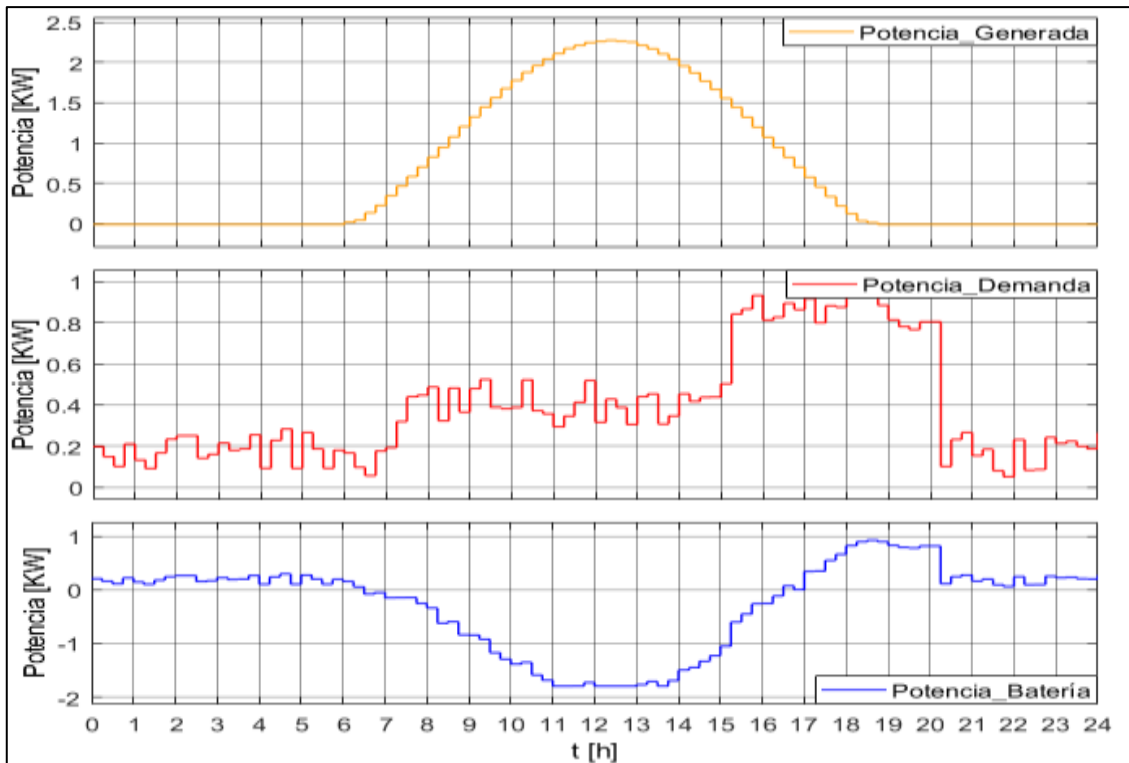


Ilustración 8-4: Comportamiento del sistema simulado para día nublado y Dm estándar.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

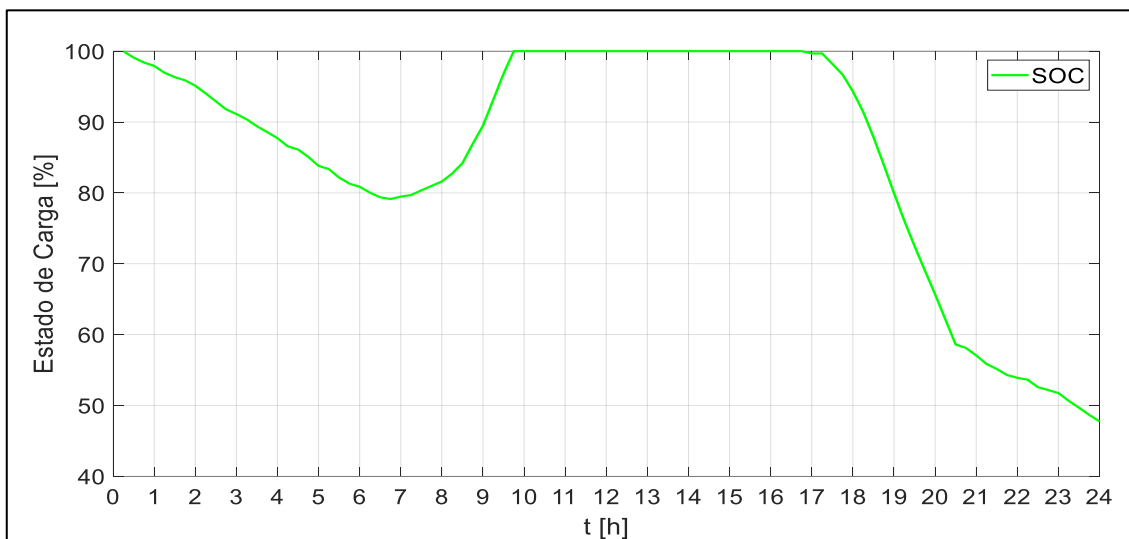


Ilustración 9-4: Comportamiento del SOC simulado para día nublado y demanda estándar.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

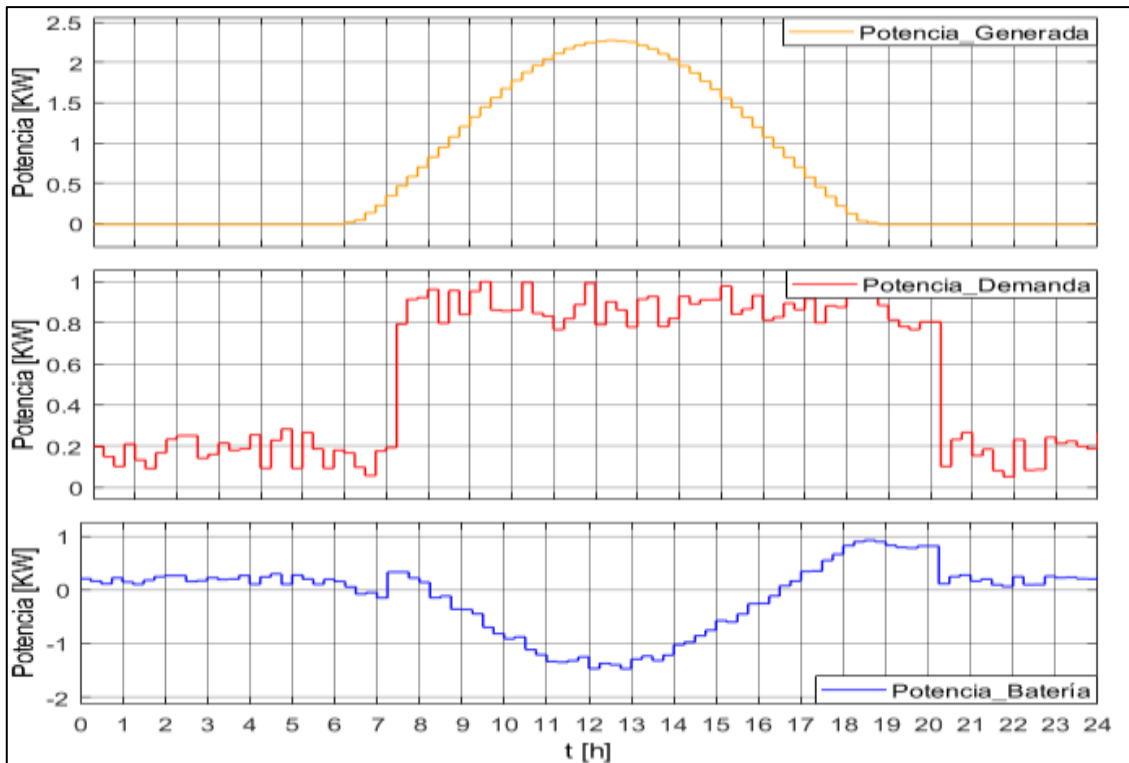


Ilustración 10-4: Comportamiento del sistema simulado para día nublado y Dm media.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

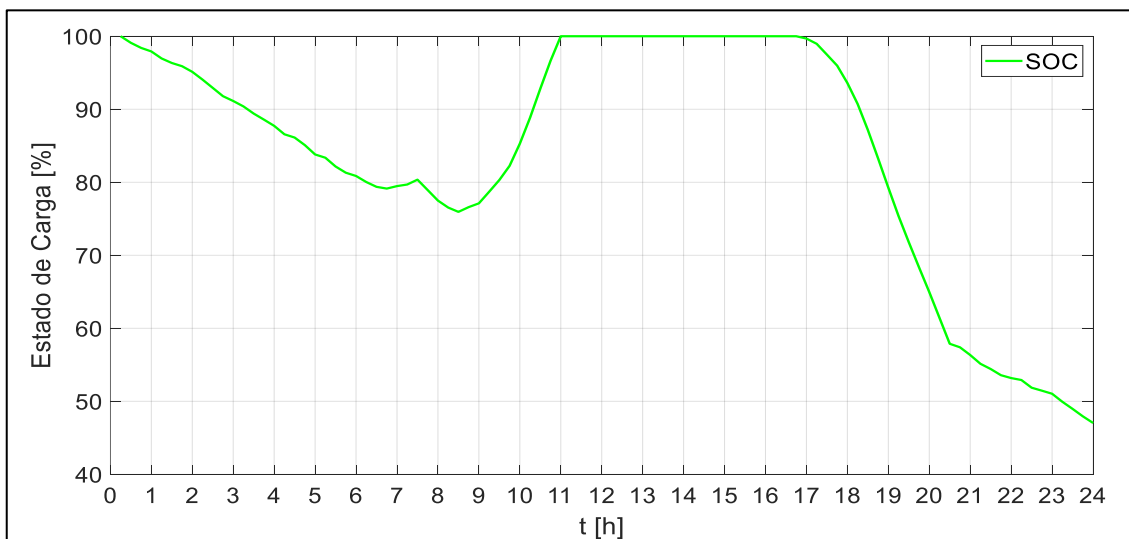


Ilustración 11-4: Comportamiento del SOC simulado para día nublado y demanda media.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

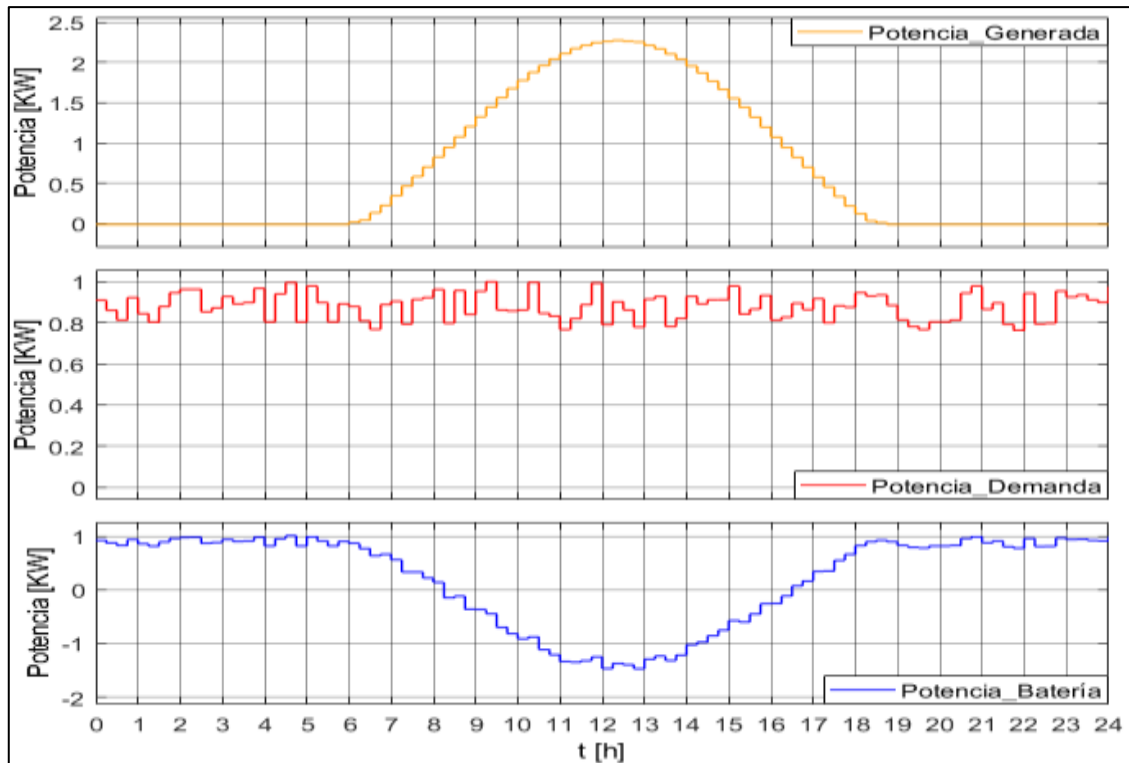


Ilustración 12-4: Comportamiento del sistema simulado para día nublado y Dm máxima.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

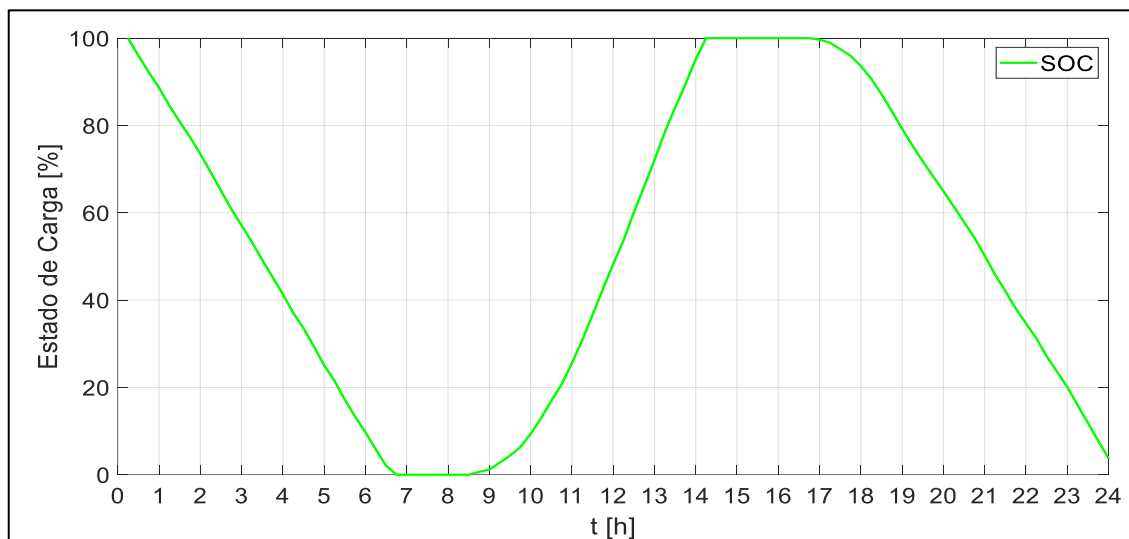


Ilustración 13-4: Comportamiento del SOC simulado para día nublado y Dm máxima.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

El comportamiento del SOC para los diferentes perfiles de demanda es similar a los detallados para el escenario con día soleado mencionados en la sección 4.1.1.

El resultado energético se observa en la Ilustración 14-4: y sus respectivos valores en la Tabla 2-4: En este caso, los valores de balance energético y carga de baterías son relativamente iguales, lo que implica que el sistema se comporta como una estación de autoconsumo ya que toda la

energía generada se aprovecha dentro de la misma instalación tanto para alimentar las cargas como para cargar las baterías.

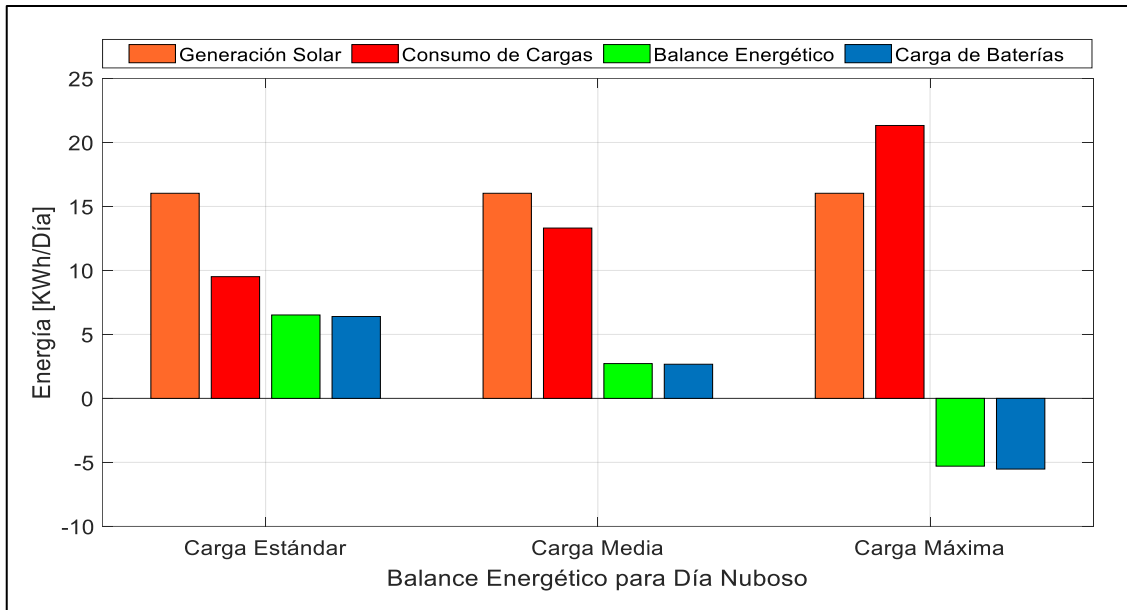


Ilustración 14-4: Balance energético del sistema simulado para día nublado.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 2-4: Datos del balance energético para día nublado.

Balance Energético [KWh/día]			
Perfil de Generación:	Día Nublado	16.0282	
Perfil de Demanda	Energía Demandada	Balance de Energía	Carga de Baterías
Carga Estándar	9.5106	6.5175	6.3958
Carga Media	13.3106	2.7176	2.6682
Carga Máxima	21.3263	-5.2981	-5.5255

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

4.1.3. Pruebas de simulación para un día lluvioso.

En la Ilustración 15-4:, la Ilustración 17-4: y la Ilustración 19-4: se observa que la potencia máxima en el perfil de generación de un día lluvioso es de 1.5 KW, y las cargas que se utilizaron analizan el comportamiento del sistema ante un perfil de carga estándar, una carga media y un perfil de carga máxima respectivamente. También se encuentra el estado de carga de las baterías correspondiente a cada escenario en la Ilustración 16-4:, la Ilustración 18-4: y la Ilustración 20-4:.

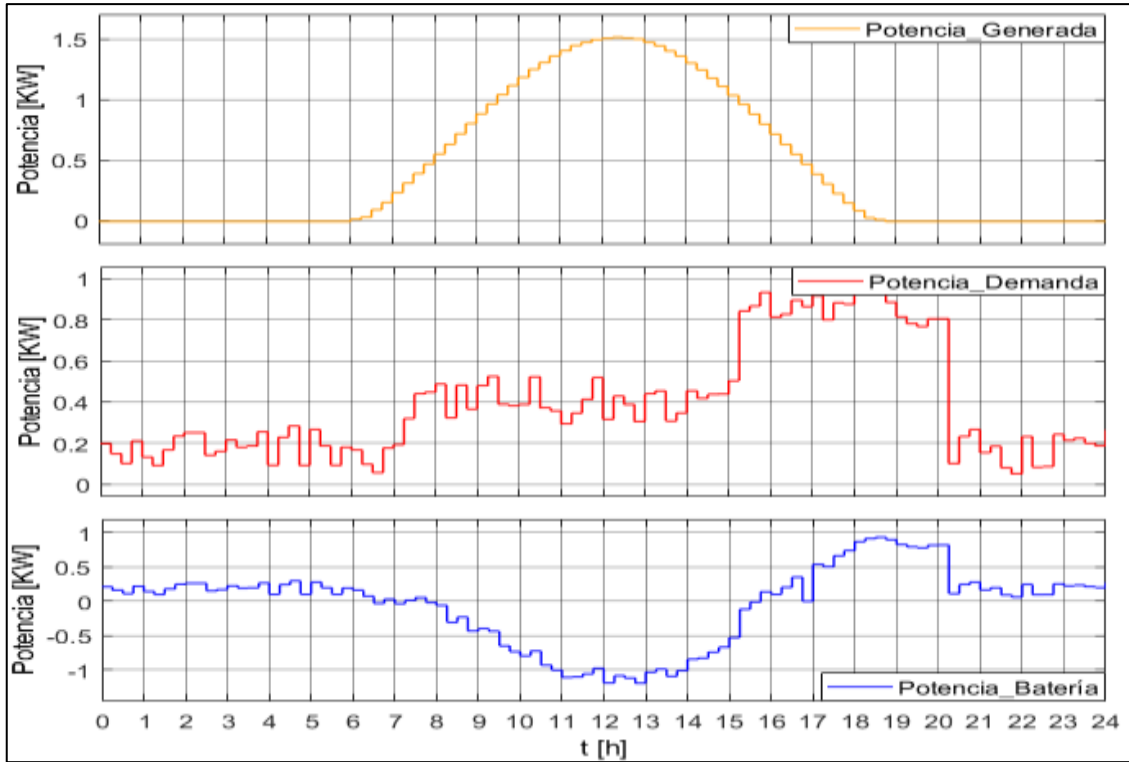


Ilustración 15-4: Comportamiento del sistema simulado para día lluvioso y Dm estándar.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

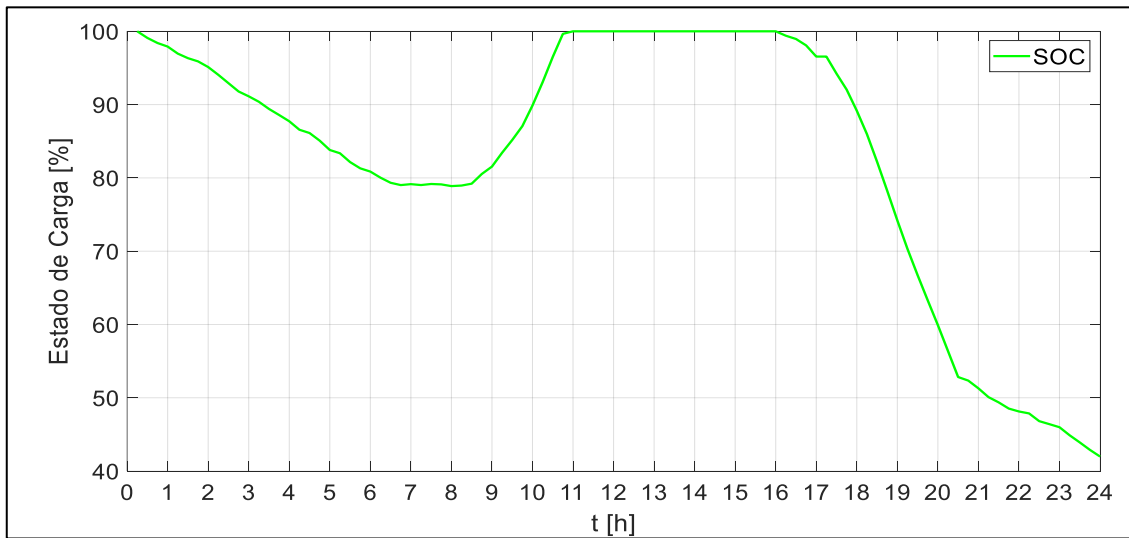


Ilustración 16-4: Comportamiento del SOC simulado para día lluvioso y Dm estándar.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

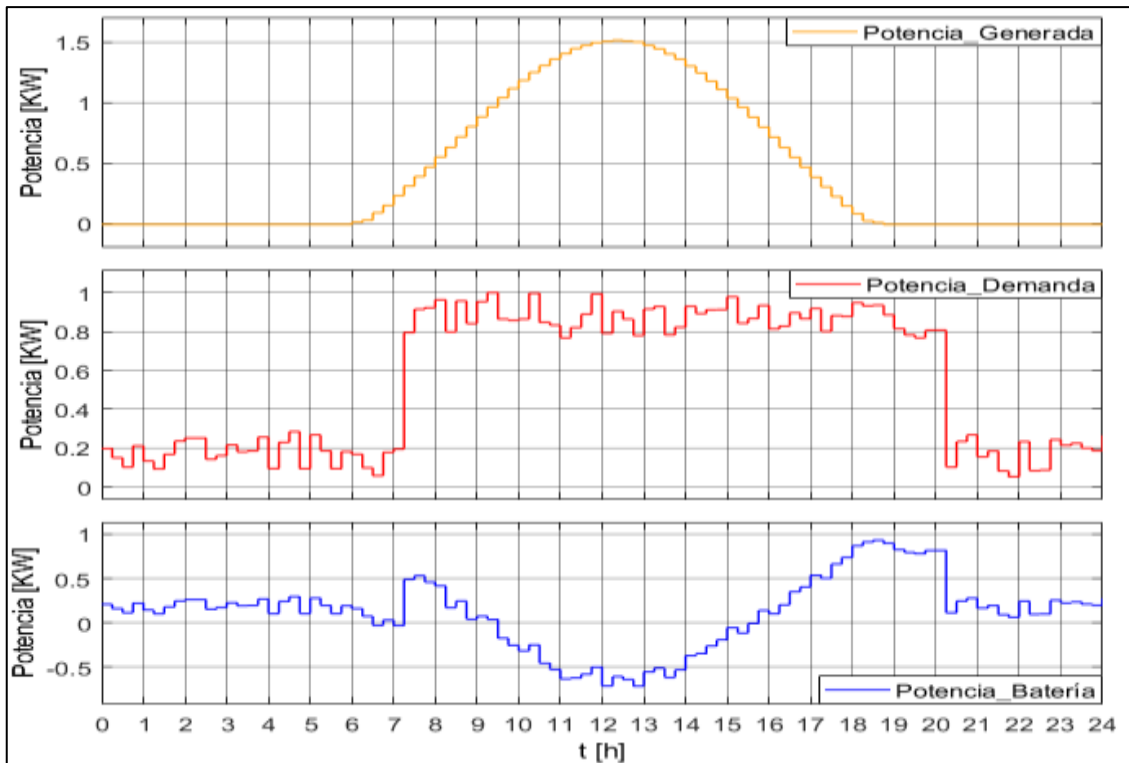


Ilustración 17-4: Comportamiento del sistema simulado para día lluvioso y Dm media.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

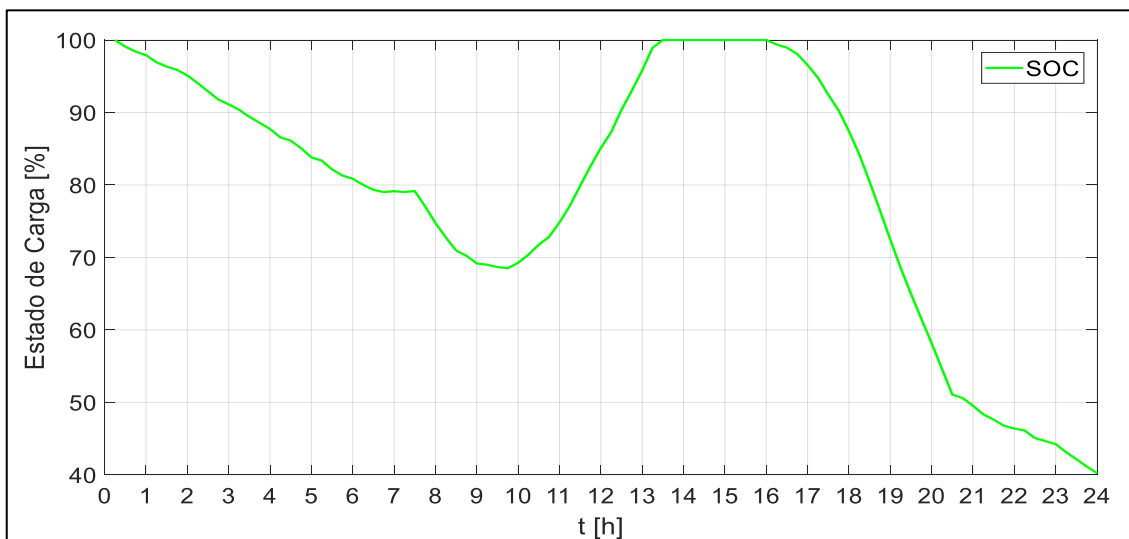


Ilustración 18-4: Comportamiento del SOC simulado para día lluvioso y demanda media.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

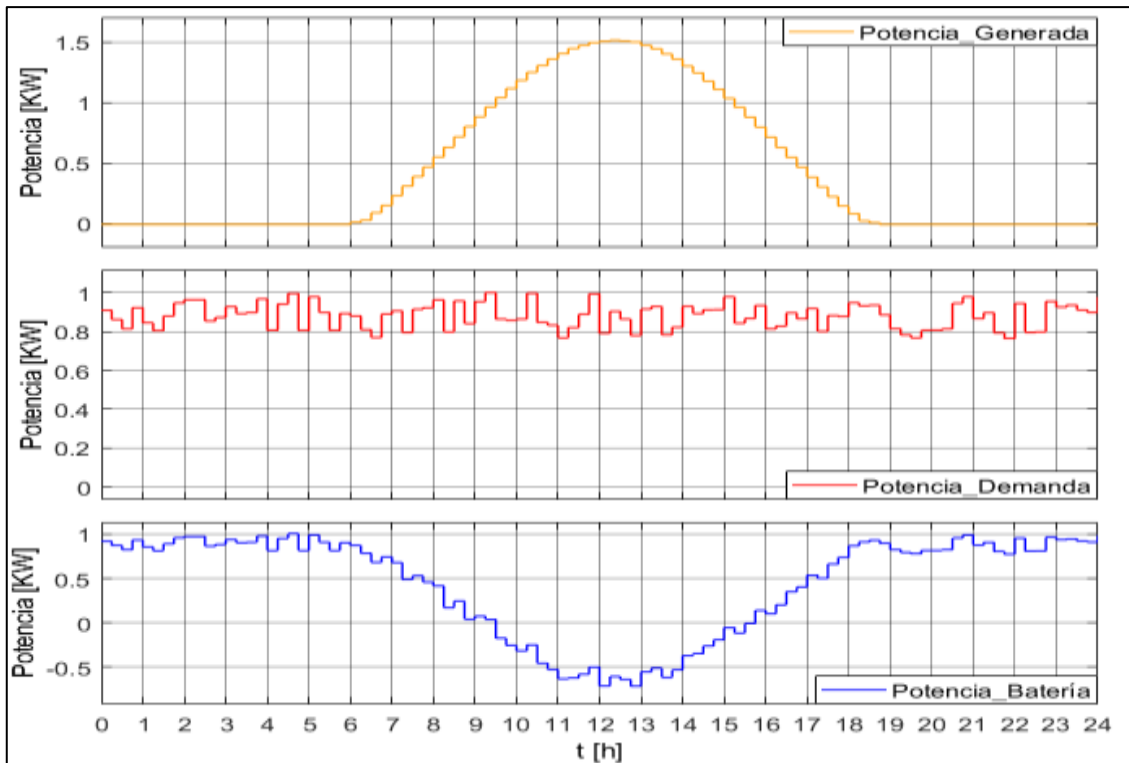


Ilustración 19-4: Comportamiento del sistema simulado para día lluvioso y Dm máxima.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

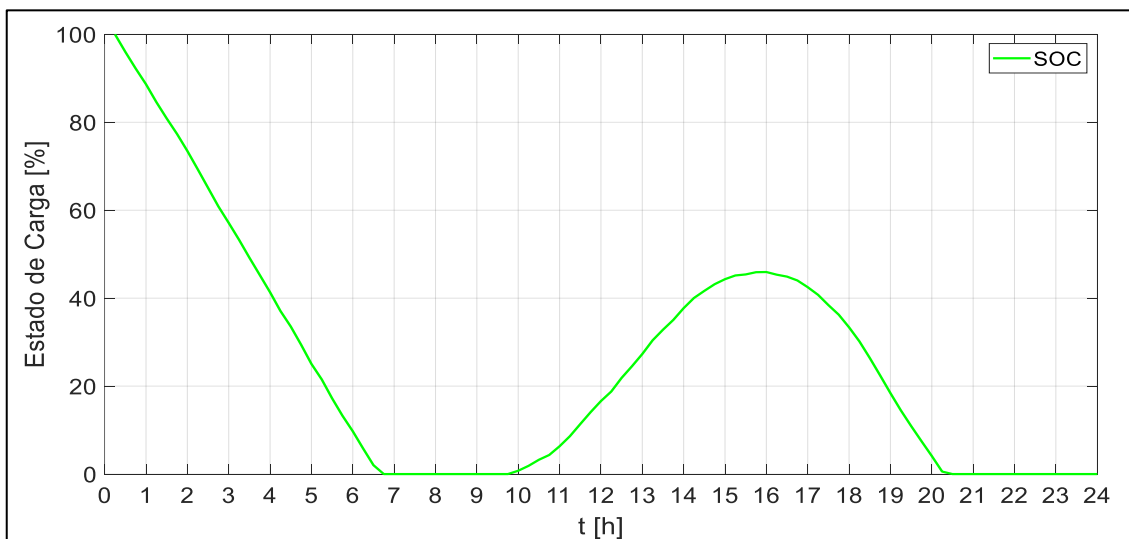


Ilustración 20-4: Comportamiento del SOC simulado para día lluvioso y Dm máxima.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Ya que en el escenario para día lluvioso el perfil de generación es bajo, en la mayoría de los casos el SOC queda muy bajo e incluso con una demanda máxima llegando a 0 por lo que este sería el peor de los casos y la autonomía no sería suficiente para abastecer la demanda durante las 24 horas.

El resultado energético se observa en la Ilustración 21-4: y sus respectivos valores en la Tabla 3-4: Desde el punto de vista energético, este escenario presenta un comportamiento similar al del resumido en la Ilustración 14-4:, donde los valores de balance energético y carga de baterías son relativamente similares.

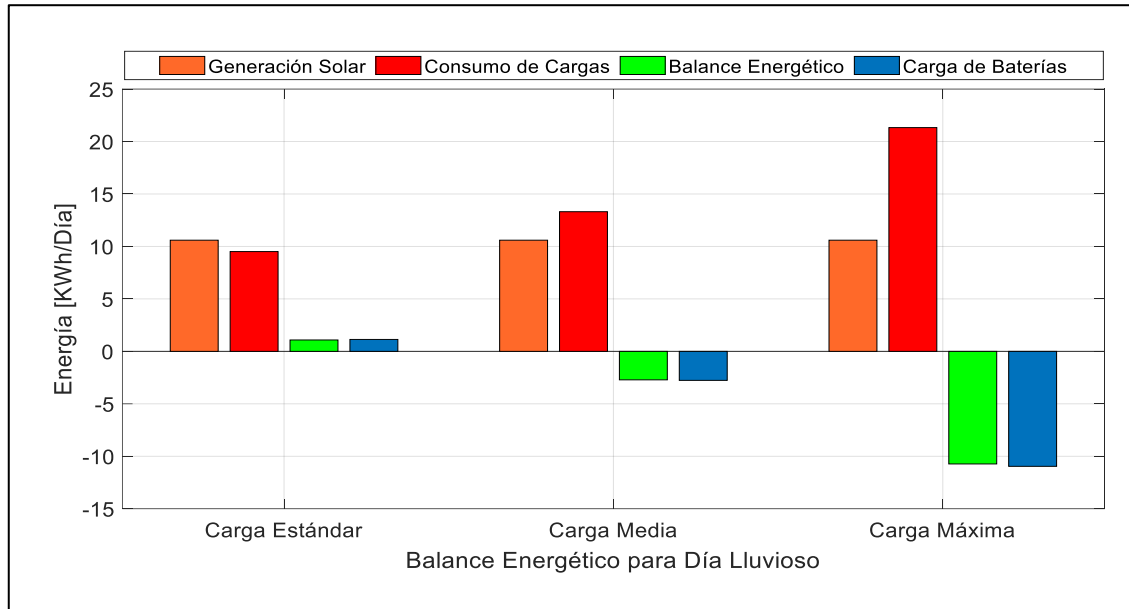


Ilustración 21-4: Balance energético del sistema simulado para día lluvioso.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 3-4: Datos del balance energético para día lluvioso.

Balance Energético [KWh/día]			
Perfil de Generación:	Día Lluvioso	10.5967	
Perfil de Demanda	Energía Demandada	Balance de Energía	Carga de Baterías
Carga Estándar	9.5106	1.0861	1.1373
Carga Media	13.3106	-2.7139	-2.7633
Carga Máxima	21.3263	-10.7296	-10.9570

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

4.1.4. Consignas de Control determinadas a través de la simulación.

Tomando en cuenta los resultados mostrados en las gráficas de las secciones 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3 del comportamiento de la potencia en la batería se determinó que la potencia máxima a la que se carga la batería es de 3KW, mientras que la potencia máxima de descarga es de 1KW. Siendo estas las consignas que se aplicarán al sistema solar fotovoltaico mediante la configuración de dichos valores en las variables editables desde el perfil de administrador con el que cuenta el software de STUDER. Dado que la variable configurable solo se puede definir desde el punto de

vista de corriente de carga, se ha deducido la misma tomando en cuenta que el banco de baterías opera a 48VDC. Por lo tanto, la corriente de carga de la batería será de 62.5A.

4.2. Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico sin consignas de control.

Como se observa en la Ilustración 22-4: donde se representa el comportamiento del sistema el día 21 de julio de 2022, la carga de 730W empieza alrededor de las 8am y termina alrededor de las 9pm, mientras que la generación empieza alrededor de las 6am y termina alrededor de las 6pm. En la Tabla 4-4: se observan los valores máximos de cada curva. Los datos de las gráficas obtenidas se realizaron con las todas las cargas encendidas las 24h a su máxima potencia es decir 750 W, más la potencia consumida por los equipos que se desprecia de los datos finales, el sistema trabajo con una producción de 800W aproximadamente.

Los equipos STUDER tanto el controlador como el inversor tienen un consumo de 50 W los cuales no son visualizados como cargas finales ya que este consumo es previo al control que hace el inversor.

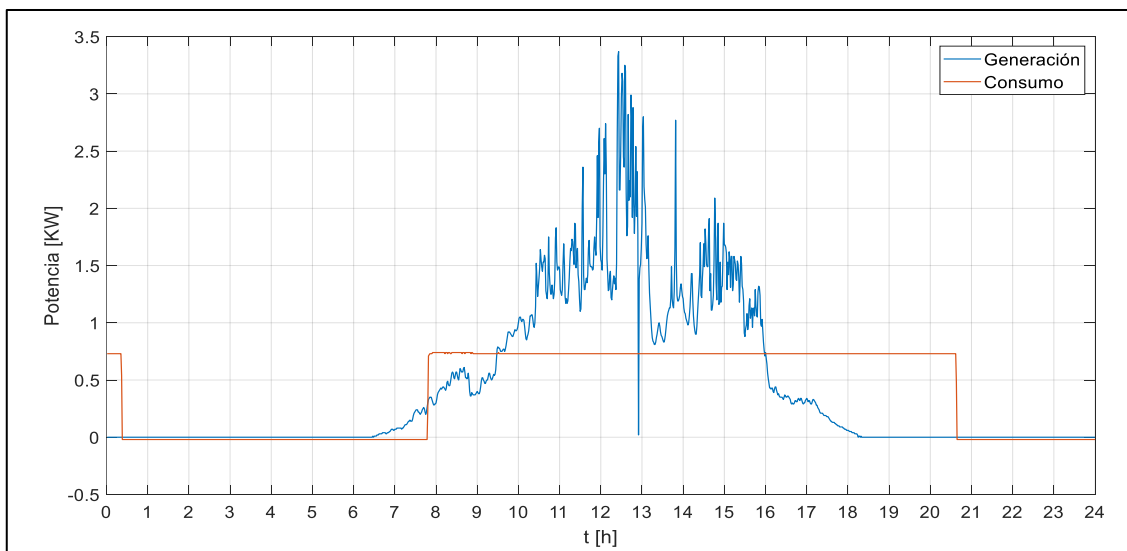


Ilustración 22-4: Potencia Generada vs Consumida por el sistema SSF.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 4-4: Datos de potencia máxima de generación y consumo.

Potencia Máxima de Generación	3.4 [KW]
Potencia Máxima de Consumo	0.73 [KW]

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

En la Ilustración 23-4: se puede observar el balance energético de este día, y en la Tabla 5-4: los datos correspondientes.

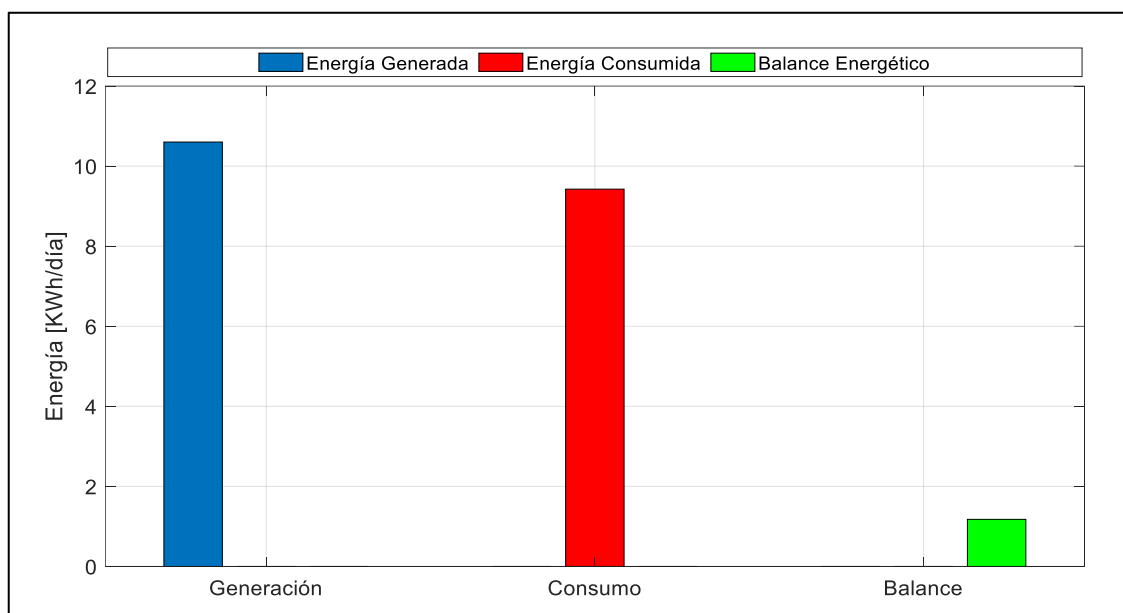


Ilustración 23-4: Balance energético de un día abastecido por el SSF.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 5-4: Datos de balance energético.

Balance de Energía [KWh/día]	
Energía Generada.	10.6020
Energía Consumida.	9.4253
Balance Energético.	1.1767

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Esta diferencia entre la generación y el consumo es la que se utiliza para cargar la batería y que el sistema pueda seguir suministrando energía aún en horas en las que ya no existe energía solar.

Teniendo en cuenta el tiempo desde que la generación es menor al consumo como se indica en la Ilustración 24-4., hasta que se apagan las cargas debido a tensión mínima en las baterías, se tiene un total de 4 horas y media. Esto indica que con una carga de 0.73KW la batería tiene aproximadamente 4 horas y media de autonomía.

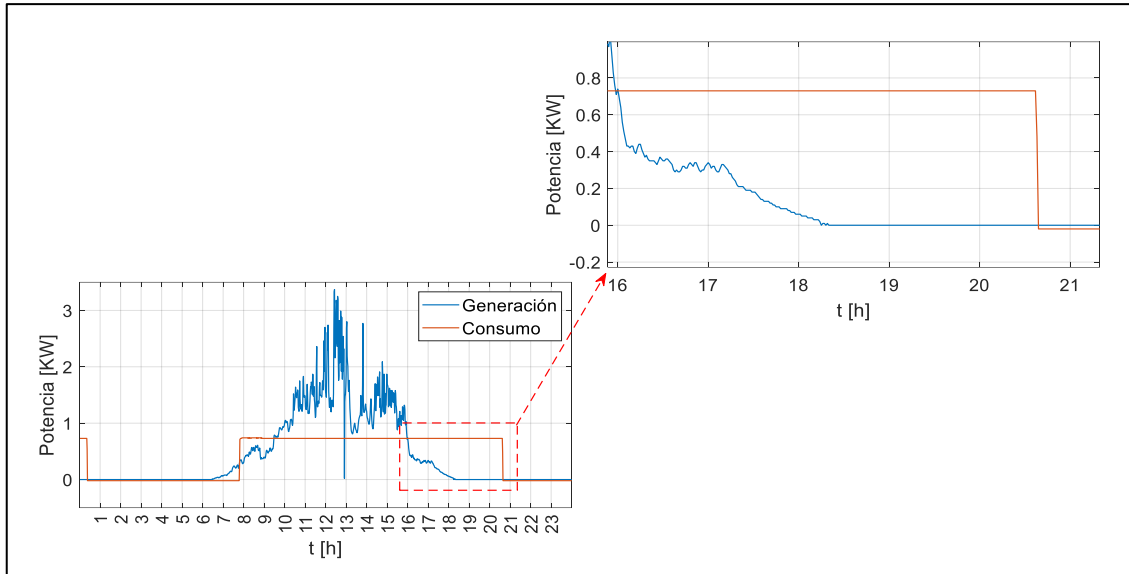


Ilustración 24-4: Análisis de la autonomía de la batería en el sistema solar fotovoltaico.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Analizando desde el punto de vista energético como se muestra en la Ilustración 25-4: y con los datos de la Tabla 6-4:, se determina que con 2.8 KWh puede alimentar la carga durante 4 horas y media.

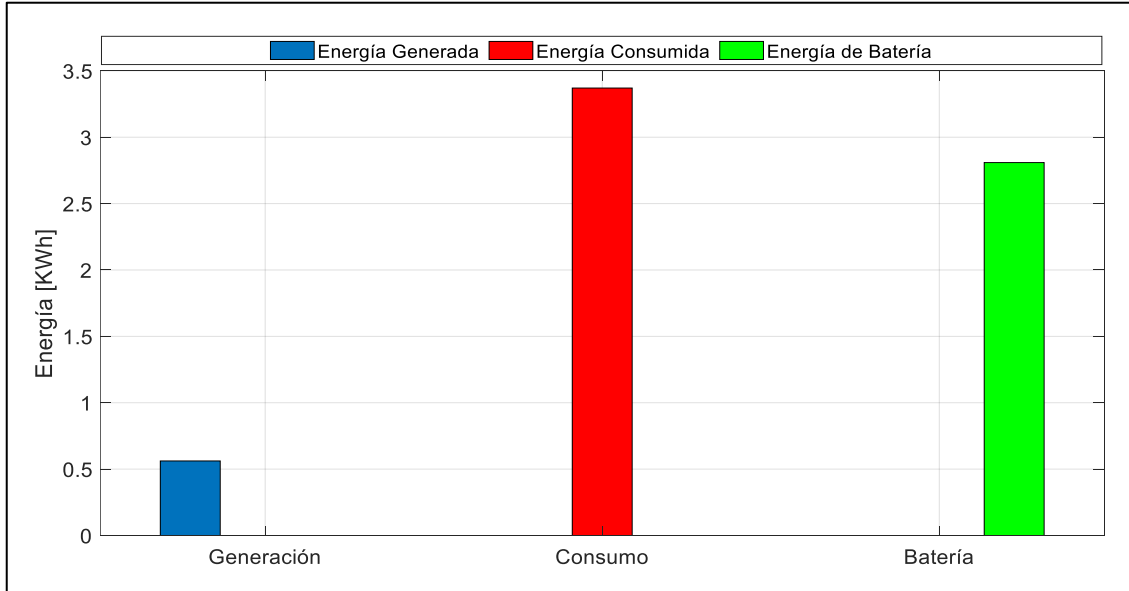


Ilustración 25-4: Análisis energético de la autonomía de la batería.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 6-4: Datos de análisis energético de la autonomía de la batería.

Análisis de Energía [KWh]	
Energía Generada.	0.5615
Energía Consumida.	3.3705
Energía entregada por Batería.	2.8090

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La potencia, tanto de generación como de consumo se ven reflejados en la corriente y voltaje utilizados para cargar por parte del controlador de carga y para descargar por parte del inversor. En la Ilustración 26-4: se observa la simetría entre el voltaje y corriente de carga, igualmente con el voltaje y corriente de descarga.

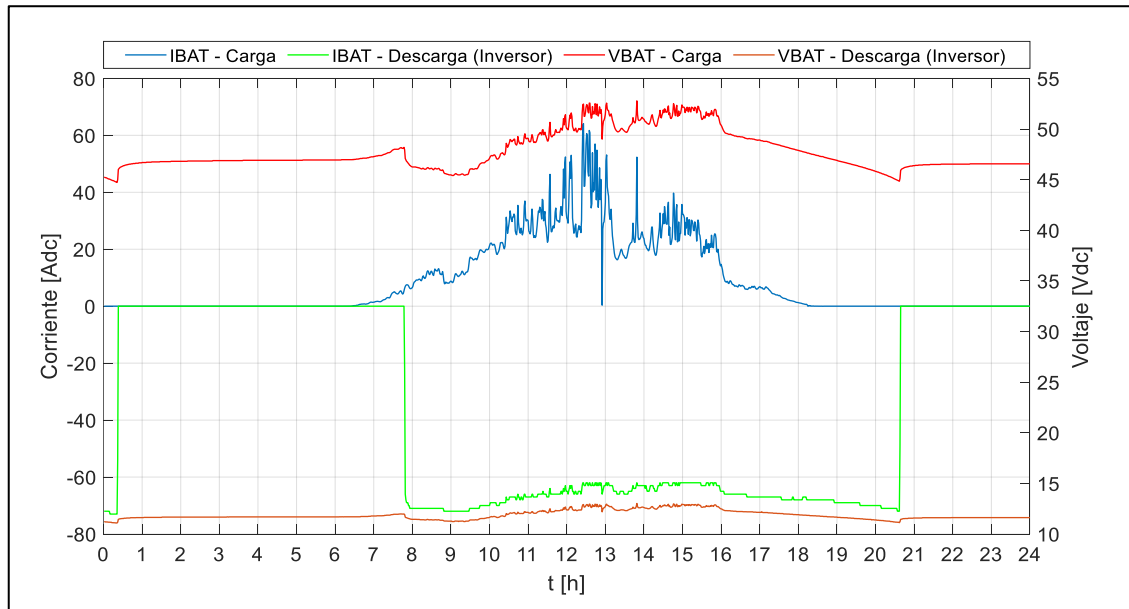


Ilustración 26-4: Corriente y voltaje de carga y descarga de la batería en el SSF.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Bajo la hipótesis de que el día anterior pudo haber terminado con un porcentaje bajo, medio o alto del SOC, se representa en la Ilustración 27-4: el comportamiento en los tres diferentes escenarios.

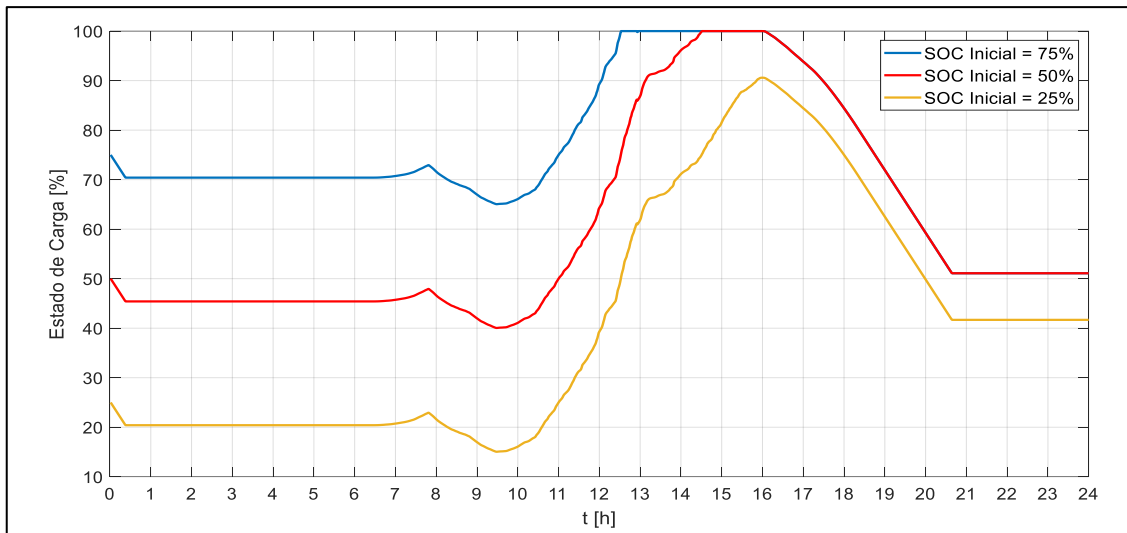


Ilustración 27-4: Comportamiento del SOC en diferentes casos de valor inicial.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

4.3. Consignas de control aplicado al sistema solar fotovoltaico.

Como se explicó en la sección 4.1.4 se utilizó la corriente calculada de 62.5A como nueva corriente de carga. Este parámetro puede ser cambiado a través del control remoto desde la interface en línea de STUDER como se observa en la Ilustración 28-4: El control solo permite valores enteros por lo que se buscó utilizar el inmediato superior igual a 63A, pero este valor no está en el listado admisible por el control, es así que se utilizó el valor de 64A.



Ilustración 28-4: Cambio del parámetro de corriente con la interfaz de STUDER.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La consigna de control fue probada el día 23 de Julio de 2022 y el comportamiento del sistema solar fotovoltaico se representa en la Ilustración 29-4: La carga de 730W empieza alrededor de

las 8am y se mantiene durante el resto del día, mientras que la generación empieza aproximadamente a las 6am y termina alrededor de las 6pm con menos perturbaciones que la generación del 21 de Julio de 2022. En la Tabla 7-4: se observan los valores máximos de cada curva.

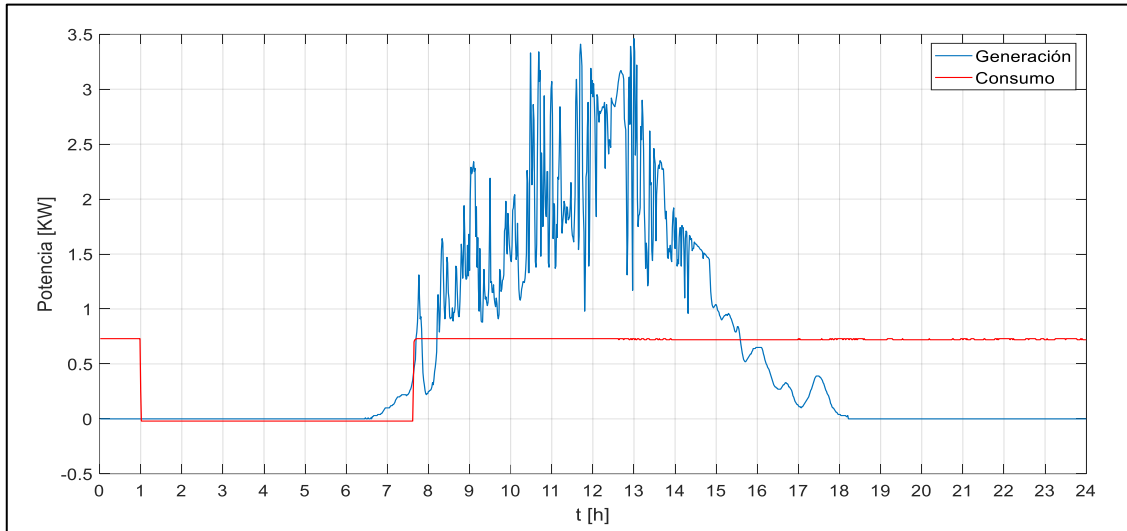


Ilustración 29-4: Potencia Generada vs Consumida por el SSF aplicada la CC.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 7-4: Datos de potencia máxima de generación y consumo aplicada la consigna de control.

Potencia Máxima de Generación	3.5 [KW]
Potencia Máxima de Consumo	0.73 [KW]

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

En la Ilustración 30-4: y la Tabla 8-4: se detallan los datos de energía del día en el que se modificó la corriente máxima de carga aplicado a la consigna de control (CC).

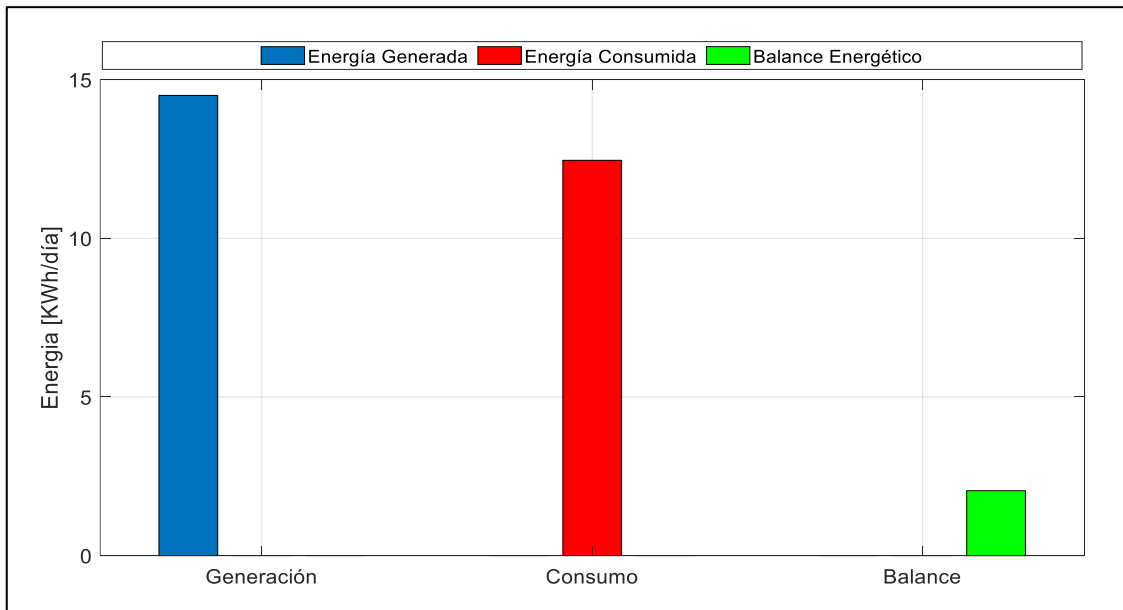


Ilustración 30-4: Balance energético de un día abastecido por el SSF aplicada la CC.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 8-4: Datos de balance energético del SSF aplicada la consigna de control.

Balance de Energía [KWh/día]	
Energía Generada.	14.5045
Energía Consumida.	12.4587
Balance Energético.	2.0458

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Al igual que en la sección 4.2 para determinar las horas de autonomía del banco de baterías se ha tomado en cuenta el tiempo desde que la generación es menor al consumo como se indica en la Ilustración 31-4:, hasta que termina el día, obteniendo un total de 8 horas y media. Esto indica que con una carga de 0.73KW el banco de baterías tiene aproximadamente 8 horas y media de autonomía.

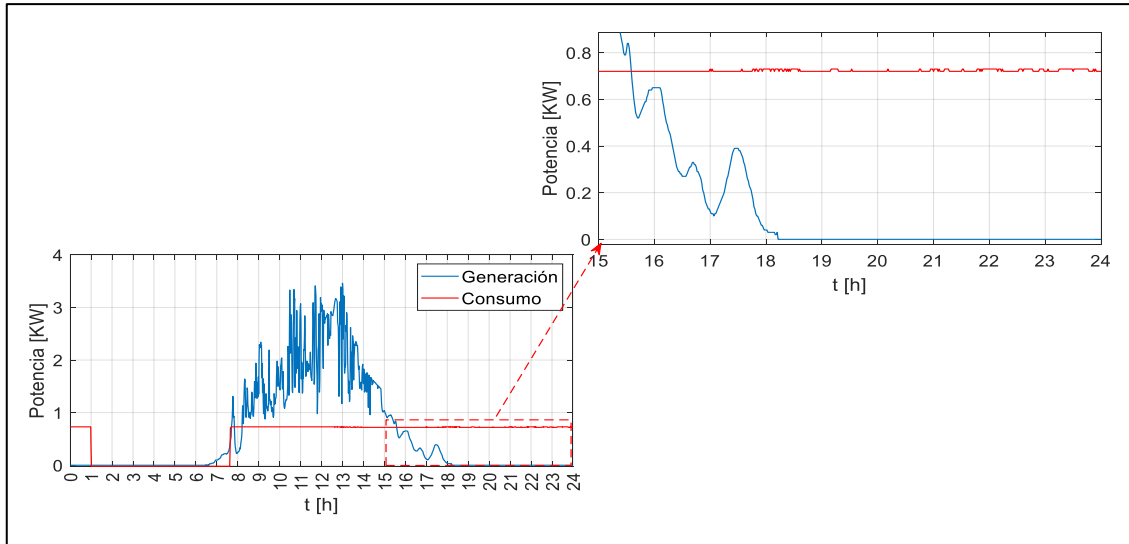


Ilustración 31-4: Análisis de la autonomía del banco de baterías aplicada la CC.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Haciendo un análisis energético como se muestra en la Ilustración 32-4:, Ilustración 25-4: y con los datos de la Tabla 9-4:, se determina que con 5.3 KWh el banco de baterías puede alimentar la carga durante al menos 8 horas y media.

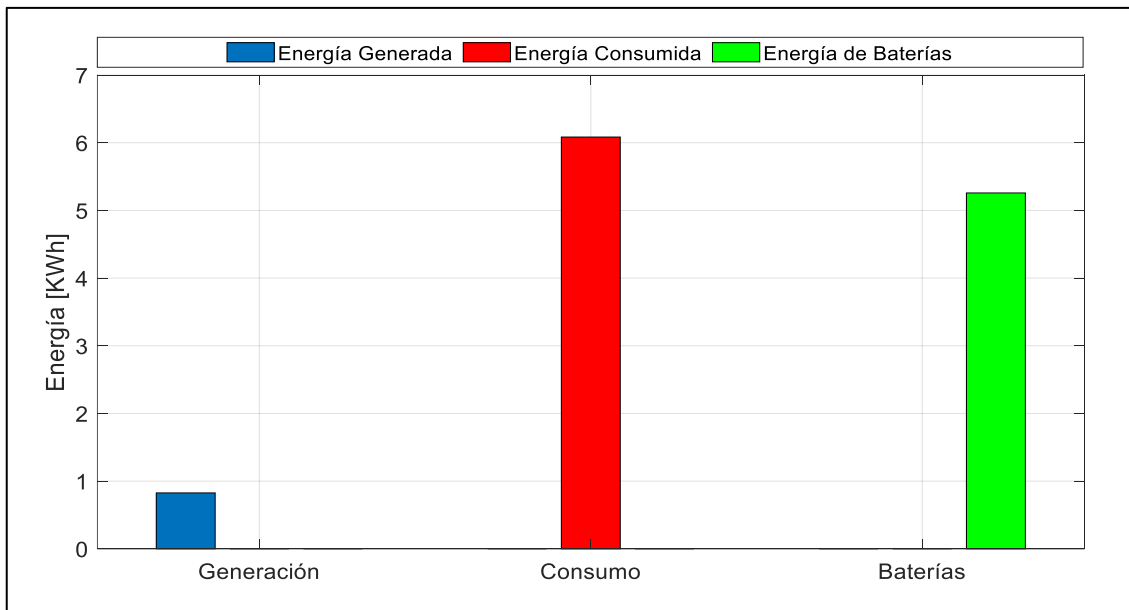


Ilustración 32-4: Análisis energético de la autonomía de baterías aplicada a la CC.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 9-4: Datos de análisis energético de la autonomía del banco de baterías aplicada la consigna de control.

Análisis de Energía [KWh]	
Energía Generada.	0.8262
Energía Consumida.	6.0842
Energía entregada por Batería.	5.2579

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

La potencia de generación y la de consumo son consecuencia de los valores de la corriente y el voltaje utilizados para cargar por parte del controlador de carga y para descargar por parte del inversor. En la Ilustración 33-4: se observa la simetría entre el voltaje y corriente de carga, igualmente con el voltaje y corriente de descarga.

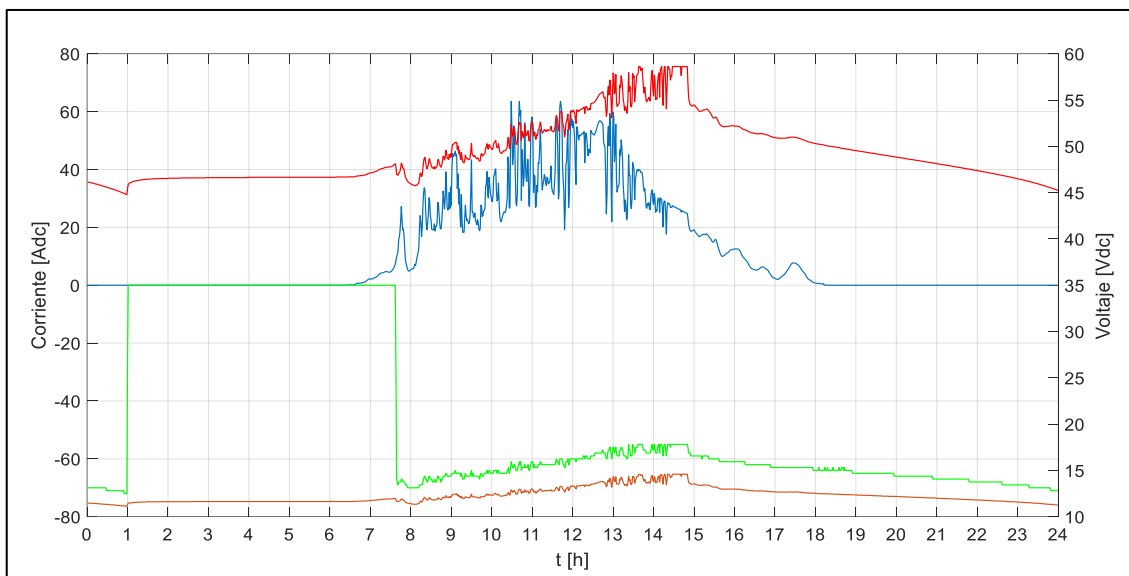


Ilustración 33-4: Corriente y voltaje del banco de baterías aplicada la consigna de control.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Bajo la hipótesis de que el día anterior el SOC pudo haber terminado con un porcentaje bajo, medio o alto de carga, se representa en la Ilustración 34-4: el comportamiento en los tres diferentes casos.

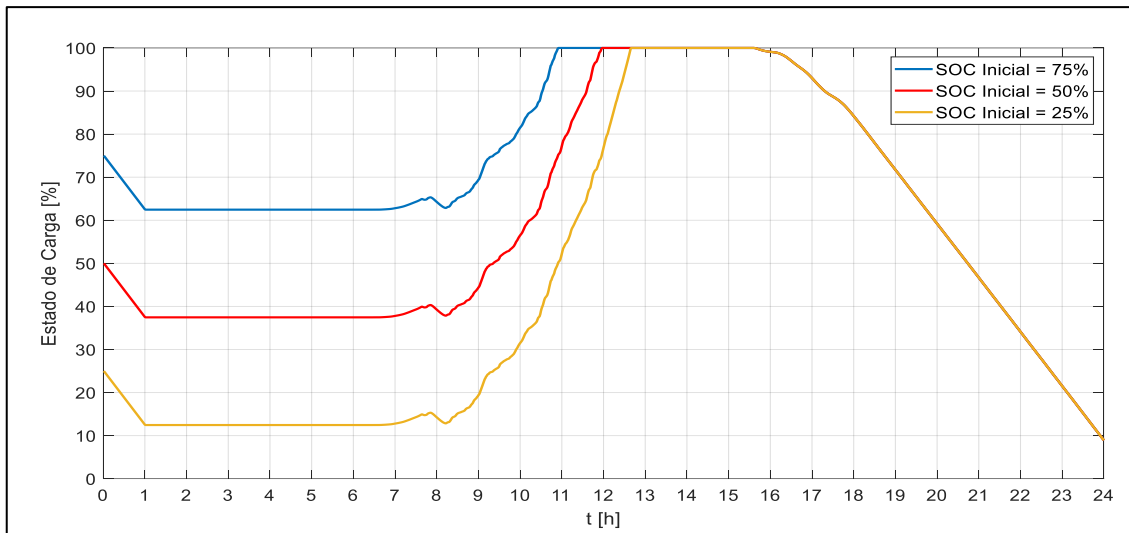


Ilustración 34-4: Comportamiento del SOC en diferentes casos de valor inicial.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

4.4. Comparación energética de los resultados.

En la Ilustración 35-4: se detalla la comparación energética resultante del modelo simulado bajo un perfil de día soleado y carga media, los datos obtenidos el 21 de Julio de 2022 del sistema de solar fotovoltaico sin las consignas de control y los datos obtenidos el 23 de Julio de 2022 del SSF aplicando la consigna de control al parámetro de corriente máxima de carga. En la Tabla 10-4: se especifican los datos utilizados para la gráfica.

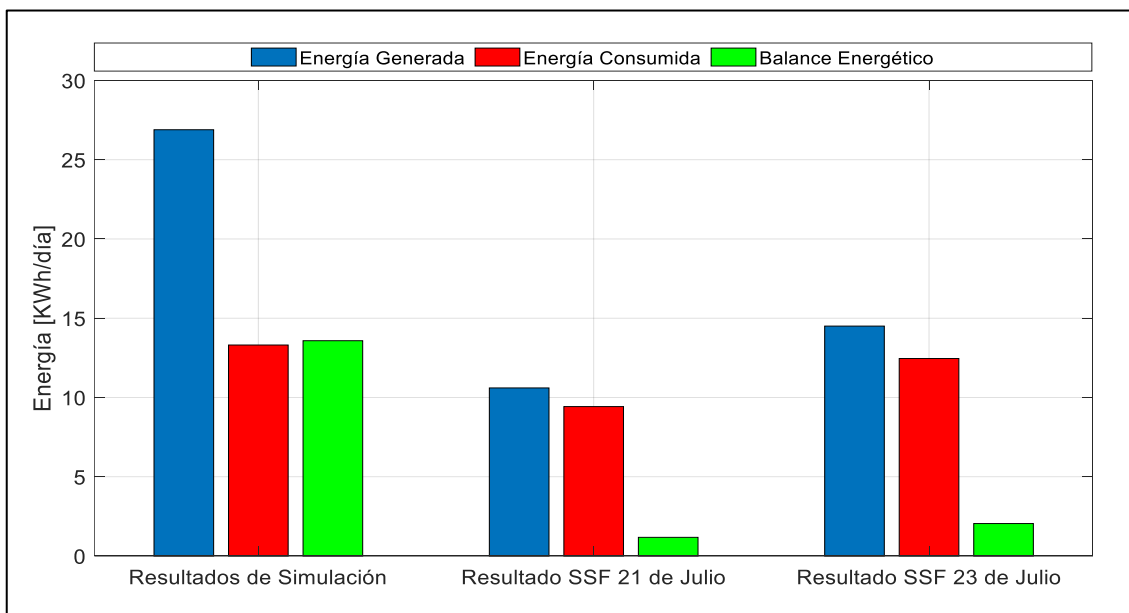


Ilustración 35-4: Comparación energética de los resultados.

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

Tabla 10-4: Datos de comparación energética de los resultados.

Energía [KWh/día]	Generación	Consumo	Balance
Resultados de Simulación	26.8912	13.3106	13.5806
Resultados SSF 21 de Julio	10.6020	9.4253	1.1767
Resultados SSF 23 de Julio	14.5045	12.4587	2.0458

Realizado por: Falcón, B.; Velásquez, A. 2022

El modelo de simulación no cuenta con un MPPT por lo que sigue generando energía a pesar de no necesitarla haciendo que sea menos óptimo. Los resultados obtenidos del sistema de solar fotovoltaico son más óptimos por contar con el MPPT por lo que genera solo la energía suficiente para suministrar a la carga y a la batería, satisfaciendo la demanda y cargando la batería. En el caso de los datos obtenidos el 23 de Julio cuando fue aplicada la consiga de control, se observa una mayor generación y mantiene más tiempo la energía demandada por lo que también es mayor.

CONCLUSIONES

- El sistema solar fotovoltaico tiene como ventaja principal la reducción de emisiones de CO₂, así como también se genera una ventaja a nivel de institución educativa superior al utilizar equipos estudiados teóricamente en una aplicación que beneficia a la comunidad politécnica reduciendo los costos de consumo
- Como desventaja de implementar el sistema solar fotovoltaico, se concluye que el costo de instalación y de adquisición de los equipos es superior al beneficio que se da al hacer el cambio de el suministro desde la red principal a el suministro desde los paneles solares para abastecer las cargas únicamente de iluminación
- Después de desarrollar las pruebas con los paneles solares la potencia pico obtenida es de 4 KW, dicha potencia es restringida por el inversor que tiene una potencia de salida de 900 W en carga continua y de 1400 W por media hora, lo cual restringe el abastecimiento de cargas.
- Se desarrollo un modelo de simulación a través del software MATLAB que permitió tanto el estudio del comportamiento del sistema solar fotovoltaico, como la selección del sistema de control más adecuado para la gestión de la energía del banco de baterías.
- El sistema de control basado en lógica difusa permitió obtener una variable que se utilizo como consigna de control, la variable denominada corriente de carga fue similar al parámetro que por defecto se indica en el controlador de carga solar.
- Los datos obtenidos en los días de estudio con la consigna de control (corriente de carga) modificada, tuvieron como resultado que el sistema solar fotovoltaico fue similar al sistema de control de los equipos STUDER, con una mejora de cuatro horas en la autonomía de las baterías.
- El MPPT del sistema de generación solar fotovoltaica optimiza el uso de la energía generada por los paneles solares suministrando únicamente lo necesario para abastecer la demanda y cargar el banco de baterías.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda potenciar el sistema solar fotovoltaico con un inversor de mayor capacidad de potencia para abastecer todas las cargas de iluminación del edificio de robótica de la facultad de informática y electrónica ya que esto generara que todo el edificio trabaje bajo la consigna de autoconsumo completo.
- Para poder utilizar y modificar valores en los equipos que conforman el sistema solar fotovoltaico es necesario revisar los manuales de usuario de cada uno, ya que se necesita saber las diferentes señales que proporcionan los equipos en caso de fallas, sobre cargas, apagados de emergencia y configuraciones básicas.
- Se recomienda realizar un estudio previo de la ubicación de los tableros de abastecimiento de cargas tanto de iluminación como de fuerza ya que estos son los que distribuyen la energía al edificio, esto permite seleccionar la distancia mas adecuada para la instalación.
- Se recomienda que los datos que se obtengan sean de varias semanas que permita realizar una comparativa más detallada del comportamiento del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

ABELLA, MIGUEL. *Sistemas Fotovoltaicos*. Madrid : Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaico, 2017. pp. 65-67.

AENOLASTNAME, XINHUA. América economía. [En línea] 21 de Febrero de 2020. [Citado el: 27 de Junio de 2022.]. Disponible en: <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/planta-solar-mas-grande-de-america-latina-iniciara-operaciones-en-marzo>.

AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA, IEA. Agencia Internacional de la Energía. *IEA*. [En línea] 10 de Enero de 2022. [Citado el: 27 de Junio de 2022.] Disponible en: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/solar>.

AMÉSTEGUI, MAURICIO. *Apuntes de Control PID*. La Paz : Universidad Mayor de San Andres, 2001.

ANGELA AMATO, MATTEO BILARDO, ENRICO FABRIZIO, VALENTINA SERRA, FILIPPO SPERTINO. *Energy Evaluation of a PV-Based Test Facility for Assessing*. s.l. : MDPI, 2021. 1996-1073.

ARAKI, M. PID CONTROL. [book auth.] Heinz Unbehauen. *Control Systems, Robotics and Automation*. Oxford : Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), 2009, Vol. II.

ARENCIBIA-CARBALLO, GUSTABO. *La importancia del uso de paneles solares en la generación*. 2016. pág. 1.

ÅSTRÖM, KARL AND HÄGGLUND, TORE. *Control PID Avanzado*. Madrid : Pearson Educación, 2009. pp. 10-15. 978-84-8322-511-0.

AZAIOD, HAKIM, DESMET, JAN AND VANDEVELDE, LIVEN. *Benefit Evaluation of PV Orientation for Individual Residential Consumers*. s.l. : MDPI, 2020. pp. 1-3. 1996-1073.

BAYWA. Plantas de mayor producción en España. *Bayea r.e.* [En línea] 18 de Abril de 2020. Disponible en: <https://www.baywa-re.es/es/solar/parque-solar-don-rodrigo#:~:text=Don%20Rodrigo%20tiene%20una%20capacidad,m%C3%A1xima%20del%2017%2C6%25..>

BBVA. Sostenibilidad. [En línea] BBVA, 2020. Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-paneles-solares-como-funcionan-y-cual-es-su-futuro/>.

BRASLAVSKY, JULIO. *Introducción al Control Automático.* Florencio Varela : Universidad Nacional de Quilmes, 2017. pp. 15-21.

CABRERA, JAVIER AND CRIOLLO, MIGUEL. *Gestión energética de una microgrid residencial conectada a la red mediante lógica difusa.* Cuenca : JOURNAL OF SCIENCE AND RESEARCH, 2020. pp. 1-10. 2528-8083.

CALDERÓN, ANTONIO AND GONZÁLES, ISAIAS. *Plataforma Hardware-in-the-Loop basada en LabVIEW, PLC y OPC.* Badajoz : Universidad de Extremadura, 2016. pp. 1-10.

CASTILLO, MANUEL, ET AL. *Sistema de control distribuido para la gestión de la demanda en el sector residencial.* s.l. : Congreso de Generación Distribuida, 2009. pp. 275-280.

CAYCEDO, CAMILO, ET AL. *Diseño De Controladores Clásicos E Inteligentes Para Regular El Voltaje De Entrada A Un Inversor En Un Sistema Fotovoltaico.* Pamplona : Ingeniería e Innovación, 2021. pp. 1-10. 2346-0474.

CEMDES. Cemdes. [En línea] 2020. [Citado el: 27 de Junio de 2022.]

CENACE. CENACE. *CENACE.* [En línea] GOB EC, 16 de 6 de 2022. [Citado el: 16 de 6 de 2022.] Disponible en: <http://www.cenace.gob.ec/info-operativa/InformacionOperativa.htm>.

CHAMARELLI, YURI. Python en la Automatización Industrial. [En línea] infoPLC, 27 de Septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.infopl.net/blogs-automatizacion/item/109983-python-automatizacion-industrial>.

CUENCA, ALAN AND LEÓN, MILTON. *Diseño e implementación del sistema de monitoreo, supervisión y control automático del proceso de destilación de agua en el área de inyectables de LIFE C.A.* s.l. : MASKAY, 2013. p. 39. 1390-6712.

CUMBRE. Cumbre Pueblos. [En línea] 25 de Mayo de 2019. [Citado el: 16 de Junio de 2022.] Disponible en: <https://cumbrepuebloscop20.org/energias/solar/baterias-solares/>.

DANEELS AND SALTER. *WHAT IS SCADA?* Trieste : International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, 1999. pp. 1-5.

DEPARTMENT, STATISTA RESEARCH. Statista, Energía y tecnología medioambiental. *Statista.* [En línea] 5 de mayo de 2022. [Citado el: 27 de junio de 2022.] Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/1238163/capacidad-instalada-energia-solar-america-latina-caribe/#:~:text=Am%C3%A9rica%20Latina%20y%20el%20Caribe%3A%20capacidad%20instalada%20de%20energ%C3%ADa%20solar%202021&text=En%202021%2C%20en%20la%20regi%C3%B3n,B>.

DOMENECH, BRUNO, CALLEJA, GEMA AND OLIVELLA, JORDI. *Residential Photovoltaic Profitability with Storage under the New Spanish Regulation: A Multi-Scenario Analysis.* s.l. : MDPI, 2021. pp. 1-6. 1996-1073.

DUMITRESCU, CATALIN, CIOTIRNAE, PETRICA AND VIZITIU, CONSTANTIN. Fuzzy Logic for Intelligent Control System Using Soft Computing Applications. *Sensors.* [Online] April 8, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21082617>.

ECOTEC, UNIVERSIDAD. Dialoguemos. [En línea] 20 de Diciembre de 2021. [Citado el: 27 de Junio de 2022.] Disponible en: <https://dialoguemos.ec/2021/12/ecotec-inaugura-planta-solar-en-su-campus-de-samborondon/>.

FARHAT, M., ET AL. *Diseño e Implementación de un Sistema de Control estable basado en Lógica Borrosa para optimizar el rendimiento de un sistema de Generación Fotovoltaico.* s.l. : Universitat Politècnica de València, 2015. pp. 476-487.

GALÁN, RAMÓN, ET AL. *Control Inteligente.* Madrid : Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, 2000. pp. 1-7. 1137-3601.

GANSINO, AM SALAZAR. *sistemas de control que se usan de forma solar fotovoltaica posicionamiento.* Guayaquil : UPS, 2015. p. 5.

GIL, ABEL. El orden mundial. [En línea] Creative Commons BY-NC-ND, 9 de Marzo de 2021. [Citado el: 27 de Junio de 2022.] Disponible en: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/grandes-productores-energia-solar-mundo/>.

GOHARY, FOUAD EL, ET AL. *Identifying Challenges in Engaging Users to Increase Self-Consumption of Electricity in Microgrids.* s.l. : MDPI, 2021. pp. 1-4. 1996-1073.

GONZÁLEZ, ÁNGEL. *Gestión de la energía en una red inteligente.* Leganes : Universidad Carlos III de Madrid, 2012. pp. 34-48.

GONZÁLEZ, MÓNICA. *Análisis del autoconsumo eléctrico desde la perspectiva del consumidor final.* Cantabria : s.n., 2016. pp. 105-109.

GONZÁLEZ, ORLANDO, PAVAS, ANDRES AND SÁNCHEZ, SAMIR. *Cuantificación del ahorro de energía eléctrica en clientes residenciales mediante acciones de gestión de demanda.* s.l. : Universidad Nacional de Colombia, 2017. pp. 217-226.

GreenMetric. [En línea] 2019. [Citado el: 27 de Junio de 2022.] Disponible en: <https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/ranking-by-country-2019/Iraq>.

HORA, LA. La Hora. [En línea] 12 de Octubre de 2021. [Citado el: 27 de Junio de 2022.] Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/pais/solar-fotovoltaica-inversion-ecuador/>.

INDUSTRIAL, ESPACIO. [En línea] ESPACIO INDUSTRIAL, 25 de Noviembre de 2021. [Citado el: 27 de Junio de 2022.] Disponible en: <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/cuales-son-los-principales-usos-de-la-energia-solar>.

GONZÁLEZ, MARIO. *Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica.* 238, San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Agosto de 2019, Universitarios Potosinos, págs. 24-29. 1870-1698.

JASSBI, JAVAD, ET AL. A Comparison of Mandani and Sugeno Inference Systems for a Space Fault Detection Application. *IEEE Xplore.* [Online] August 2006. <http://dx.doi.org/10.1109/WAC.2006.376033>.

KANATO TAMASHIRO, TALAL ALHARBI, ALEXEY MIKHAYLOV, ASHRAF M. HEMEIDA, NARAYANAN KRISHNAN, MOHAMMED ELSAYED LOTFY, TOMONOBU SENJYU. *Investigation of Home Energy Management with Advanced.* s.l. : MDPI, 2021. pp. 1-4. 1996-1073.

KUO, BENJAMIN. *Sistemas de Control Automático.* Séptima. Juarez : Prentice-Hall Hispanoamericana, 1996. pp. 40-45. 968-880-723-0.

LAAYATI, OUSSAMA, ET AL. *Microgrid Architectures for Distributed Generation.* s.l. : MDPI, 2017. pp. 1-7. 1996-1073.

LÓPEZ, ALFONSO. *Estimación de la vida útil de baterías en sistemas fotovoltaicos. Influencia de la gestión energética del sistema.* Zaragoza : Universidad de Zaragoza, 2018. pp. 27-28.

LORENZO, JOSÉ, LÓPEZ, MANUEL AND GARCÍA, LUIS. *Software para el diseño de controladores robustos con funcionalidad hardware in the loop.* Cádi : Universidad de Cádi, 2004. pp. 1-7.

LOZA, MARTIN, ET AL. *Neural Control for Photovoltaic Panel Maximum Power Point Tracking.* Jalisco : EAC, 2017. 1815-5928.

LUCA. ¿Qué es Python? [En línea] Telefónica, 24 de Febrero de 2020. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20200224120525/https://luca-d3.com/es/data-speaks/diccionario-tecnologico/python-lenguaje>.

LUDA, MARCELO. Introducción a Python. *Página de proyectos.* [En línea] 2022. Disponible en: https://marceluda.github.io/python-para-fisicos/tuto/lab02/01_intro_python/.

MARIETTA, MARTIN, ET AL. *Análisis de una estrategia de control predictivo basado en escalas temporales para la gestión de una microred conectada a la red.* Elche : XXIII Seminario anual de automática, electrónica industrial e instrumentación, 2016. pp. 1-6.

MARTINEZ, AC. Sistemas de generación eléctrica. *Sistemas de generación eléctrica*. Rioja : Dianlnet, 2010, pp. 50-51.

MATHWORKS. Creación de apps web y ejecutables independientes con programas de MATLAB. [En línea] MathWorks, 2022. [Citado el: 10 de Abril de 2022.] Disponible en: <https://la.mathworks.com/products/compiler.html>.

MATLAB. MATLAB y Simulink para sistemas de control. [En línea] Mathworks, 2022. [Citado el: 10 de Abril de 2022.] Disponible en: <https://la.mathworks.com/solutions/control-systems.html>.

MAY, OSCAR, ET AL. *Sistema de monitoreo inalámbrico de bajo costo para módulos fotovoltaicos empleando raspberry pi*. 2016. pp. 770-788. 1405-1249.

MERINO, LUIS. *Energías renovables para todos*. Madrid : IBERDROLA, 2012. p. 4.

MOLINA, PILAR SÁNCHEZ. PV magazine. [En línea] 6 de Septiembre de 2021. [Citado el: 27 de Junio de 2022.] Disponible en: <https://www.pv-magazine-latam.com/2021/09/06/aprobada-la-planta-de-autoconsumo-mas-grande-de-ecuador/#:~:text=Energycontrol%20firm%C3%B3%20un%20contrato%20para,empresa%20nacional%20acerera%20IPAC%20S.A.>

MTRD. Hoja de ruta del autoconsumo. [book auth.] Ministerio para la transición y el Reto Demográfico. *Hoja de ruta del autoconsumo*. Madrid : IDAE, 2021, pp. 23-25.

NATIONAL INSTRUMENTS. ¿Qué es LabVIEW? [En línea] NI National Instruments, 2022. [Citado el: 15 de Abril de 2022.] Disponible en: <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>.

ÑECO, RAMÓN, ET AL. *Apuntes de Sistemas de Control*. Elche : Club Universitario, 2003. pp. 4-20. 978-84-9948-254-8.

OGATA, KATSUHIKO. *Modern Control Engineering*. Fifth. s.l. : Pearson Education, 2010. p. 912. 978-84-8322-660-5.

PALLERO, LUIS. *Las Energías Renovables*. Madrid : Estudios Comarcales Hoya de Buñol-Chiva, 2001. pp. 105 - 107.

PALO, ERNESTO, MONTOYA, ALBERTO AND HUANCA, EBER. *Máxima transferencia de potencia en módulos PV con convertidor DC-DC utilizando carga variable con PWM y control automático PID*. s.l. : XX11I Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, 2018. pp. 1-8.

PATIÑO, JOHAN, TELLO, JUAN AND HERNÁNDEZ, JOHANN. *Desarrollo de un regulador de carga para sistemas fotovoltaicos aplicando instrumentación virtual*. s.l. : Revista

Ingeniería - Facultad de Ingeniería Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2009. pp. 34-40.

QUEZADA, JOSÉ, ET AL. *Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable.* s.l. : Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2014. pp. 41-50. 1405-7743.

RAMOS, VICTOR. *Diseño de un algoritmo de gestión basado en lógica difusa para el intercambiador de potencia entre microrredes eléctricas.* Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2020. pp. 10-33.

RODRIGUEZ, DUVAN. *Modelado y Simulación de una estación de carga de baterías para portabilidad energética en bicicletas eléctricas.* Bucaramanga : Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2019. p. 20.

RODRÍGUEZ, PATRICIO. *Diseño de Interfaces Hombre - Máquina (HMI).* Valdivia : Universidad Austral de Chile, 2006. págs. 1-7.

ROJAS, DAVID AND PRÍAS, OMAR. *Herramientas Lean para apoyar la implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001.* Medellín : s.n., 2014. pp. 49-60. 0120-9833.

ROMERO, JACOBO. *Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y.* Barcelona : UPC, 2015. p. 23.

RS. Pantalla táctil HMI Siemens de 4.3in. [En línea] infoPLC, 07 de Junio de 2019. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/p/pantallas-hmi/8643967>.

RUIZ, JOSÉ. *Herramientas Software para el Diseño y Simulación en Aplicaciones de Control e Instrumentación Electrónica.* Tomelloso : IES Francisco García Pavón, 1998. pp. 1-6. 1699-4574.

SALAZAR, ANTONIO, ET AL. *Model predictive control-based energy management system for isolated electro-thermal microgrids in rural areas of Ecuador.* s.l. : ECCE, 2021. p. 2. 1996-1073.

SASTOQUE, MAURO. Control de Sistemas: Ejemplos y Aplicaciones. *VirtualPro.* [Online] Revista Virtual Pro, Octubre 13, 2021. Disponible en: <https://www.virtualpro.co/noticias/control-de-sistemas--ejemplos-y-aplicaciones>.

SCHALLENBERG, JULIETA, ET AL. *Energías renovables y eficiencia energética.* Gran Canaria : Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008. pp. 32-34.

SENSORICX. SCADA: QUE ES, PARA QUE SIRVE, COMO FUNCIONA. [En línea] 23 de Mayo de 2018. Disponible en: <https://sensoricx.com/mediciones-e-instrumentacion/scada-que-es-para-que-sirve-ventajas-como-funciona/>.

STUDER. STUDER. [En línea] 2018. [Citado el: 16 de junio de 2022.] Disponible en: <https://www.studer-innotec.com/es/>.

STUDER MANUAL. STUDER Innotec SA. *User manual- Manuel utilisateur- Betriebsanleitung-Manual utilizador.* s.l. : Xtender, 2020. Vol. V4.2.2.

TALLURI, GIACOMO, ET AL. *Optimal Battery Energy Storage System Scheduling within.* s.l. : MDPI, 2021. pp. 1-4. 1996-1073.

TAPIA, CRISTIAN, ET AL. *Optimal Fuzzy-Based Energy Management Strategy to Maximize Self-Consumption of PV Systems in the Residential Sector in Ecuador.* s.l. : MDPI, 2022. p. 1. 1996-1073.

TORRES, LUIS, ET AL. *Implementación de Control Difuso para Optimización de Energía en Sistema Fotovoltaico.* Buenos Aires : XVII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control - RPIC 2017, 2017. pp. 1-6. 978-987-544-754-7.

UTPL. UTPL. [En línea] 24 de junio de 2021. Disponible en: <https://noticias.utpl.edu.ec/utpl-unica-universidad-en-el-sur-del-ecuador-con-paneles-solares>.

VALLE, A. Asesoría Valle Del Cauca Colombia. [En línea] 2021. Disponible en: <https://asesoriavalledelcauca.co/inversor-solar/>.

VAZQUEZ, J., ET AL. *Control PID y Difuso de un seguidor solar fotovoltaico para obtención de potencia nominal con sensor MPU6050.* Culiacán : Identidad Energética, 2019. pp. 1-7. 2448-7775.

VEGA, ORLANDO. *Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales.* Costa Rica : IICA, 2015. pp. 201-203.

VERA, ANDERSON, DELGADO, JHAN Y SEPÚLVEDA, SERGIO. *Validación del modelo matemático de un panel solar empleando la herramienta Simulink de Matlab.* Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta : Rev. Investig. Desarro. Innov., 2018. 2027-8306.

VIVIAN, JACOPO, ET AL. *Investigation on Individual and Collective PV.* s.l. : MDPI, 2022. pp. 1-5. 1996-1073.

ANEXOS

ANEXO A: Ficha técnica del equipo XTENDER

Modelo Inversor	XTS 900-12	XTS 1200-24	XTS 1400-48	XTM 1500-12	XTM 2000-12	XTM 2400-24	XTM 2600-48	XTM 3500-24	XTM 4000-48	XTH 3000-12	XTH 5000-24	XTH 6000-48	XTH 8000-48
Tensión nominal de batería	12Vdc	24Vdc	48Vdc	12Vdc	24Vdc	48Vdc	24Vdc	48Vdc	12Vdc	24Vdc	48Vdc	24Vdc	48Vdc
Campo de tensión de entrada	9.5-17Vdc	19-34Vdc	38-68Vdc	9.5-17Vdc	19-34Vdc	38-68Vdc	19-34Vdc	38-68Vdc	9.5-17Vdc	19-34Vdc	38-68Vdc	19-34Vdc	38-68Vdc
Potencia continua @ 25°C	650**/500VA	800**/650VA	900**/750VA	1500VA	2000VA	2400VA	2600VA	3000VA	3500VA	2500VA	4500VA	5000VA	7000VA
Potencia 30 min. @ 25°C	900**/700VA	1200**/1000VA	1400**/1200VA	1500VA	2000VA	2400VA	2600VA	3500VA	4000VA	3000VA	5000VA	6000VA	8000VA
Potencia 3 sec. @ 25°C	2.3kVA	2.5kVA	2.8kVA	3.4kVA	4.8kVA	6kVA	6.5kVA	9kVA	10.5kVA	7.5kVA	12kVA	15kVA	21kVA
Carga máxima	Hasta corto circuito												
Carga asimétrica máxima	Hasta Pcont												
* Detección de carga (stand-by)	2 a 25 W												
Cosp	0.1-1												
Rendimiento máximo	93%	93%	93%	93%	94%	96%	94%	96%	93%	94%	96%	94%	96%
Consumo OFF/Stand-by/ON	1.1W/1.4W/7W	1.2W/1.5W/8W	1.3W/1.6W/8W	1.2W/1.4W/8W	1.2W/1.4W/10W	1.4W/1.6W/9W	1.8W/2.1W/10W	1.4W/1.6W/12W	1.8W/2.1W/14W	1.2W/1.4W/14W	1.4W/1.8W/18W	1.8W/2.2W/22W	1.8W/2.4W/30W
* Tensión de salida	Sinusoidal pura 230Vac (+/- 2%) / 120Vac (1)												
* Frecuencia de salida	50Hz / 60Hz (1) +/- 0.05% (controlado por cuarzo)												
Distorsión armónica	<2%												
Cargador de batería													
* Características de carga	6 etapas: Bulk – Absorción – Flotación – Ecuilización – Flotación reducida – Absorción periódica												
* Corriente de carga máxima	35A	25A	12A	70A	100A	55A	30A	90A	50A	160A	140A	100A	120A
* Compensación por temperatura	Con BTS-01 o BSP 500/1200												
Corrección del factor de potencia (PFC)	EN 61000-3-2												
Datos generales	XTS 900-12	XTS 1200-24	XTS 1400-48	XTM 1500-12	XTM 2000-12	XTM 2400-24	XTM 2600-48	XTM 3500-24	XTM 4000-48	XTH 3000-12	XTH 5000-24	XTH 6000-48	XTH 8000-48
* Rango de tensión de entrada	150 a 265Vac / 50 a 140Vac (1)												
Frecuencia de entrada	45 - 65Hz												
Corriente máx. de entrada (relé de transferencia) / corriente máx. de salida	16Aac/20Aac			50Aac/56Aac						50Aac/80Aac			
Tiempo de transferencia (UPS)	<15ms												
Contactos multifuncionales	Módulo ARM-02 con 2 contactos, en opción			2 contactos independientes (libres de potencial con 3 puntos, 16Aac/5Aac)									
Peso	8.2 kg	9kg	9.3 kg	15 kg	18.5 kg	16.2 kg	21.2 kg	22.9 kg	34 kg	40 kg	42 kg	46 kg	46 kg
Dimensiones AxaxL [mm]	110x210x310	110x210x310	110x210x310	133x322x466			133x322x466			230x300x500	230x300x500	230x300x500	230x300x500
Índice de protección	IP54			IP20									
Conformidad	Directiva de Baja Tensión 2014/35/UE - EN 50178 – EN 62109-1 – EN 62109-2 – EN 62040-1 – EN 60950-1 – EN 62477-1 Directiva de Compatibilidad Electromagnética (CEM) 2014/30/UE - EN 62040-2:2006 - EN 61000-3-2:2014 - EN 61000-3-12:2011												
Rango de temperatura de trabajo	-20 a 55°C												
Humedad relativa de funcionamiento	100%			95% sin condensación									
Ventilación	Módulo de ventilación ECF-01 en opción			Forzada a partir de 55°C									
Nivel acústico	<40dB / <45dB (sin/con ventilación)												

ANEXO B: Ficha técnica del equipo VARIOTRACK

Modelo	VT-65			VT-80		
Características eléctricas lado módulos FV						
Potencia máx. recomendada del generador solar (@STC)	1000 W	2000 W	4000 W	1250 W	2500 W	5000 W
Tensión máx de circuito abierto	75 Vdc	150 Vdc		75 Vdc	150 Vdc	
Tensión máx de funcionamiento	75 Vdc	145 Vdc		75 Vdc	145 Vdc	
Tensión min de funcionamiento	Por encima de la tensión de batería					
Características eléctricas lado baterías						
Tensión nominal de batería	12 Vdc	24 Vdc	48 Vdc	12 Vdc	24 Vdc	48 Vdc
Corriente máx de salida	65 A			80 A		
Tensión nominal de batería	Ajuste automático/manual a 12 / 24 / 48 Vdc					
Tensión min de funcionamiento	Por encima de la tensión de batería, min 7V					
Prestaciones del equipo						
Rendimiento de conversión (en sistema típico de 48 Vdc)	> 99 %					
Autoconsumo máx en Stand-by (48 Vdc)	25 mA > 1.2 W					
Autoconsumo máx en Stand-by (24 Vdc)	30 mA > 0.8 W					
Autoconsumo máx en Stand-by (12 Vdc)	35 mA > 0.5 W					
Etapas de carga	4 etapas : Bulk, absorción, flotación, equalización					
Compensación de umbrales con temperatura de batería (disponible con accesorio BTS-01)	-3mV / °C / célula (ref. a 25°C) de fábrica ajustable -8 a 0 mV / °C					
Protecciones electrónicas						
Inversión de polaridad del generador FV	Hasta -150 Vdc					
Inversión de polaridad lado batería	Hasta -150 Vdc					
Sobretensión lado batería	Hasta 150 Vdc					
Sobre temperatura	Protegido					
Corriente inversa (de noche)	Protegido por relés					
Entorno						
Rango de temperatura de funcionamiento	-20 a 55°C					
Humedad	100 %					
Índice de protección	IP54, IEC/EN 60529:2001					
Lugar de montaje recomendado	Interior					
Datos generales						
Garantía	5 años					
Certificado ISO	9001:2008 / 14001:2004					
Peso	5.2 kg			5.5 kg		
Dimensiones A/a/l [mm]	120 / 220 / 310			120 / 220 / 350		
Funcionamiento en paralelo (cadenas FV separadas)	Hasta 15 equipos					
Sección de cable máx	35 mm ²					
Prensa estopas	M 20 x 1,5					
Comunicación						
Cable de comunicación	Bus de comunicaciónn Studer					
Control remoto y visualización	RCC-02/-03, Xcom-232i / Xcom-LAN / Xcom-GSM / Xcom-SMS					
Idiomas del menú	Castellano / Inglés / Francés / Alemán					
Data logging	Con RCC-02/-03 en tarjeta SD - un punto por minuto					
Conformidad con normas						
Declaración UE de conformidad	Directiva de Baja Tensión 2014/35/UE - EN 50178:1997 Directiva de Compatibilidad Electromagnética (CEM) 2014/30/UE - EN 61000-6-2:2005 - EN 61000-6-4:2007/A1:2011					
Accesorios						
Control remoto RCC-02 o RCC-03	•			•		
Módulo Xcom-232i	•			•		
Sets de comunicación Xcom-LAN / Xcom-GSM / Xcom-SMS	•			•		
Controlador del estado de carga de batería BSP	•			•		
Módulo con 2 contactos auxiliares ARM-02	•			•		
Módulo de ventilación ECF-01	•			Incluido		

ANEXO D: Ficha técnica de Xcom-232i

1. Contenido del set Xcom-LAN

- Xcom-232i
- Pasarela Ethernet
- Micro SD con adaptador
- Ethernet cable, 3m
- Cable RS-232, 0.25m
- Cable de alimentación RJ45-Jack, 0.3m
- Cable de comunicación, 2m
- Placa de fijación para el Xcom-232i
- 2x 2 clips de fijación para el DIN y sus tornillos
- Tacos

2. Material suplementario necesario

- Ordenador o teléfono móvil (Smartphone)
- Router
- Acceso a internet

3. Monte los diferentes productos en el sistema Xtender

Los productos deben montarse en una superficie plana.
 La distancia entre el Xcom-232i y el Sistema Xtender debe ser inferior a 10 metros.
 La distancia entre el Xcom-232i y la pasarela Ethernet no debe exceder los 0.25m.
 Todos los cables que necesita se entregan en el set.
CUIDADO!
 La carcasa metálica de la pasarela Ethernet está conectada al polo negativo de la batería a través del bus de comunicación. Debe siempre aislar la carcasa metálica de cualquier superficie metálica.

4. Cableado

- Conecte el cable Ethernet entre la pasarela y el router
- Conecte el cable serial entre la pasarela Ethernet y el Xcom-232i
- Conecte el cable de alimentación entre la pasarela Ethernet y el Xcom-232i
- Conecte el cable de comunicación entre el Xcom-232i y el Sistema Xtender

5. Ajuste las terminaciones del bus

Es muy importante ajustar las terminaciones del bus de comunicación de forma correcta para el buen funcionamiento del sistema.
 De forma general, cuando un equipo Studer tiene un cable de comunicación que le une con otros elementos de Studer, se tiene que ajustar la terminación del bus de comunicación en T. "Terminado". Cuando tenga dos cables conectados (ambos puertos usados), la terminación debe ponerse en O. "abierto".
 Sin embargo, en el caso del Xcom-LAN, aunque el Xcom-232i tenga 2 cables conectados en sus puertos RJ45, debe ponerse en posición T.

6. Encienda el sistema

7. Inserte la tarjeta Micro SD en el ordenador

8. Ejecute el Xcom-configurator

Seleccione "LAN" en Xcom mode. No se necesita ningún otro parámetro ya que la pasarela está preconfigurada. Pulse "Generate" para crear y almacenar los ficheros de configuración en la tarjeta. Se abrirá automáticamente una ventana confirmando la generación de los ficheros.

9. Tome nota de su archivo GUID

Al cerrar la ventana con el mensaje se abrirá un archivo con un número de identificación (GUID). Este archivo se guarda en su "escritorio" o en "Mis Documentos". Ese número de identificación único (GUID) se necesitará para vincular su instalación con su cuenta de usuario en el portal Xcom. Manténgalo guardado.

10. Inserte la tarjeta Micro SD en el Xcom-232i

Retire la tarjeta SD de su ordenador e insértela en el Xcom-232i. El proceso de instalación comenzará automáticamente y durará un segundo. Cuando el LED deje de parpadear, la instalación habrá terminado.
CUIDADO!
 El Xcom-232i necesita estar alimentado durante el proceso de instalación. Si no, no se podrá aplicar la configuración.

11. El Xcom se conecta al servidor

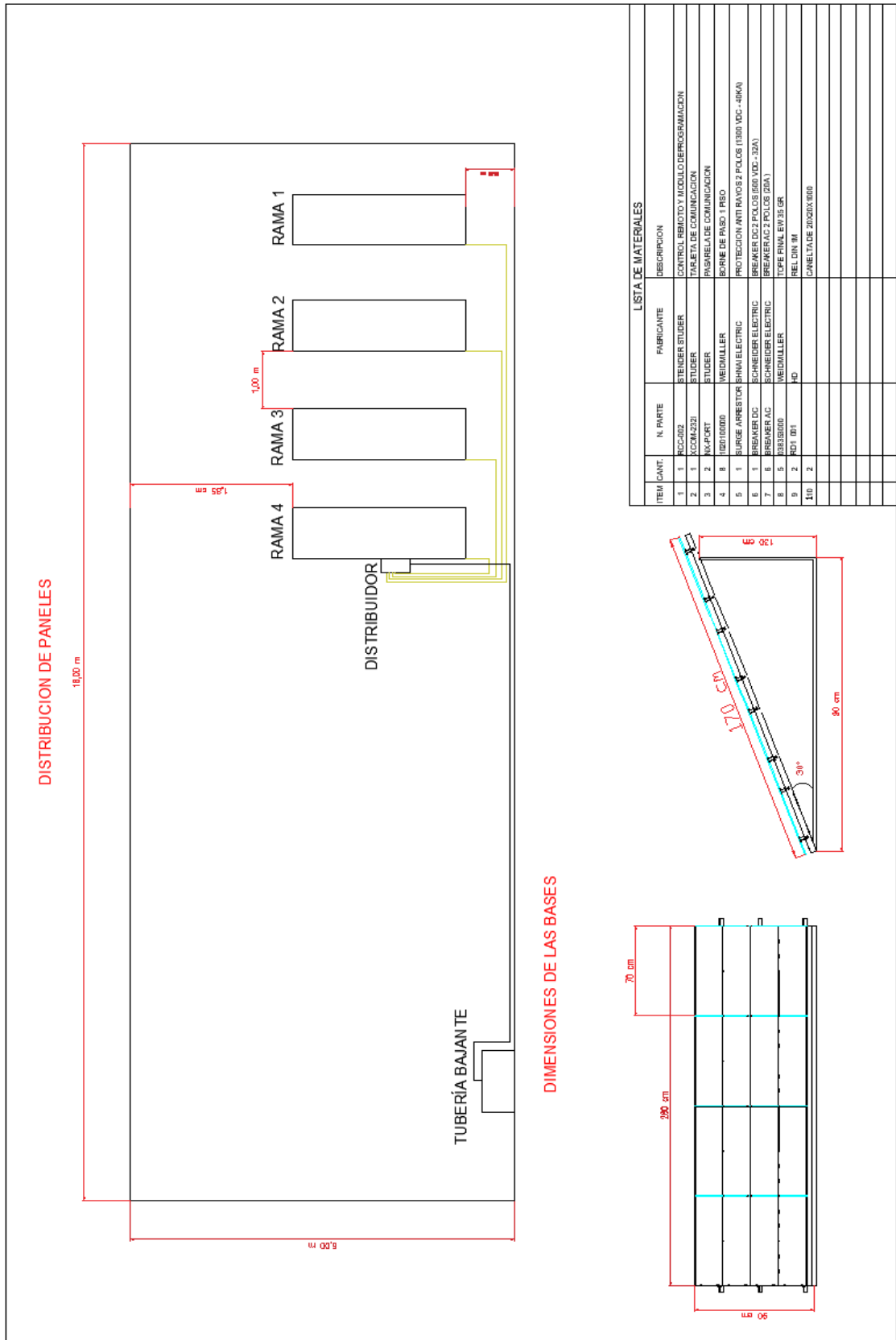
Después de aplicar y ajustar los parámetros, el Xcom-LAN se conectará automáticamente al servidor y enviará un mensaje de confirmación a la RCC. Si no aparece ningún mensaje es que el Xcom no está conectado al servidor. Use el PAQ de esta guía rápida para ver cuales pueden ser las causas.

El Xcom-LAN se ha instalado correctamente!

Registre su instalación en: <https://xcom.studer-imotec.com> para controlar su instalación a distancia con el Xcom-LAN.

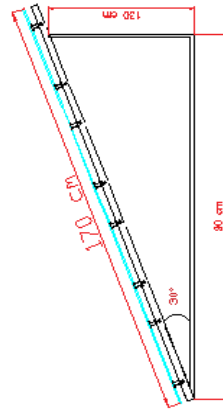
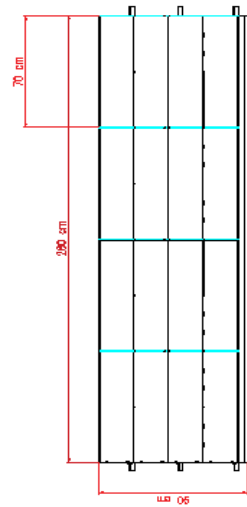
© Studer Imotec SA - version 1.2 ES

ANEXO E: Diseño de instalación de los paneles solares.



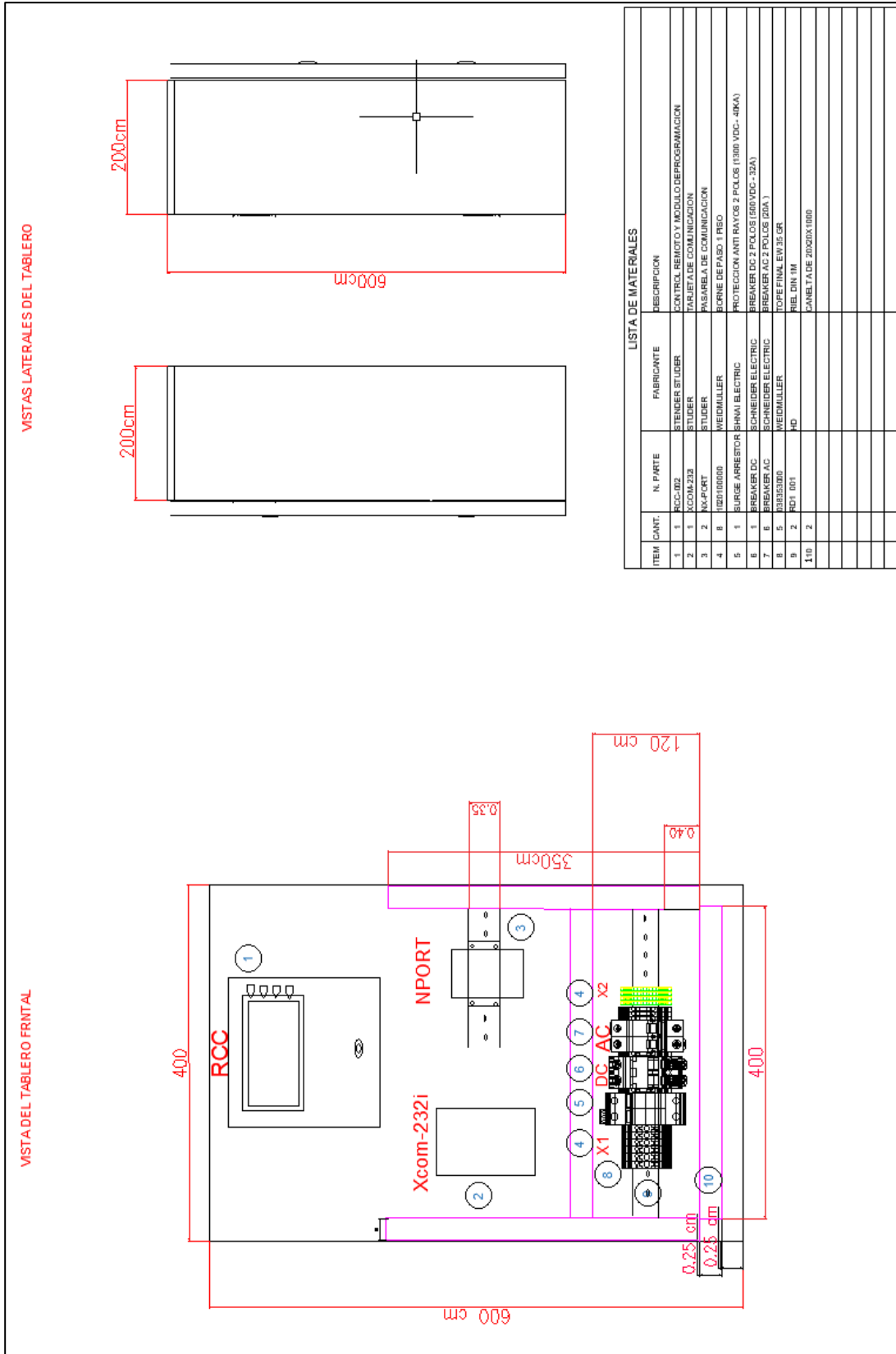
DISTRIBUCION DE PANELES

DIMENSIONES DE LAS BASES



LISTA DE MATERIALES			
ITEM CANT.	N. PARTE	FABRICANTE	DESCRIPCION
1	1000002	STENDER STUDEF	CONTROL REMOTO Y MÓDULO DE PROGRAMACION
2	1000003	STUDEF	TARJETA DE COMUNICACION
3	1000004	STUDEF	PANEL DE COMUNICACION
4	1000005	WEIDMULLER	BORNE DE PASO 1 FRSO
5	1000006	SHINA ELECTRIC	PROTECCION ANTI RAYOS 2 POLOS (1000 VDC - 40KA)
6	1000007	SCHNEIDER ELECTRIC	BREAKER DC 2 POLOS (600 VDC - 12A)
7	1000008	SCHNEIDER ELECTRIC	BREAKER AC 2 POLOS (20A)
8	1000009	WEIDMULLER	TIPOE FINAL EW 35 GR
9	1000010	HD	RELAY M
10	1000011	HD	CABLE TUBO 20X20X1000

ANEXO F: Diseño de instalación de los paneles solares.



ANEXO G: Código para iniciar el sistema y sus características.

```
%% INICIALIZAR SISTEMA
clc
clear all

%% TIEMPO DE MUESTREO
h = 1;
assignin('base','h',h);
%% SELECCIONAR SI SE VA A SIMULAR UN DIA (1)
Selector_perfil = 1;
assignin('base','Selector_perfil',Selector_perfil);
load datos_baterias.mat
%% GENERAR CURVA DE GENERACIÓN PV
% Seleccionar si el perfil:
% (1) No tiene perturbaciones (Día Soleado)
% (2) Tiene perturbaciones todo el día
% (3) Tiene perturbaciones solo en la mañana
% (4) tiene perturbaciones solo en la tarde
% (5) Tiene un día completamente nuboso todo el día (reduce el perfil a
% un 60% del total
% (6) Tiene un día nuboso solo en la mañana (reduce el perfil a un 60%
% del total solo en la mañana
% (7) Tiene un día nuboso solo en la tarde (reduce el perfil a un 60% del
% total solo en la tarde
% (8) Tiene un día completamente lluvioso todo el día (reduce el perfil a
% un 40% del total
Selector_tipo_clima = 8;
assignin('base','Selector_tipo_clima',Selector_tipo_clima);
generador_curva_PV;
% Curva_generacion_PV es el vector resultante dependiendo de la simulacion
% (dia, semana, mes)
generador_curva_PV_perturbaciones;
% Curva_generacion_perturbada_PV es el vector resultante dependiendo de la simulacion
% (dia, semana, mes)
%% CONFIGURAR EDIFICIO
Inicializar_Edificio;

%% Edificio Robótica
for i=1:length(Perfil_generacion)
tiempo(i) = i;
end;

%% CONFIGURAR CONTROL DIFUSO DEL EDIFICIO
Inicializar_fuzzy;
%% SIMULAR MODELO SIMULINK

% SIMULAR MANUALMENTE O HACERLO DIRECTAMENTE PERO HABRIA QUE EXTRAER LOS
% VECTORES DE LA ESTRUCTURA OUT.

%% CALCULO FINALES
Finalizar_Edificio;
```

ANEXO H: Código para inicializar el edificio y sus características de consumo

```
%% EDIFICIO ROBOTICA
%% DIMENSIONAMIENTO (AUMENTAR RAMAS PARA UNA BATERIA MÁS GRANDE)
Num_ramas_BT = 1;
assignin('base','num_ramas_BT',Num_ramas_BT);
Porcentaje_deg_BT = 0; % Modificar con el resultado del algoritmo de degradación
assignin('base','Porcentaje_deg_BT',Porcentaje_deg_BT);
Edificio_Robotica;

EDF_Perfil_generacion = Perfil_generacion;
EDF_P_BT_pos = P_BT_pos;
EDF_P_BT_neg = P_BT_neg;
assignin('base','EDF_Perfil_generacion',EDF_Perfil_generacion);
assignin('base','EDF_P_BT_pos',EDF_P_BT_pos);
assignin('base','EDF_P_BT_neg',EDF_P_BT_neg);
forward_control_generacion;
Prediccion_generacion = evalin('base','EDF_Prediccion_generacion');
assignin('base','Prediccion_generacion',Prediccion_generacion);
%% PERFIL DE CONSUMO DEL EDIFICIO DE ROBOTICA
Pot_minima = 50; % [W]
Pot_maxima = 1000; % [W]
Tipo_perfil_consumo = 6;
% (1) Consumo minimo TODOS LOS PERIODOS (Demanda Minima)
% (2) Pico de consumo PERIODO 3 Y PERIODO 4, valle de consumo PERIODO 2 Y PERIODO 5
% (3) Consumo PERIODO 2, PERIODO 3, PERIODO 4, PERIODO 5 (Demanda Media)
% (4) Pico de consumo PERIODO 2 Y PERIODO 3
% (5) Pico de consumo PERIODO 4 Y PERIODO 5 (Demanda Standard)
% (6) Pico de consumo TODOS LOS PERIODOS (Demanda Máxima)

assignin('base','Pot_minima',Pot_minima);
assignin('base','Pot_maxima',Pot_maxima);
assignin('base','Tipo_perfil_consumo',Tipo_perfil_consumo);
generador_consumo_end_user;
Pot_consumo_random = evalin('base','EDF_pot_consumo_random');
assignin('base','Pot_consumo_random',Pot_consumo_random);
EDF_pot_consumo_random = Pot_consumo_random;
assignin('base','EDF_pot_consumo_random',EDF_pot_consumo_random);
forward_control_consumo;
Prediccion_consumo = evalin('base','EDF_Prediccion_consumo');
assignin('base','Prediccion_consumo',Prediccion_consumo);
```

ANEXO I: Código para inicializar el banco y sus características eléctricas.

```
%% INICIALIZAR BATERIA
num_cells = 4;
num_boxes = 1;
num_branches = 1;
cap_cell = 150; %[Ah]
R_int = 0.004; %[Ohm]
V_cell = 12; %[V]
SOC_ini = 85; %[%]
SOC_min = 10; %[%]
SOC_max = 100; %[%]
WhKg = 90; %[Wh/Kg]
pfw = 0.8; %[-] constante densidad de energia
WhL = 177; %[Wh/L]
pfv = 0.7; %[-] constante densidad volumetrica
C_rate_ch = 1; %C rate de carga
C_rate_dch = 1; %C rate de descarga
EOL = 10; %porcentaje de degradación máximo [%]
Periodo_Rainflow_iterativo_dim = 90; %numero de días de análisis de la degradación
Pot_max_conv_BT = 1.4; %[kW] potencia maxima de convertidor
porcentaje_deg_actual = evalin('base','porcentaje_deg_actual'); %[%]
cap_cell_deg = cap_cell*(1 - (porcentaje_deg_actual/100));
%% Configurar Voc y Rint
SOC_range_Voc_ch_BT = evalin('base','SOC_range_Voc_A123_Ch');%rango Voc_ch(SOC)
Voc_ch_BT = evalin('base','Voc_A123_Ch');%Voc_ch
SOC_range_Rint_ch_BT = evalin('base','SOC_range');%rango Rint_ch(SOC)
Rint_ch_BT = evalin('base','Rint_ch_A123');%Rint_ch
SOC_range_Voc_dch_BT = evalin('base','SOC_range_Voc_A123_dCh');%rango Voc_dch(SOC)
Voc_dch_BT = evalin('base','Voc_A123_dCh');%Voc_dch
SOC_range_Rint_dch_BT = evalin('base','SOC_range');%rango Rint_dch(SOC)
Rint_dch_BT = evalin('base','Rint_dch_A123');%Rint_dch

assignin('base','SOC_range_Voc_ch_BT','SOC_range_Voc_ch_BT');
assignin('base','Voc_ch_BT','Voc_ch_BT');
assignin('base','SOC_range_Rint_ch_BT','SOC_range_Rint_ch_BT');
assignin('base','Rint_ch_BT','Rint_ch_BT');
assignin('base','SOC_range_Voc_dch_BT','SOC_range_Voc_dch_BT');
assignin('base','Voc_dch_BT','Voc_dch_BT');
assignin('base','SOC_range_Rint_dch_BT','SOC_range_Rint_dch_BT');
assignin('base','Rint_dch_BT','Rint_dch_BT');

%% ASIGNACION DE VARIABLES
Bateria.num_cells_batt = num_cells;
Bateria.num_boxes_batt = num_boxes;
Bateria.num_branches_batt = num_branches;
Bateria.cap_cell_batt = cap_cell;
Bateria.cap_cell_deg = cap_cell_deg;
Bateria.int_res_batt = R_int;
Bateria.cell_volt_batt = V_cell;
Bateria.SOC_initial_batt = SOC_ini;
Bateria.SOC_max_batt = SOC_max;
Bateria.SOC_min_batt = SOC_min;
Bateria.NomV_batt = V_cell*num_cells;
Bateria.NomQ_batt = cap_cell_deg*num_branches*num_boxes;
Bateria.R_batt = (R_int*num_cells)/(num_branches*num_boxes);
Bateria.E_batt = V_cell*num_cells*num_branches*num_boxes*cap_cell/1000;
Bateria.E_batt_deg = V_cell*num_cells*num_branches*num_boxes*cap_cell_deg/1000;
Bateria.E_tot_batt = Bateria.E_batt*(SOC_max/100)*(100-SOC_min)/100;
Bateria.w_batt = (Bateria.E_batt*1000)/(WhKg*pfw);
Bateria.v_batt = (Bateria.E_batt*1000)/(WhL*pfv);
Bateria.c_BT_E1 = Bateria.NomV_batt*0.88;
Bateria.c_BT_E3 = Bateria.NomV_batt*0.12;
Bateria.Q_BT_0 = Bateria.NomQ_batt*3600;
Bateria.U_BT_0 = Bateria.NomV_batt;
Bateria.I_BT_max_ch = Bateria.NomQ_batt*C_rate_ch;
Bateria.I_BT_max_dch = Bateria.NomQ_batt*C_rate_dch;
Bateria.Q_BT_IC = (Bateria.SOC_initial_batt/100)*3600*Bateria.NomQ_batt;
Bateria.Periodo_Rainflow_iterativo_dim = Periodo_Rainflow_iterativo_dim;
Bateria.EOL = EOL;
Bateria.Pot_max_conv = Pot_max_conv_BT;
Bateria.Pot_max_ch = Bateria.E_batt*C_rate_ch;
Bateria.Pot_max_dch = Bateria.E_batt*C_rate_dch;
assignin('base','Bateria',Bateria);
%% LIMPIEZA
clear num_cells;
clear num_boxes;
clear num_branches;
clear cap_cell;
clear R_int;
clear V_cell;
clear SOC_ini;
clear SOC_min;
clear SOC_max;
clear WhKg;
clear pfw;
clear WhL;
clear pfv;
clear C_rate_ch;
clear C_rate_dch;
clear Pot_max_conv_BT;
clear cap_cell_deg;
```


ANEXO K: Código en App Designer para escribir los datos en el panel principal.

```
function BuscarButtonPushed(app, event)

Ao1 = [app.AoSpinner.Value-2000]*10000;
Mes1 = (app.MesSpinner.Value)*100;
Dia1 = app.DaSpinner.Value;
ta=num2str(Ao1+Mes1+Dia1);
datax=strcat('C:\Users\Sebastián Velásquez\Documents\Semestre 9 (M3 - Auto)\Trabajo de Integración Curricular\TESIS\MATLAB Tesis\Modelo EDIFICIO ROBÓTICA\LG',ta, '.CSV');
DLG=readtable(datax);

PSOL=DLG(:,35);
Var35 = PSOL(1:1440,1);
ESOL=sum(Var35)/60;
app.GeneracionEditField.Value=ESOL;

PCARGA=DLG(:,18);
Var18 = PCARGA(1:1440,1);
ECARGA=sum(Var18)/60;
app.ConsumoEditField.Value=ECARGA;

EBAT=ESOL-ECARGA;
app.BancodeBaterasEditField.Value=EBAT;

end
```

ANEXO L: Código en App Designer para graficar las curvas en el panel de graficas.

```
function GraficarButtonPushed(app, event)
Ao1 = (app.AoSpinner.Value-2000)*10000;
Mes1 = [app.MesSpinner.Value]*100;
Dia1 = app.DaSpinner.Value;
tb=num2str(Ao1+Mes1+Dia1);
datax=strcat('C:\Users\Sebastián Velásquez\Documents\Semestre 9 (M3 - Auto)\Trabajo de Integración Curricular\TESIS\MATLAB Tesis\Modelo EDIFICIO ROBÓTICA\LG',tb, '.CSV');
DLG=readtable(datax);

PSOL=DLG(:,35);
Var35 = PSOL(1:1440,1);
ESOL=sum(Var35)/60;
plot(app.UIAxes,Var35)

PCARGA=DLG(:,18);
Var18 = PCARGA(1:1440,1);
ECARGA=sum(Var18)/60;
plot(app.UIAxes_2,Var18)

EBAT=ESOL-ECARGA;
gg=[ESOL,ECARGA,EBAT]
bar(app.UIAxes3,gg)
end
```

ANEXO M: Código en App Designer para escribir los datos energéticos de los equipos.

```
function BuscarButtonPushed(app, event)
Ao1 = (app.AoSpinner.Value-2000)*10000;
Mes1 = (app.MesSpinner.Value)*100;
Dia1 = app.DaSpinner.Value;
ta=num2str(Ao1+Mes1+Dia1);
datax=strcat('C:\Users\Sebastián Velásquez\Documents\Semestre 9 (M3 - Auto)\Trabajo de Integración Curricular\TESIS\MATLAB Tesis\Modelo EDIFICIO ROBÓTICA\LG',ta, '.CSV');
DLG=readtable(datax);

VXT=DLG(:,15);
Var15 = VXT(1:1440,1);
VXTPROM=sum(Var15)/1440;
app.VoltajeINEditField.Value=VXTPROM;

IXT=DLG(:,16);
Var16 = IXT(1:1440,1);
IXTPROM=sum(Var16)/60;
app.CorrienteINEditField.Value=IXTPROM;

PCARGA=DLG(:,18);
Var18 = PCARGA(1:1440,1);
ECARGA=sum(Var18)/60;
app.PotenciaINEditField.Value=ECARGA;

VVT=DLG(:,26);
Var26 = VVT(1:1440,1);
VVTPROM=sum(Var26)/1440;
app.VoltajeCCEditField.Value=VVTPROM;

IVT=DLG(:,25);
Var25 = IVT(1:1440,1);
IVTPROM=sum(Var25)/60;
app.CorrienteCCEditField.Value=IVTPROM;

PSOLVT=DLG(:,35);
Var35 = PSOLVT(1:1440,1);
ESOLVT=sum(Var35)/60;
app.PotenciaCCEditField.Value=ESOLVT;
end
```



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 19 / 09 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: BRISHITH ALEXANDRA FALCÓN MENDOZA ÁNGEL SEBASTIÁN VELÁSQUEZ BENAVIDES
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

1881-DBRAI-UPT-2022

