



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ingeniería Electrónica

Desarrollo de una herramienta de validación de equipos de
almacenamiento energético basados en fuentes
fotovoltaicas

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Sistemas Electrónicos

AUTOR/A: Orta Mcguinness, Ana

Tutor/a: Garcerá Sanfeliú, Gabriel

Cotutor/a: Figueres Amorós, Emilio

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

Máster en Ingeniería de Sistemas Electrónicos



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



**Desarrollo de una herramienta de
validación de equipos de
almacenamiento energético basados en
fuentes fotovoltaicas**

Autora:
Ana Orta McGuinness
Tutor:
Gabriel Garcerá Sanfeliú
Cotutor:
Emilio Figueres Amorós

Curso 2023-24
VALÈNCIA

Resumen

Este TFM se enfoca en optimizar el proceso de validación de equipos de almacenamiento de energía fotovoltaica mediante el desarrollo de una aplicación innovadora. La investigación aborda la necesidad de mejorar el proceso de validación de una empresa líder en este campo, que busca maximizar la calidad y eficiencia a la hora de validar sus productos antes de que lleguen a mercado. El objetivo principal es diseñar una solución mediante LabVIEW para controlar las fuentes de simulación de energía fotovoltaica en un laboratorio. Esta herramienta permitirá simular diversos escenarios, como inyectar una potencia constante, generar una curva FV ideal con opciones personalizadas y simular condiciones de radiación solar reducida. La solución agilizará el proceso de validación al ofrecer una interfaz intuitiva y flexible, reemplazando la necesidad de programación manual y permitiendo una validación más precisa y eficiente.

Abstract

This Master's thesis focuses on enhancing the validation process of photovoltaic energy storage systems through the development of an innovative application. This research studies the necessity to enhance the validation process within a leading company in this field, aiming to optimize the quality and efficiency in validating their products before market release. The primary objective is to create an application, using LabVIEW, to control the photovoltaic energy simulation devices located in the laboratory. This tool will enable the simulation of various scenarios, such as injecting a constant power, generating an ideal FV curve with customizable options, and simulating conditions of reduced solar radiation. The application will make the validation process more agile by providing an intuitive and adaptable interface, replacing the need for manual programming, and enabling a more precise and efficient validation process.



Índices

Contenido

Resumen	2
Abstract	2
Índices	3
Contenido	3
Imágenes	5
Acrónimos	7
1 Introducción	8
2 Objetivos	9
3 Alcance de la empresa	10
3.1. Productos de almacenamiento energético	10
3.2. Fuentes de simulación de energía FV	12
4 Metodología de validación	16
4.1. Documentación	16
4.1.1. Casos de prueba	16
4.1.2. Plan de pruebas	16
4.1.3. Resultados del plan de pruebas	17
4.2. Procedimiento de validación	17
4.2.1. Pasos previos	17
4.2.2. Fase de validación	17
4.2.3. Final del proceso	18
5 Carencias actuales	20
6 Solución propuesta	22
7 Explicación de la herramienta	24
7.1. Investigación previa	24
7.1.1. ModBus RTU	25
7.2. Actualización de fuentes de simulación de FV	25
7.3. Drivers	27
7.3.1. VIs: Leer y escribir	29

7.4.	Gestión de eventos	30
7.5.	Main	32
7.5.1.	Estructura de eventos	33
7.5.2.	Estructura de casos	39
8	Resultados obtenidos	47
8.1.	Inyección de Potencia FV constante	47
8.2.	Inyección de Potencia FV aleatoria.....	47
8.3.	Simulación de una curva FV	52
9	Conclusiones	54
10	Bibliografía.....	55
Anexo A: Hoja de características de equipos de almacenamiento energético		57
Anexo A1: Hoja de características del Equipo Monofásico con una Batería		57
Anexo A2: Hoja de características del Equipo Monofásico con Varios Módulos de Baterías		58
Anexo A3: Hoja de características del Equipo Trifásico con Varios Módulos de Baterías		59
Anexo B: Documentos de Elektro-Automatik		60
Anexo B1: Guía de Programación Modbus.....		60
Anexo B2: Listas de Registros Modbus		61
Anexo B3: Manual de Usuario		62
Anexo B4: Hoja de Características.....		63
Anexo B5: Guía de usuario para interfaces VIs		64
Anexo B6: Instalación de interfaces VIs		65

Imágenes

Ilustración 3.1: Equipo monofásico con una batería [4]	10
Ilustración 3.2: Equipo monofásico con dos batería [5].....	11
Ilustración 3.3: Equipo trifásico con dos baterías [6].....	12
Ilustración 3.4: Fuente de alimentación bidireccional PSI-90 de Elektro-Automatik [7]	13
Ilustración 3.5: Etiquetas de información de las fuentes de alimentación bidireccional PSI-9000-3U.....	13
Ilustración 3.6: Conexionado entre la fuente de FV y el equipo monofásico con una batería	14
Ilustración 3.7: Conexionado entre la fuente de FV y el equipo monofásico con dos baterías...	14
Ilustración 3.8: Conexionado entre la fuente de FV y el equipo trifásico	15
Ilustración 4.1: Procedimiento de Validación	19
Ilustración 5.1: Actualización de FW a través de EA-Power Control.....	20
Ilustración 6.1: Inyección de Potencia FV Constante	22
Ilustración 6.2: Inyección de Potencia FV aleatoria.....	23
Ilustración 6.3: Simulación de una curva FV	23
Ilustración 7.1: Puertos opcionales de la serie PSI-9000-3U [7].....	24
Ilustración 7.2: Puerto USB de la serie PSI-9000-3U	24
Ilustración 7.3: Actualización de FW a través de EA-Power Control (1)	25
Ilustración 7.4: Actualización de FW a través de EA-Power Control (2)	26
Ilustración 7.5: LabVIEW Diagrama de bloques - VI para PSI 9000 3U	27
Ilustración 7.6: LabVIEW Panel Frontal - VI para PSI 9000 3U.....	28
Ilustración 7.7: Registros proporcionados por EA para enviar comandos	28
Ilustración 7.8: LabVIEW Diagrama de Bloques - MPP Voltage STC	29
Ilustración 7.9: LabVIEW Diagrama de Bloques – Write and Read	29
Ilustración 7.10: Espera de 500 ms de la guía de programación.	29
Ilustración 7.11: LabVIEW Diagrama de Bloques – Combinación de estructuras de eventos y colas.....	30
Ilustración 7.12: LabVIEW – Eventos del Panel Frontal.....	31
Ilustración 7.13: LabVIEW – Control de estados del case structure.....	31
Ilustración 7.14: LabVIEW Panel Frontal – Herramienta completa	32
Ilustración 7.15: LabVIEW Diagrama de Bloques – Herramienta completa	32
Ilustración 7.16: LabVIEW Panel Frontal – Selección de modelo de fuente FV.....	33
Ilustración 7.17: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques – Selección del puerto COM	34
Ilustración 7.18: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques – Selección de equipo de almacenamiento energético	34
Ilustración 7.19: LabVIEW Panel Frontal – Cambio en la interfaz de usuario de los rangos de tensión y corriente según modelo de fuente FV seleccionado	35
Ilustración 7.20: LabVIEW Panel Frontal – Selección de curva FV	35
Ilustración 7.21: LabVIEW Diagrama de Bloques– Selección de curva FV	36
Ilustración 7.22: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Curva FV constante	36
Ilustración 7.23: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Curva FV aleatoria.....	37
Ilustración 7.24: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Curva FV (1).....	37
Ilustración 7.25: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Curva FV (2).....	38
Ilustración 7.26: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Activar y desactivar la inyección de FV	38
Ilustración 7.27: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Cerrar herramienta.....	39

Ilustración 7.28: LabVIEW Diagrama de Bloques – Abrir el puerto COM.....	39
Ilustración 7.29: LabVIEW Diagrama de Bloques – VI para configurar el puerto COM.....	39
Ilustración 7.30: LabVIEW Diagrama de Bloques – VI para configurar la fuente FV	40
Ilustración 7.31: LabVIEW Diagrama de Bloques – Cerrar herramienta	41
Ilustración 7.32: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Activar la inyección de FV	41
Ilustración 7.33: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Desactivar la inyección de FV	42
Ilustración 7.34: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Fijar voltaje de la fuente de FV.....	42
Ilustración 7.35: Parámetros configurables para una curva FV	43
Ilustración 7.36: LabVIEW Diagrama de Bloques– Generar un array de una curva FV ideal ...	43
Ilustración 7.37: LabVIEW Panel Frontal – Ejemplos de dos curvas FV generadas.....	44
Ilustración 7.38: LabVIEW Diagrama de Bloques– Generar un array de una curva FV en día nublado.....	44
Ilustración 7.39: LabVIEW Diagrama de Bloques– Generar un array aleatorio	45
Ilustración 7.40: LabVIEW Diagrama de Bloques– Fijar tensión de la fuente de FV para una curva constante.....	45
Ilustración 7.41: LabVIEW Diagrama de Bloques– Fijar tensión de la fuente para una curva de FV y FV aleatoria.....	45
Ilustración 7.42: LabVIEW Diagrama de Bloques– Timeout para las distintas curvas FV	46
Ilustración 7.43: LabVIEW Diagrama de Bloques– Mostrar la potencia inyectada	46
Ilustración 8.1: FV constante medida por el equipo de almacenamiento energético	47
Ilustración 8.2: FV aleatoria mostrada por la herramienta	48
Ilustración 8.3: FV aleatoria medida por el equipo de almacenamiento energético.....	48
Ilustración 8.4: Montaje en el laboratorio para medir la FV aleatoria recibida en el equipo de almacenamiento energético	49
Ilustración 8.5: FV aleatoria medida con osciloscopio y pinza amperimétrica.....	50
Ilustración 8.6: 20 primeras muestras de potencia FV medida en el equipo de almacenamiento energético	51
Ilustración 8.7: 20 últimas muestras de potencia FV medida en el equipo de almacenamiento energético	51
Ilustración 8.8: FV aleatoria mostrada por la herramienta mostrando las primeras y últimas 20 señales	51
Ilustración 8.9: FV ideal mostrada por la herramienta.....	52
Ilustración 8.10: FV ideal medida por el equipo de almacenamiento energético.....	52
Ilustración 8.11: FV en día nublado mostrada por la herramienta	52
Ilustración 8.12: FV en día nublado medida por el equipo de almacenamiento energético.....	53

Acrónimos

Acrónimo	Descripción
DUT	Device Under Test
EA	Elektro-Automatik
FV	Fotovoltaica
GPIB	General Purpose Interface Bus
MPPT	Maximum Power Point Tracking
NI	National Instruments
PC	Personal Computer
POE	Programación Orientada a Eventos
RTU	Unidad Terminal Remota
SCPI	Standard Commands for Programmable Instruments
STC	under Standard Test Conditions
USB	Universal Serial Bus
VI	Virtual Instrument

1 Introducció

En un mundo cada vez más enfocado en fuentes de energía sostenibles, el almacenamiento se ha convertido en una solución imprescindible para optimizar el uso de energías renovables. Esto ha impulsado el desarrollo de equipos de almacenamiento energético cada vez más avanzados para evitar vertidos de energía limpia. En este contexto, la validación rigurosa de estos equipos antes de su lanzamiento al mercado cobra una alta importancia. [1] [2]

Esta investigación se centra en el proceso y las herramientas de validación de equipos de almacenamiento energético, específicamente aquellos destinados a la energía fotovoltaica. Con el objetivo de optimizar este proceso de validación, se plantea el desarrollo de una solución que facilite el control y la gestión de fuentes de energía fotovoltaica que simularán la instalación FV de un cliente final. Esta aplicación no solo agilizará el proceso de validación, sino que también permitirá una monitorización más precisa y una mayor flexibilidad en la adaptación a diferentes escenarios de prueba.

2 Objetivos

El objetivo del TFM es desarrollar una herramienta en LabVIEW para poder controlar una fuente de FV en laboratorio y mejorar así el procedimiento del departamento de validación de una empresa cuya actividad principal es el desarrollo de equipos de almacenamiento energético inteligente. Para ello se necesita el desarrollo en LabVIEW de drivers de comunicación de las fuentes de simulación de FV, así como una aplicación para poder controlarlos. Actualmente, la empresa en cuestión cuenta con una fuente de FV en el laboratorio que no tiene una buena interfaz y que hay que programar manualmente, lo cual hace que los tiempos no estén optimizados durante el proceso de validación. Esta herramienta permitirá al usuario simular tres escenarios fácilmente:

- Inyectar una potencia FV constante. Las opciones de configuración que tendrá el usuario son la tensión y corriente deseadas.
- Inyectar una potencia FV cambiante. El usuario tendrá que indicar el rango de potencias deseado (potencia máxima y mínima) y el tiempo de simulación.
- Simular una curva FV ideal. Los parámetros necesarios son:
 - El tiempo de noche, en el que la potencia será 0.
 - La duración de la curva.
 - Potencia máxima a la que llegará la curva.
- Simular una curva de FV en un día nublado: Las opciones de configuración son las mismas que en el caso anterior, pero en este caso, la curva no será ideal si no que simulará un día con poca radiación solar.

3 Alcance de la empresa

La empresa de este estudio es una empresa que fabrica sistemas inteligentes de gestión de energía solar y almacenamiento de excedentes para aprovechar al máximo la energía generada por sistemas fotovoltaicos. [3] Permite la utilización del 100% de dicha energía, nivelando así la rentabilidad de la energía solar con otras fuentes más contaminantes. El área de validación, por tanto, desempeña un papel crucial en garantizar la eficacia y la calidad de sus productos. Dado que estos sistemas están diseñados para maximizar la utilización de la energía generada por sistemas fotovoltaicos, la validación se convierte en un paso fundamental para asegurar que cumplen con los estándares de rendimiento y eficiencia esperados.

3.1. Productos de almacenamiento energético

Entre otros elementos, los equipos enfocados a uso doméstico se componen de un inversor, baterías y una placa, lo que permite compensar consumos más elevados, proporcionando ahorros mayores, gracias a la entrega de potencia simultánea desde la batería y los paneles. Estos equipos se consideran como cajas negras en el presente estudio. Es decir, lo único que se debe saber es que sus inversores funcionan a distintas potencias y, por lo tanto, las potencias de FV que inyectarán serán distintas. Los equipos son:

- **Equipos monofásicos con una batería**

Es un sistema monofásico de gestión energética, con capacidad de almacenamiento hasta 6 kWh, con una potencia de hasta 6 kW, una única entrada MPPT y un amplio rango de tensiones, por lo que es flexible a la instalación de diferentes strings de paneles. (Ver Anexo A1) [4]

La siguiente imagen muestra el equipo y los distintos componentes que lo forman. Es decir, inversor, batería y la placa de control que gestiona la energía. También se indica la entrada FV que será necesario para el siguiente capítulo:

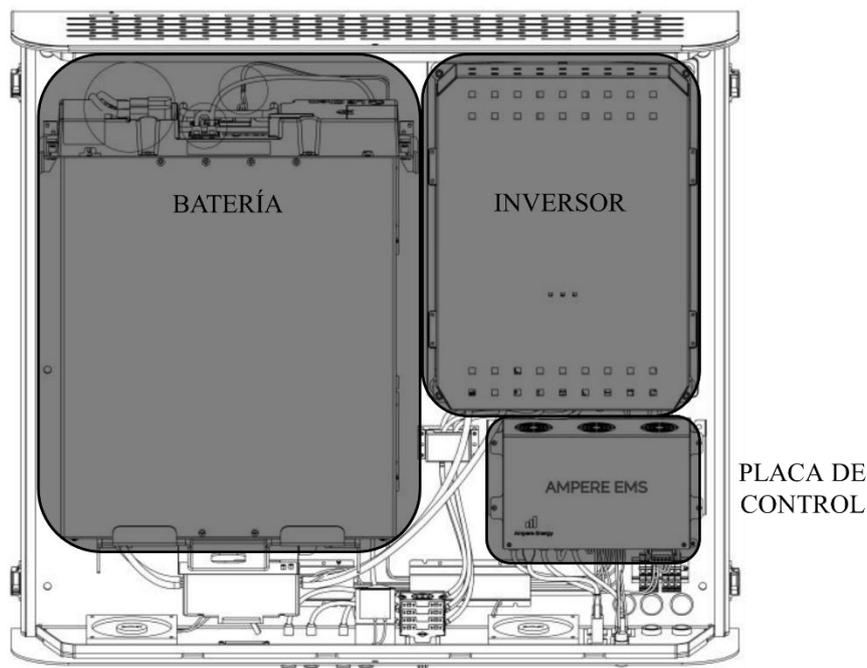


Ilustración 3.1: Equipo monofásico con una batería [4]

- **Equipos monofásicos con varios módulos de baterías**

Es un sistema monofásico de gestión energética, con capacidad de almacenamiento hasta 12 kWh y con una potencia de hasta 6 kW. Tiene dos entradas MPPT por lo que se consigue que el equipo sea compatible con instalaciones de paneles en viviendas con tejados a dos aguas y en espacios reducidos. (Ver Anexo A2) [5]

La siguiente imagen muestra el equipo y los distintos componentes que lo forman:

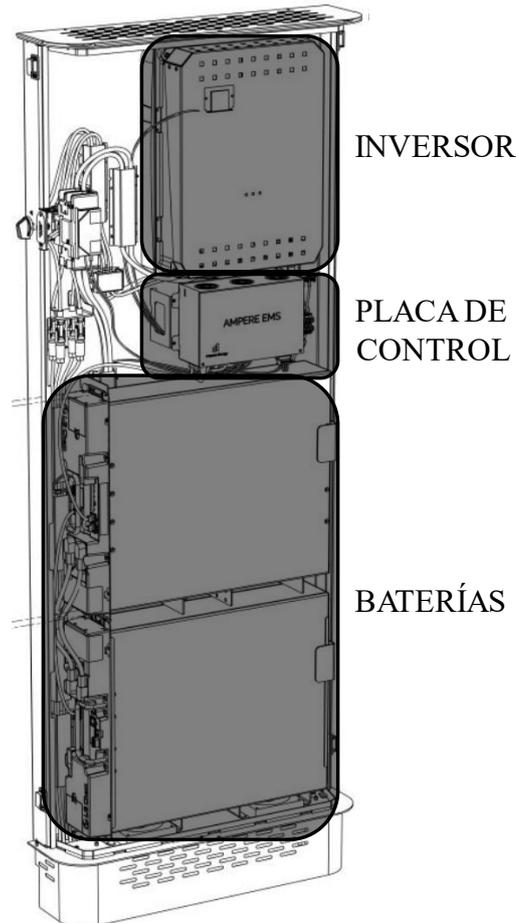


Ilustración 3.2: Equipo monofásico con dos batería [5]

- **Equipos trifásicos con varios módulos de baterías**

Es un sistema trifásico de gestión energética, con capacidad de almacenamiento hasta 36 kWh y con una potencia de hasta 9 kW. Al igual que el equipo anterior, tiene dos entradas MPPT. (Ver Anexo A3) [6]

A continuación, se muestra la vista de la parte superior del equipo, en la que se pueden observar los distintos componentes que lo forman. En este caso, sólo contiene dos módulos de baterías, por simplificación de la imagen, pero puede llegar a contener hasta 6 módulos.

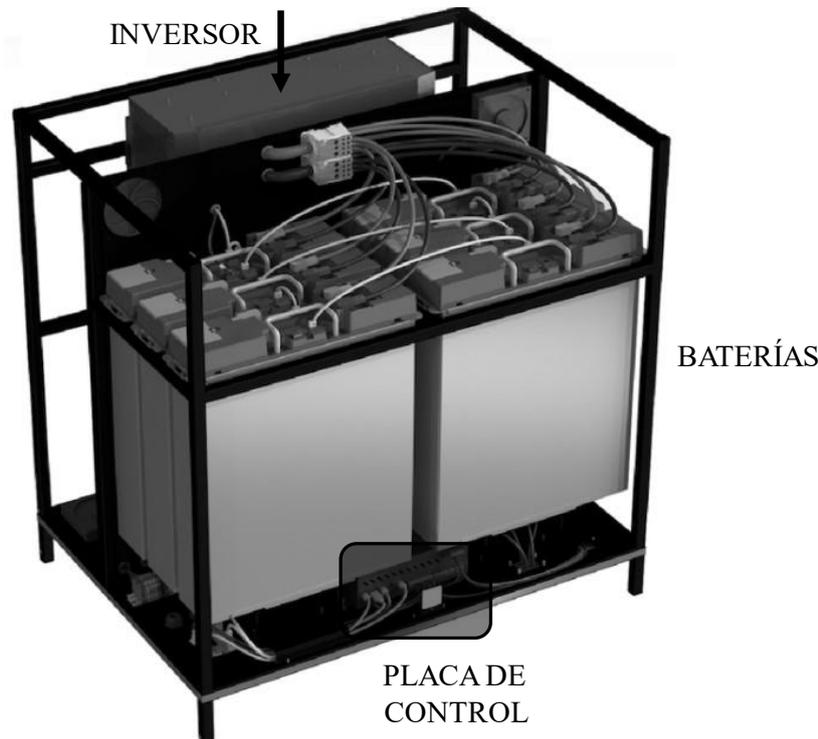


Ilustración 3.3: Equipo trifásico con dos baterías [6]

El Punto de Máxima Potencia (MPPT, por sus siglas en inglés) en un sistema fotovoltaico se calcula mediante la búsqueda y seguimiento de la combinación óptima de voltaje y corriente en la que el panel solar genera la mayor potencia eléctrica. Este es el punto en el que se obtiene la máxima eficiencia de conversión de la energía solar en electricidad utilizable y el algoritmo usado para esto se llama Seguimiento del Punto de Máxima Potencia. Estos equipos tienen un rango de máxima tensión y corriente MPPT que deberemos tener en cuenta a la hora de diseñar nuestra aplicación:

	Monofásicos		Trifásicos	
	Min	Max	Min	Max
Tensión [V]	150	480	380	750
Corriente [A]	0	12	0	18

3.2. Fuentes de simulación de energía FV

Entre otros equipos, el laboratorio de validación cuenta con dos fuentes de simulación de energía FV, que son dispositivos utilizados en entornos de laboratorio para emular las curvas de generación de energía de un sistema fotovoltaico, como paneles solares. Su función principal es reproducir de manera controlada las condiciones de generación de energía solar para evaluar y validar el desempeño de equipos o sistemas que utilizan esa energía. En nuestro caso, sistemas de almacenamiento energético. Los equipos son dos fuentes de alimentación bidireccionales de laboratorio de la serie PSI-9000-3U, fabricada por Elektro-Automatik. Una es de 5 y la otra de 10 kW de potencia, y tienen este aspecto:



Ilustración 3.4: Fuente de alimentación bidireccional PSI-90 de Elektro-Automatik [7]

Al tener bidireccionalidad, permite la conversión de energía tanto de la fuente hacia el dispositivo bajo prueba como del dispositivo hacia la fuente, lo que facilita pruebas de carga y descarga. Está diseñada para su uso en entornos de laboratorio y pruebas, donde se requiere una fuente de alimentación precisa y controlable. [8]

Deberemos tener en cuenta los límites de tensión y corriente que tienen cada uno a la hora de simular las curvas:

	Modelo 5 kW: PSI 9750-20		Modelo 10 kW: PSI 9750-40	
Tensión [V]	0	750	0	750
Corriente [A]	0	20	0	40



Ilustración 3.5: Etiquetas de información de las fuentes de alimentación bidireccional PSI-9000-3U

Por último, se explica gráficamente cómo conectaremos la fuente de simulación de FV a los equipos de almacenamiento energético descritos anteriormente:

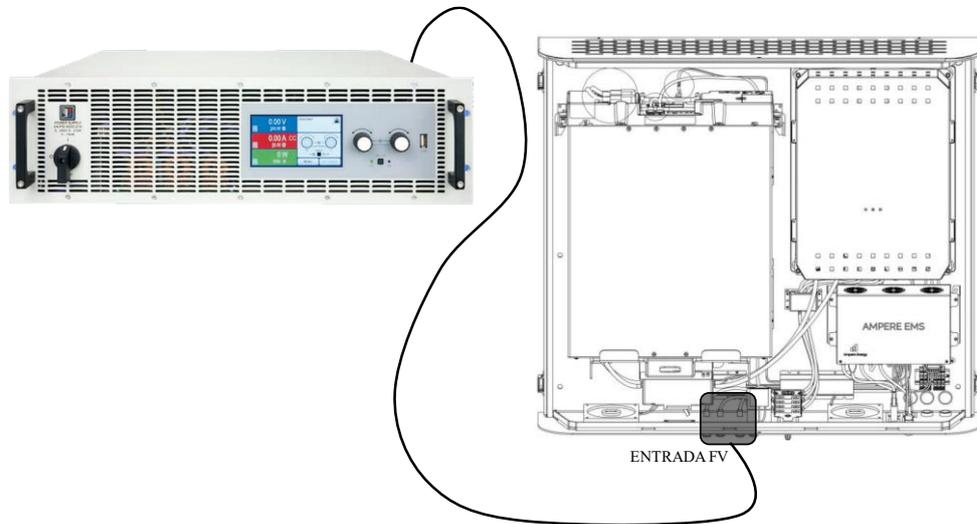


Ilustración 3.6: Conexión entre la fuente de FV y el equipo monofásico con una batería

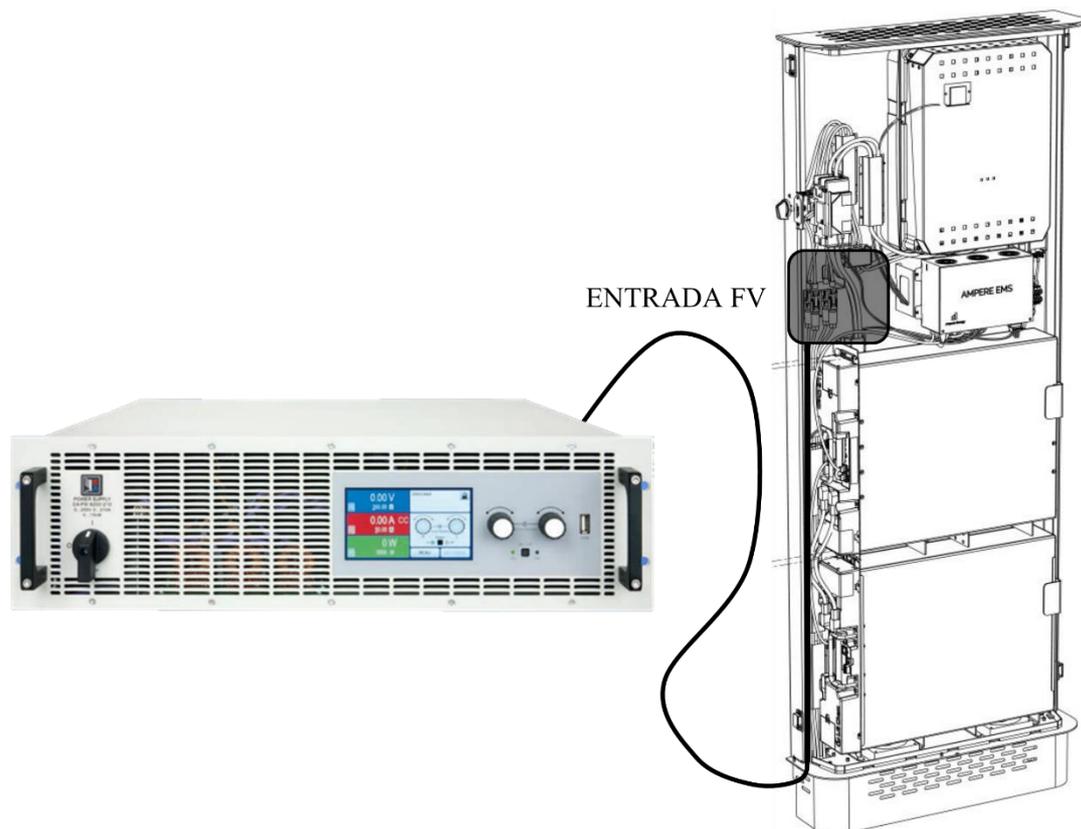


Ilustración 3.7: Conexión entre la fuente de FV y el equipo monofásico con dos baterías

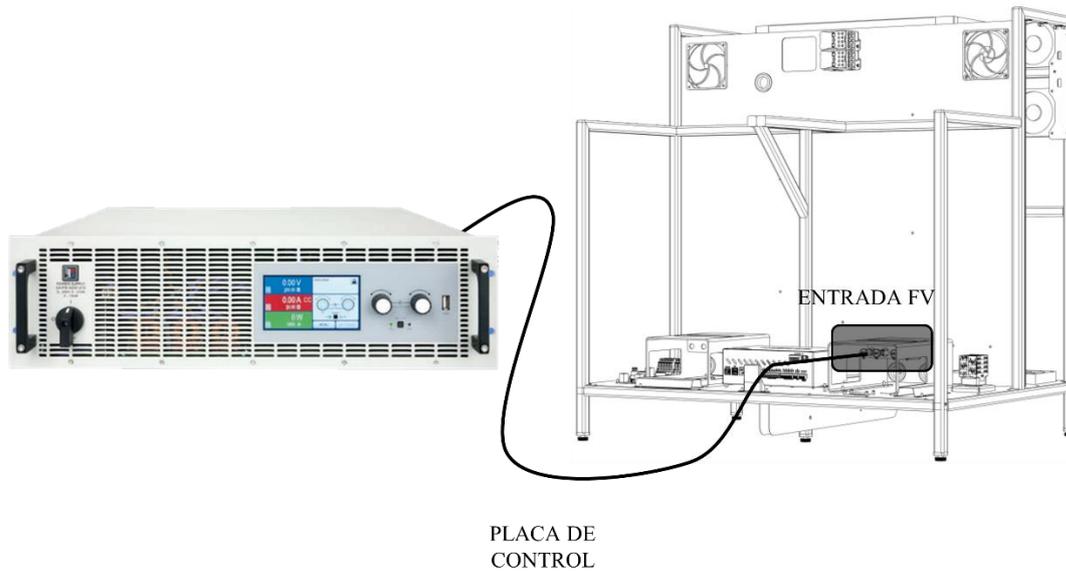


Ilustración 3.8: Conexión entre la fuente de FV y el equipo trifásico

El siguiente capítulo profundiza en las tareas del departamento de validación para entender mejor el papel que toman los equipos de laboratorio.

4 Metodología de validación

El departamento de validación trabaja con los siguientes documentos, que se van actualizando con las últimas funcionalidades desarrolladas:

4.1. Documentación

4.1.1. Casos de prueba

Un caso de prueba es un conjunto de condiciones bajo las cuales se determinará si una prueba resulta o no aceptable. Es decir, es la descripción detallada de la ejecución de una prueba. Define la forma de testear diferentes funcionalidades de todos los dispositivos de la compañía. Incluye:

- Condiciones Previas: Condiciones antes de comenzar la prueba como la configuración del dispositivo bajo prueba (DUT), las cargas que se conectarán, entrada de FV, etc.
- Escenario: Cómo conectar el equipo en el laboratorio y las características de dicho DUT
- Ejecución: Descripción detallada de los pasos a ejecutar para cumplir con la prueba
- Aceptado / Rechazado: Condiciones que le permiten al equipo de validación decidir que el DUT ha pasado la prueba
- Resultados: Gráficas, fotos, videos, archivos... necesarios para justificar los resultados

Estos casos de prueba se utilizarán para crear el Plan de Pruebas para validar los productos. Como este documento puede ser bastante extenso, sólo se debe usar como documento de referencia.

4.1.2. Plan de pruebas

El plan de pruebas es un conjunto de casos de prueba (vistos en el apartado anterior) que validarán el nuevo producto. Hay casos de prueba particulares para cada funcionalidad o producto, por lo que el plan de pruebas define cuáles aplican al producto a probar.

Como se ha mencionado anteriormente, el documento de casos de pruebas es muy extenso por lo que existe una herramienta en Excel usada para filtrar las pruebas que aplican por departamento, producto y criticidad. Esta herramienta incluye una lista de todas las pruebas posibles y, siguiendo los siguientes pasos, se genera el plan de pruebas:

- Seleccione la funcionalidad que se quiere probar
- Seleccione el producto a probar
- Filtre por criticidad. Los niveles de criticidad son:
 - Crítico: Son las pruebas más delicadas. Si este tipo de pruebas no pasan, el nuevo producto no puede ser lanzado
 - Saneamiento: Plan de prueba completo. Esto incluye la corrección de errores y mejora de funcionalidades
 - Completo: plan de prueba completo, incluidas pruebas poco comunes
- Nuevo: Esto se aplica a las nuevas funcionalidades desarrolladas para la nueva versión y que deben probarse

4.1.3. Resultados del plan de pruebas

Durante el proceso de validación, se va completando el documento descrito anteriormente para generar los resultados que se compartirán a nivel de empresa para estar alineados.

4.2. Procedimiento de validación

Cuando se desarrolla un nuevo producto, el ingeniero de pruebas debe verificar que puede salir a mercado. El proceso general de validación es el siguiente:

4.2.1. Pasos previos

Un cierto tiempo antes de que una nueva versión propuesta esté terminada (entre una y dos semanas), se debe informar al departamento de validación. La información que se debe proporcionar es:

- La fecha prevista de lanzamiento, para planificar un calendario dentro del departamento. Si hay solapamientos de validaciones de distintos productos, se harán por orden de prioridad, aunque algunas pruebas pueden realizarse al mismo tiempo.
- Nombre o número de la versión a validar. Esta versión no puede modificarse durante el proceso de validación y, si se cambia, se ejecutará de nuevo todo el Plan de Pruebas.
- Las Notas de Lanzamiento (Release Notes) de la versión, que incluyen todas las mejoras implementadas, para probar el equipo correspondiente y poder preparar los escenarios en el laboratorio. Esta información es necesaria para conocer los puntos críticos del código y las configuraciones críticas que hay que probar.
El departamento de validación se encargará de supervisar el espacio de notas de lanzamiento. El responsable de cada departamento debe asegurarse de que se rellenan con las funcionalidades y modificaciones más recientes

En función de estos tres datos, el ingeniero de pruebas decidirá qué pruebas se llevarán a cabo y hará una estimación de cuánto tiempo llevará. Si no se pueden realizar todas las pruebas antes de la fecha prevista de lanzamiento, se probarán sólo las pruebas críticas para reducir tiempos.

4.2.2. Fase de validación

La fase de validación comienza cuando finaliza la fase de desarrollo. El diagrama representado en la Ilustración 4.1: Procedimiento de Validación, describe el flujo de trabajo que es el siguiente:

Primero se redacta la **Plantilla de Plan de Pruebas** con el apoyo del departamento de desarrollo. Este documento incluye una lista de pruebas y una lista de configuraciones que cubrirán todos los puntos críticos de la nueva versión propuesta.

Mientras se llevan a cabo las pruebas, se empezarán a generar los **Resultados del Plan de Pruebas**. Si se encuentra algún error, debe notificarse a los departamentos pertinentes para que lo identifiquen y lo solucionen. Estos problemas deben notificarse siguiendo la metodología AGILE.

Para evitar el bloqueo del departamento de validación, habrá un límite en el número de validaciones realizadas a un producto:

- Primera iteración: Si es la primera vez que se prueba el producto y se detectan errores, el departamento de desarrollo puede arreglar la versión propuesta. En este caso, todos los problemas detectados anteriormente se volverán a probar (segunda iteración) para verificar que se han solucionado.
- Segunda (o más) iteraciones: Si no es la primera vez que se prueba el producto, hay que estudiar la criticidad de los fallos encontrados:
 - Si el departamento técnico decide que los fallos no son críticos, la versión propuesta se presentará al Comité de Aceptación. El Comité de Aceptación está formado por representantes de distintos departamentos que pueden ser afectados por un nuevo producto, como, por ejemplo, atención al cliente o comerciales. Este tendrá la potestad de aceptar o bloquear la versión. Si aceptan la versión propuesta, el producto saldrá a la venta. Por otro lado, si no aceptan la versión propuesta, se corregirán los errores y el producto se someterá a otro proceso de validación.
 - Si el departamento técnico decide que los fallos son muy críticos, sin necesidad del comité de aceptación, la versión propuesta será corregida por el departamento de desarrollo y el producto pasará por otro proceso de validación.

4.2.3. Final del proceso

Cuando finalice la fase de validación, la nueva versión debe ser presentada antes de su lanzamiento. Para eso se presenta, a nivel de empresa, la siguiente información:

- Descripción de la nueva versión desde un punto de vista genérico ya que se pretende informar a los departamentos menos técnicos sobre un nuevo producto o nuevas funcionalidades y modificaciones de uno ya existente.
- Notas de lanzamiento que incluyen una descripción de los cambios realizados y cómo afectan. Estas notas sí que pueden ser más técnicas ya que es un tipo de seguimiento de los departamentos de desarrollo.
- **Resultados del Plan de Pruebas** revisados por el jefe del departamento de desarrollo, y con la aprobación final a la versión propuesta. En este documento se incluye otra información relevante como el número de pruebas e iteraciones realizadas a un mismo producto.

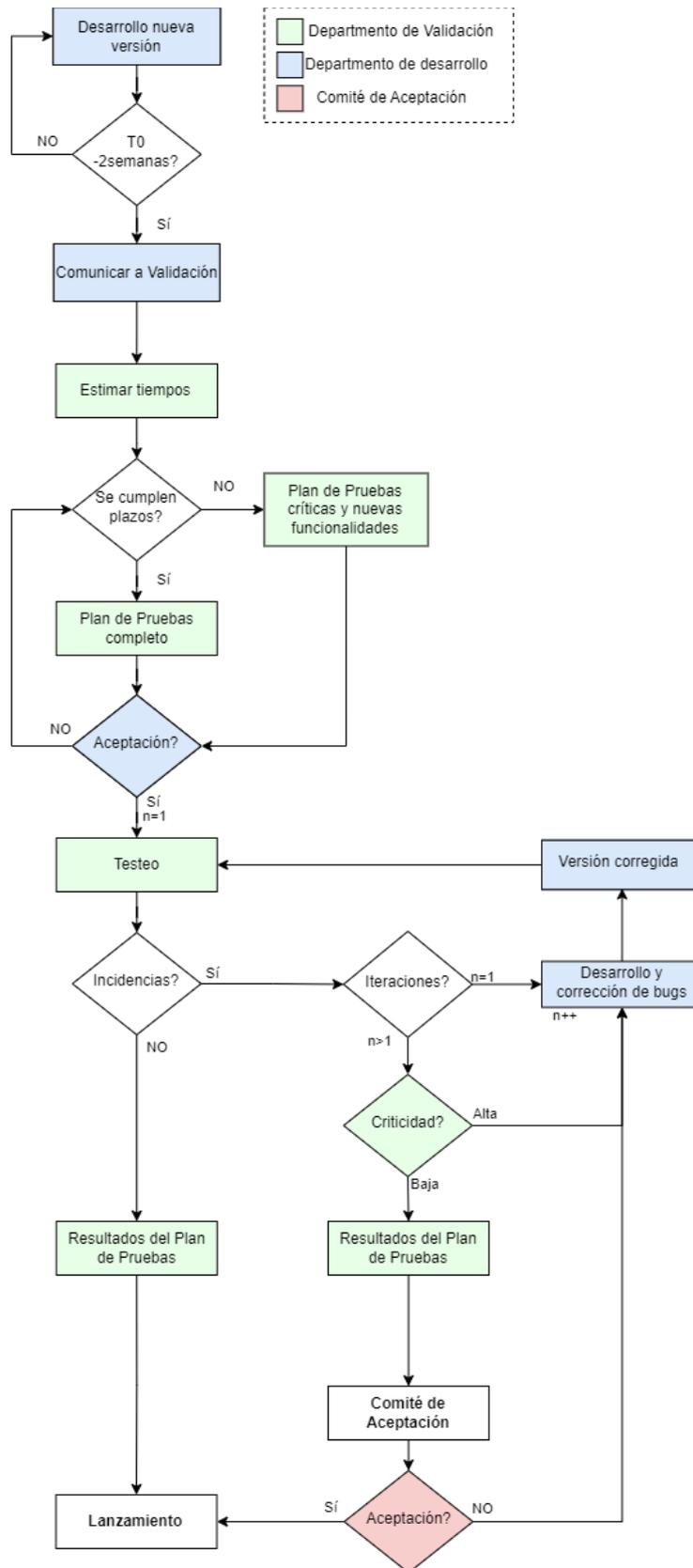


Ilustración 4.1: Procedimiento de Validación

5 Carencias actuales

Como se ha adelantado a lo largo del trabajo, la interfaz de la fuente de FV es poco intuitiva y, por lo tanto, tiene varios efectos negativos en la experiencia del usuario y en la eficiencia a la hora de usarla. Además, hay que tener en cuenta la importancia de la agilidad al usar equipos de laboratorio para mejorar la productividad del departamento de validación. Los principales problemas que hacen que las tareas cotidianas se hagan más complejas y que consuman más tiempo del necesario son:

1. Frustración: La interfaz, al ser poco intuitiva, frustra al usuario a la hora de realizar tareas simples. Además, es complejo encontrar las funciones necesarias o navegar por las diferentes opciones propuestas. Esto resulta en una pérdida de tiempo y energía. A modo de ejemplo, la siguiente imagen muestra los nueve pasos a seguir para configurar una potencia FV constante, es decir, la configuración más sencilla. Esta imagen evidencia claramente la fricción a la hora de validar los equipos:

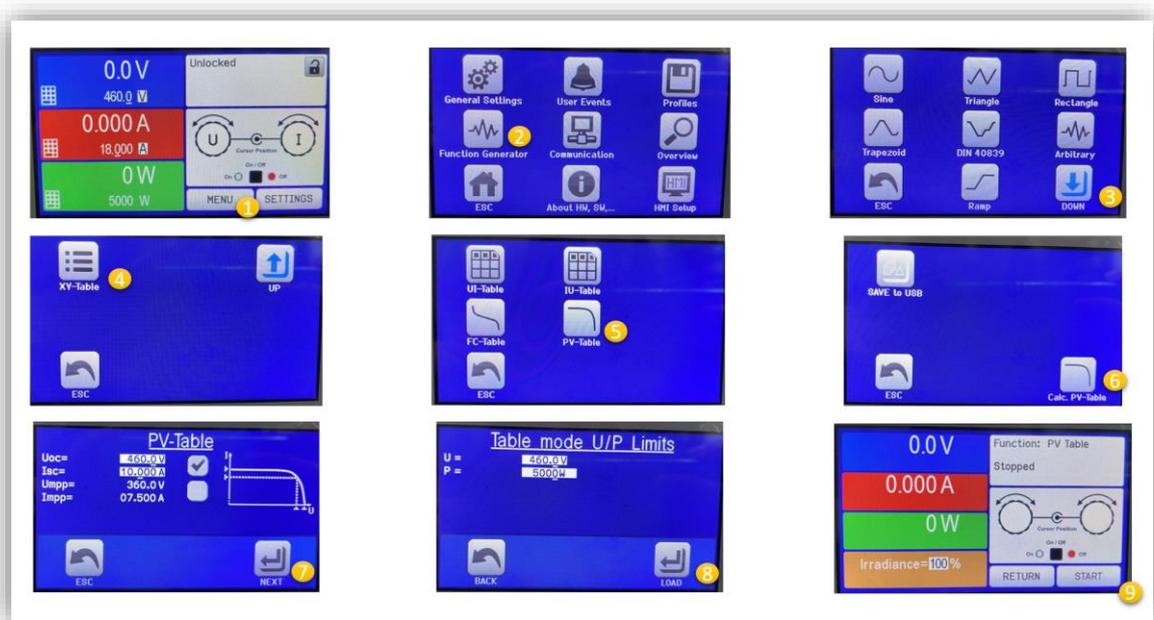


Ilustración 5.1: Actualización de FW a través de EA-Power Control

2. Incomodidad: La proximidad constante al equipo es uno de los aspectos más importantes que impulsan la idea de trabajar en esta herramienta. La necesidad de interactuar repetidamente con el equipo resulta incómoda. No solo por la posición al manipular la pantalla, sino también por la pérdida de concentración del usuario al tener que levantarse frecuentemente. Esta situación, junto con la distancia entre el puesto de trabajo fijo del trabajador y el laboratorio, aumenta la ineficiencia del equipo. Como solución, se podría establecer un puesto de trabajo fijo en el laboratorio, pero introduce nuevos inconvenientes, como ruidos provenientes de otros equipos del laboratorio.

3. Necesidad de enseñar a otros usuarios cómo usar la fuente: Los usuarios nuevos necesitan formación previa para utilizar el equipo correctamente y puede ralentizar la curva de aprendizaje.
4. Impacto en la productividad: Al ralentizar las pruebas de validación se baja la productividad general de la empresa.

Por todo esto, se decide desarrollar una herramienta amigable e intuitiva que mejore la experiencia del usuario a la hora de interactuar con los equipos necesarios para la validación de los equipos de almacenamiento energético, que permita realizar las tareas del departamento de validación manera eficiente, cómoda y sin complicaciones.

6 Solución propuesta

Con el propósito de optimizar tiempos y mejorar el proceso de validación de equipos de almacenamiento de energía fotovoltaica, se plantea una solución centrada en el desarrollo de un programa de control. La solución propuesta busca no solo simplificar la ejecución de las pruebas, sino también mejorar la calidad de los resultados y brindar una mayor flexibilidad a los trabajadores.

El principal elemento de este trabajo es el desarrollo de una aplicación en LabVIEW que permita un control preciso y eficiente de las fuentes de simulación de energía FV en el laboratorio. Las funciones que debe tener la herramienta se deciden en base a los requisitos y escenarios de prueba explicados en capítulos anteriores. La interfaz de usuario se diseñará de manera intuitiva para proporcionar una experiencia de usuario sin complicaciones, incluso para aquellos sin experiencia técnica avanzada. Incluirá los siguientes puntos:

- **Desarrollo de los Drivers de Comunicación**

Para lograr una comunicación fluida y efectiva entre la aplicación y las fuentes de simulación de energía fotovoltaica, se desarrollarán drivers de comunicación específicos. Estos drivers permitirán la interacción bidireccional entre la aplicación y las fuentes, garantizando un control preciso de los parámetros de prueba, como la tensión y la corriente. La creación de estos drivers es esencial para la operación integrada y sincronizada de la aplicación y las fuentes.

- **Funcionalidades**

La aplicación propuesta ofrecerá tres funciones principales para simular escenarios de prueba representativos:

- Inyección de Potencia FV Constante: Los usuarios podrán establecer los valores deseados de tensión y corriente para simular una potencia fotovoltaica constante en función de sus requisitos de prueba.



Ilustración 6.1: Inyección de Potencia FV Constante

- Inyección de Potencia FV aleatoria: Este tipo de simulación simplemente pedirá un rango de potencias y un tiempo para simular. Esta funcionalidad se ha incluido para pruebas en las que no hace falta controlar la energía FV; simplemente se necesita comprobar que el equipo de almacenamiento de energía es capaz de procesar la energía FV.

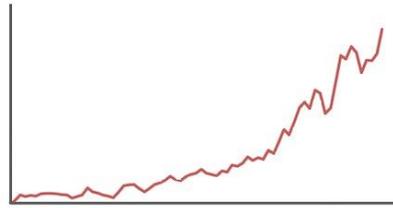


Ilustración 6.2: Inyección de Potencia FV aleatoria

- Simulación de una curva FV:
 - Simulación de una curva FV Ideal: La aplicación permitirá a los usuarios definir el comportamiento de una curva FV ideal, personalizando aspectos como el tiempo de noche, la duración de la curva y la potencia máxima alcanzada.
 - Simulación de Día Nublado: Los usuarios podrán simular una curva de FV en un día con poca radiación solar, ajustando parámetros similares a la simulación de la curva FV ideal.

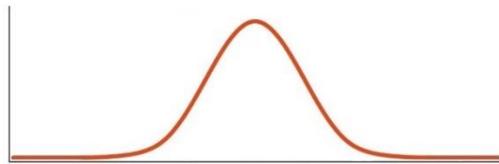


Ilustración 6.3: Simulación de una curva FV

En el siguiente capítulo se detallará el proceso de desarrollo de la aplicación, incluyendo los aspectos técnicos y el diseño de la interfaz de usuario.

7 Explicación de la herramienta

7.1. Investigación previa

El primer paso es investigar cómo funciona el equipo y así poder empezar a diseñar la solución propuesta. La página web del fabricante proporciona mucha información útil ya que incluye una guía de programación Modbus y SCPI de varios de los equipos de EA que disponen de un puerto USB, GPIB o Ethernet integrado. Recordemos que las fuentes usadas en el presente trabajo son de la serie PSI-9000-3U. Además, el fabricante proporciona las listas de registros que son necesarias para su uso con Modbus. [9] A parte de esta información de más bajo nivel, se puede obtener ayuda adicional de la hoja de características y el manual de usuario. [7]. Todos estos documentos están adjuntos en el Anexo B.

Los equipos incluyen un puerto USB integrado por defecto y la siguiente tabla explica los puertos opcionales que necesitan pago adicional:

ID corto	Tipo	Puertos	Descripción*
IF-AB-CANO	CANopen	1	CANopen esclavo con EDS genérico
IF-AB-RS232	RS232	1	Estándar RS232, serie
IF-AB-PBUS	Profibus	1	Profibus DP-V1 esclavo
IF-AB-ETH1P	Ethernet	1	Ethernet TCP
IF-AB-PNET1P	ProfiNet	1	Profinet DP-V1 esclavo
IF-AB-MBUS	ModBus TCP	1	ModBus TCP mediante Ethernet
IF-AB-ETH2P	Ethernet	2	Ethernet TCP con conmutador
IF-AB-MBUS2P	ModBus TCP	2	ModBus TCP mediante Ethernet
IF-AB-PNET2P	ProfiNet	2	Profinet DP-V1 esclavo con conmutador
IF-AB-CAN	CAN	1	CAN 2.0 A / 2.0 B
IF-AB-ECT	EtherCAT	2	EtherCAT esclavo sencillo con CoE

Ilustración 7.1: Puertos opcionales de la serie PSI-9000-3U [7]

Por ese motivo, se opta por usar el puerto USB, que se encuentra en la parte trasera del dispositivo, y que sirve para la comunicación con el equipo y un PC. El controlador, que se suministra en el equipo, instala un puerto COM virtual y se puede acceder al equipo a través del protocolo ModBus RTU. El equipo reconoce el protocolo del mensaje empleado de forma automática.

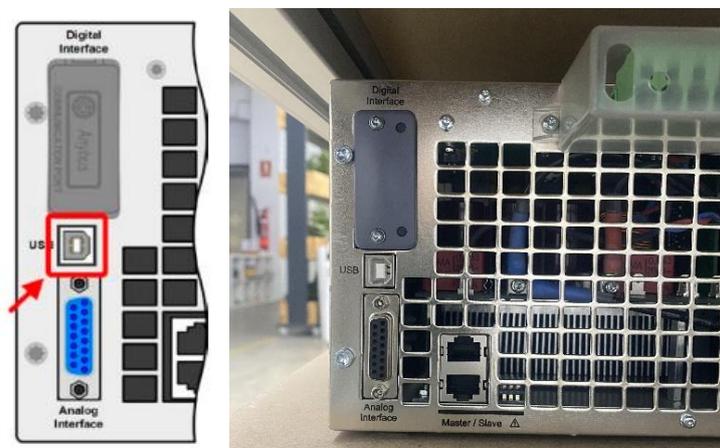


Ilustración 7.2: Puerto USB de la serie PSI-9000-3U

7.1.1. ModBus RTU

Modbus RTU (Unidad Terminal Remota) es una variante del protocolo de comunicación Modbus. Es un protocolo de modo de transmisión serie, abierto, derivado de la arquitectura maestro/esclavo y está ampliamente aceptado gracias a su sencillez y robustez. Como sigue una arquitectura de tipo maestro/esclavo, un dispositivo maestro, como nuestro PC, inicia las comunicaciones y solicita datos o envía comandos a dispositivos esclavos, como nuestra fuente. La comunicación es en serie, por lo que los datos se transmiten uno tras otro en secuencia a través de un solo par de cables, uno para transmitir (TX) y otro para recibir (RX). Los datos se envían en tramas de bits y cada una consta de un inicio, una dirección, datos, verificación de redundancia cíclica, como un mecanismo de comprobación de errores para garantizar la fiabilidad de los datos, y un final. La simplicidad de estos mensajes es garantizar la fiabilidad. [10] [11].

7.2. Actualización de fuentes de simulación de FV

La guía de programación explica que la última versión de registros listados por EA corresponde a la versión KE2.29 de FW de la fuente, por lo que es importante actualizar los equipos para garantizar que los registros empleados por el programa sean leídos por la fuente FV.

Para ello, es necesaria una herramienta llamada EA-Power Control. Es un paquete de software para la gestión, control y programación de equipos de EA desde un ordenador con Windows. El software permite controlar los equipos y, por tanto, actualizarlos. Esta herramienta ofrece algunas aplicaciones avanzadas para la simulación o la prueba de distintos objetos de ensayo, pero son de pago. [12]

Al conectar el equipo y abrir la herramienta, se podrá seleccionar el equipo correspondiente. Como se especifica en la página web del fabricante, las actualizaciones solo pueden ser instaladas a través del puerto USB, para todos los equipos lanzados antes del 2014, por lo que es necesario el archivo `Firmware_updates.upd`. Tras introducirlo, mostrará las opciones posibles de actualización.

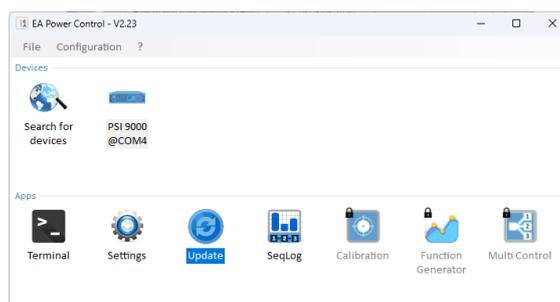


Ilustración 7.3: Actualización de FW a través de EA-Power Control (1)

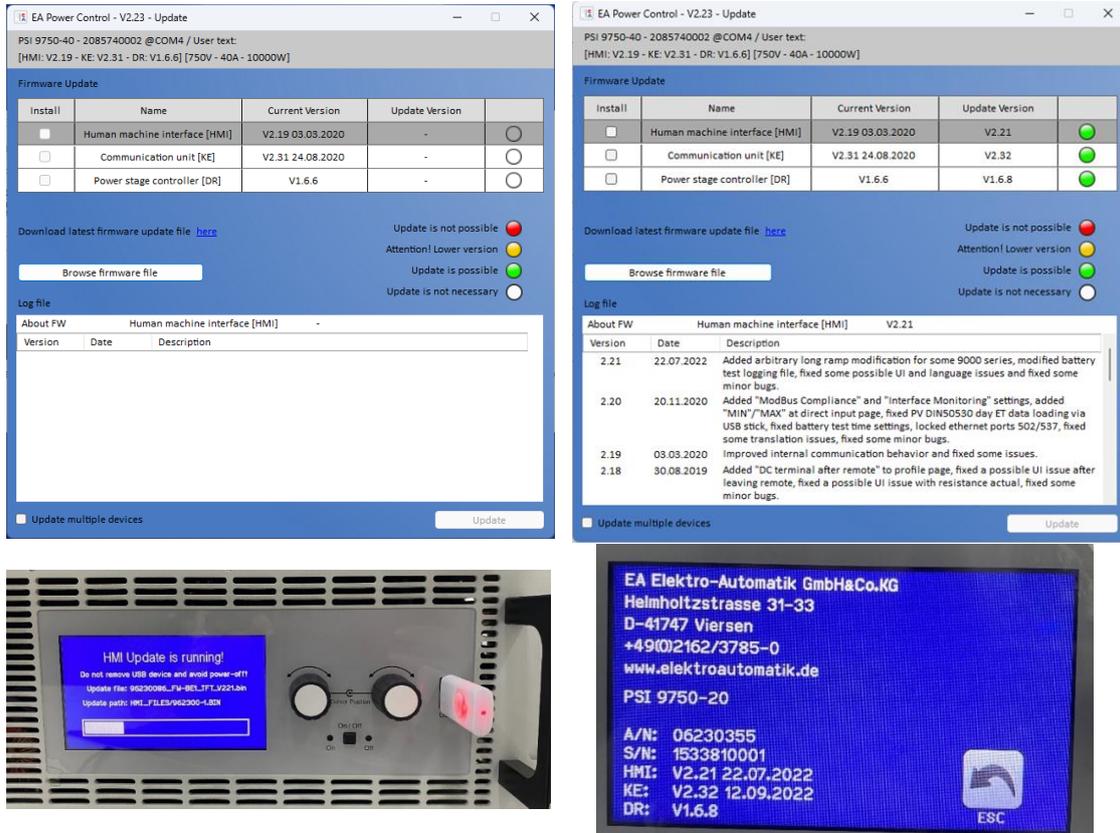


Ilustración 7.4: Actualización de FW a través de EA-Power Control (2)

7.3. Drivers

Elektro-Automatik ofrece una serie de instrumentos virtuales, VIs, en LabVIEW para poder integrar sus equipos en diferentes aplicaciones [13]. VI es una abreviatura de Virtual Instrument y es un componente fundamental en LabVIEW ya que representa una unidad de código o funcionalidad. Así ofrecen una implementación sencilla de sus equipos sin tener que conocer a bajo nivel la comunicación del equipo. El que aplica a este caso de estudio, son los que se usan para controlar dispositivos equipados con tarjetas de interfaz de EA, llamadas IF-XX. También incluyen una guía de usuario y algunos VIs de ejemplo. Para poder integrarlo en la solución propuesta, adjuntan una guía de instalación que se encuentra en los anexos B5 y B6.

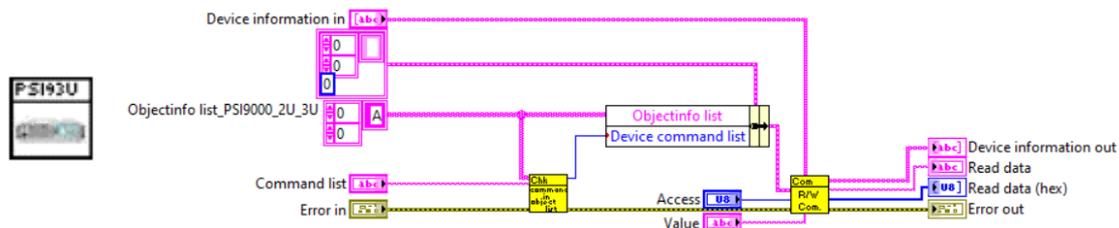


Ilustración 7.5: LabVIEW Diagrama de bloques - VI para PSI 9000 3U

A continuación, se describen las entradas y salidas del VI. Una de las entradas más importantes y más utilizada es `Device information in` que es un array de strings en el que se debe configurar las características del equipo:

- Puerto COM: Cada vez que se conecte una nueva fuente al PC para controlarla podrá cambiar
- Modelo del equipo: En este caso, al tener dos fuentes distintas, se debe especificar siempre cuál se está usando. Simplemente como recordatorio, ya que ya se ha tratado en otros capítulos, los modelos son:
 - 5 kW: PSI 9750-20
 - 10 kW: PSI 9750-40
- Número de serie:
 - 5 kW: 1533810001
 - 10 kW: 2085740002
- Número de artículo: Simplemente se trata de otro dato que se puede encontrar en la etiqueta identificativa del equipo:
 - 5 kW: 06230355
 - 10 kW: 06230361
- Tensión, corriente y potencias nominales

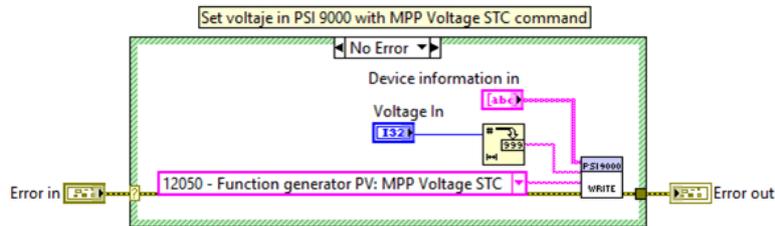


Ilustración 7.8: LabVIEW Diagrama de Bloques - MPP Voltage STC

7.3.1. VIs: Leer y escribir

Para poder usar este driver con facilidad, se crean dos VIs fundamentales para poder leer y escribir en el equipo. Simplemente, se debe indicar el comando deseado y poner las entradas y salidas que exige EA:

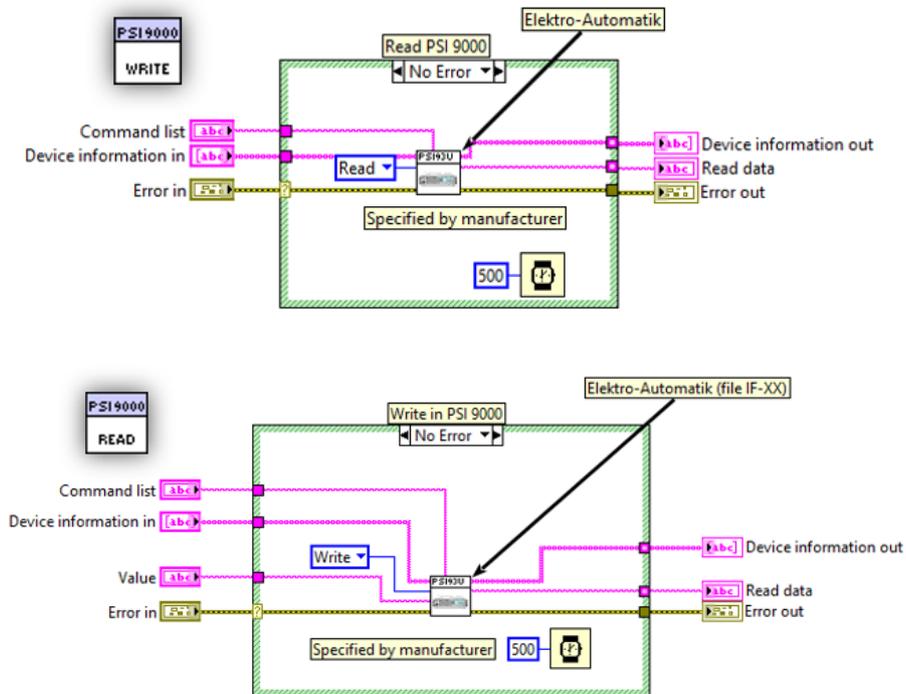


Ilustración 7.9: LabVIEW Diagrama de Bloques – Write and Read

Además, como indica el fabricante en la siguiente imagen, el proceso de simulación de FV de la fuente empieza haciendo un cálculo y después comienza la simulación en sí. Este cálculo puede tardar unos 500 milisegundos por lo que un temporizador de este valor es incluido.

5.5.3 Programming examples for PV simulation

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSB1	PSBE1	ELR1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Further information about this extended PV function can be found in the user manuals of your device, as well as in the standard EN 50530. The user manuals also teach about the connection between simulation mode, input mode and panel technology.

! Important: after the simulation start the device will calculate the first PV curve table. This takes about 500 ms, so the actual simulation begins ~ 500 ms after the start.

Ilustración 7.10: Espera de 500 ms de la guía de programación.

7.4. Gestión de eventos

Si no se gestionan los eventos correctamente, se corre el riesgo de que la interfaz de usuario se congele. Además, por la velocidad de procesamiento, es posible que algunos eventos se pierdan y entonces la fuente no funcionará como debería. De este modo, afectaría a la lógica de la aplicación y se podrían introducir errores. Para que la herramienta sea más robusta, se implementa un enfoque de Programación Orientada a Eventos (POE). Para ello, se combinan estructuras de eventos con colas en LabVIEW para que la aplicación sea eficiente y controlada, manejando eventos en el orden correcto [14]. La idea general se ve claramente en la imagen:

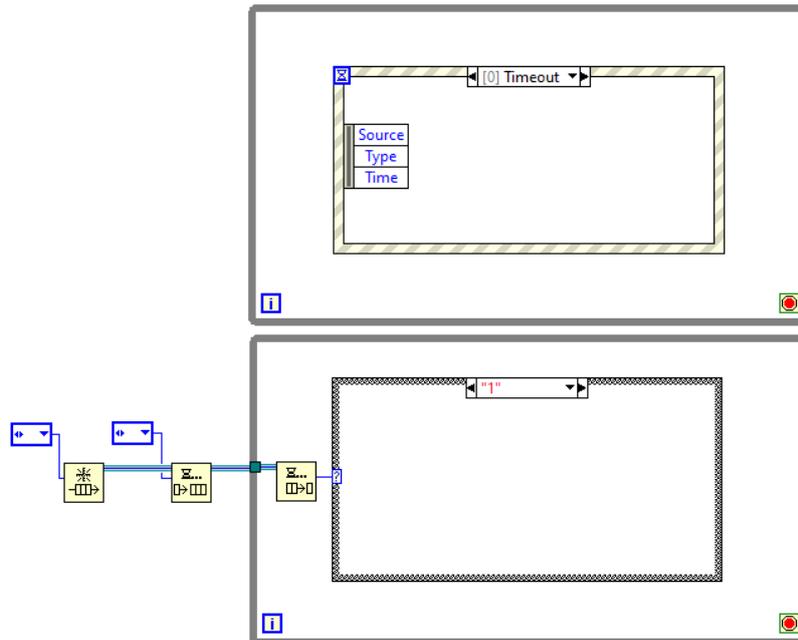


Ilustración 7.11: LabVIEW Diagrama de Bloques – Combinación de estructuras de eventos y colas

Una estructura de eventos, o “event structure” en inglés, se encarga de detectar y responder a eventos que ocurren en la interfaz del usuario, como clics de botones o cambios en los controladores. Las colas gestionarán esos eventos en el orden en el que ocurren ya que el evento se encola, se desencola y se procesa en el orden en que se encolaron.

En este caso, representado a continuación, habrá un bucle infinito en la parte superior que detecta distintos eventos del panel frontal y encolan distintas funciones que tiene que ir procesando el programa. Los eventos son:

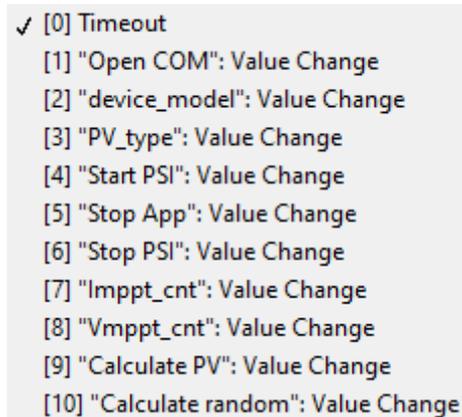


Ilustración 7.12: LabVIEW – Eventos del Panel Frontal

Por otro lado, el bucle inferior es donde se va a ir gestionando esta cola y para ello hay un `case structure`. Una estructura de casos en LabVIEW es una estructura de programación que permite tener lógica condicional y así ejecutar una parte del programa u otra, según los eventos descritos anteriormente. Es algo similar a un `switch` en otros lenguajes de programación. Así, el programa será más dinámico.

En LabVIEW, además, existen variables llamadas `control` que permiten crear un tipo de dato ad hoc reutilizable. Es reutilizable porque, cada vez que se quiera usar, simplemente hay que insertar una instancia de ese control. Se usará para estandarizar todos los distintos casos que puede ejecutar nuestro programa y hacer el código más coherente y profesional. Al ser tan personalizable, se puede crear un control de los estados del `case structure`.

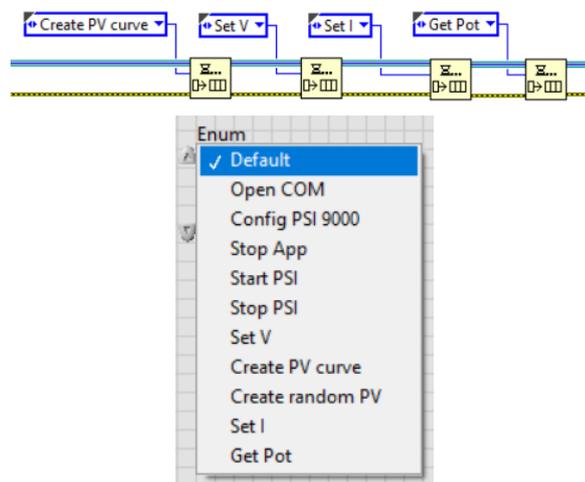


Ilustración 7.13: LabVIEW – Control de estados del `case structure`

Para ello una variable de tipo `Enum` será usada. Este tipo de variable, que significa enumeración, representa varios valores que puede tomar una variable. En este caso, al ser un estado de la estructura de casos, será una lista predefinida de las distintas opciones. Las opciones son las mostradas en la imagen anterior. Todo esto va a facilitar enormemente la programación ya que será más intuitiva y menos propensa a errores, ya que los valores están claramente definidos.

7.5. Main

Una vez clara la manera de escribir y leer datos en el equipo, y sabiendo qué estructura se le quiere dar al programa, se explica la herramienta desde un punto de vista de más alto nivel. A continuación, se muestra la pantalla principal, la que manejará el usuario final y el código principal:

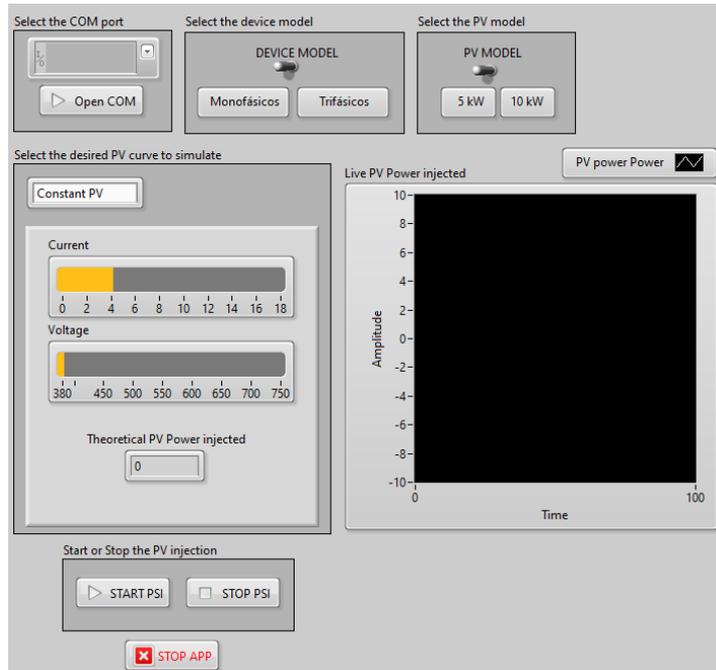


Ilustración 7.14: LabVIEW Panel Frontal – Herramienta completa

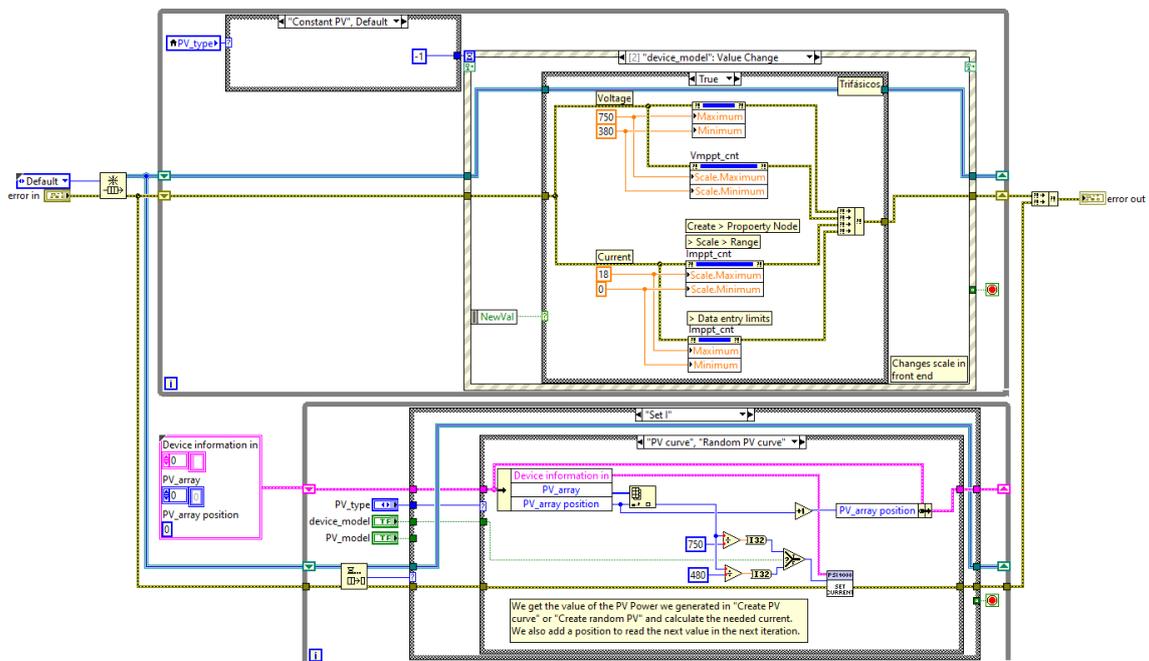


Ilustración 7.15: LabVIEW Diagrama de Bloques – Herramienta completa

7.5.1. Estructura de eventos

Este capítulo describe los eventos que hacen que la estructura de eventos encole distintos casos. Todos los casos se explicarán en el próximo capítulo. Los eventos se describirán en el orden en el que el usuario debería usar la aplicación:

1. Seleccionar modelo de la fuente de simulación FV
2. Abrir puerto COM
3. Seleccionar modelo de almacenamiento energético
4. Seleccionar curva FV deseada
 - a. FV constante
 - b. FV aleatoria
 - c. Una curva FV:
 - i. Una curva FV ideal de un día soleado
 - ii. Una curva FV de un día nublado
5. Habilitar inyección
6. Monitorizar la inyección
7. Cerrar la aplicación

7.5.1.1. Seleccionar modelo de la fuente de simulación FV

El usuario debe especificar qué fuente de FV va a emplear, ya que es necesario en distintos puntos del código de la herramienta.

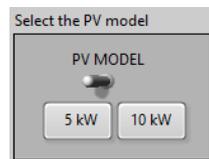


Ilustración 7.16: LabVIEW Panel Frontal – Selección de modelo de fuente FV

7.5.1.2. Abrir puerto COM

El usuario debe elegir el puerto COM al que está conectada la fuente y darle al botón de abrir el puerto COM. Cuando la aplicación detecta este evento, encola el caso Open COM. Como se ha adelantado en capítulos anteriores, el puerto COM lo crea el propio equipo de Elektronik Automatik para poder comunicarnos, en serie, con el PC.

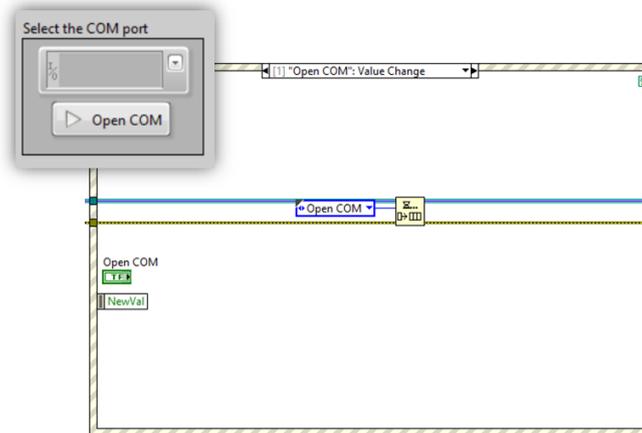


Ilustración 7.17: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques – Selección del puerto COM

7.5.1.3. Seleccionar modelo de almacenamiento energético

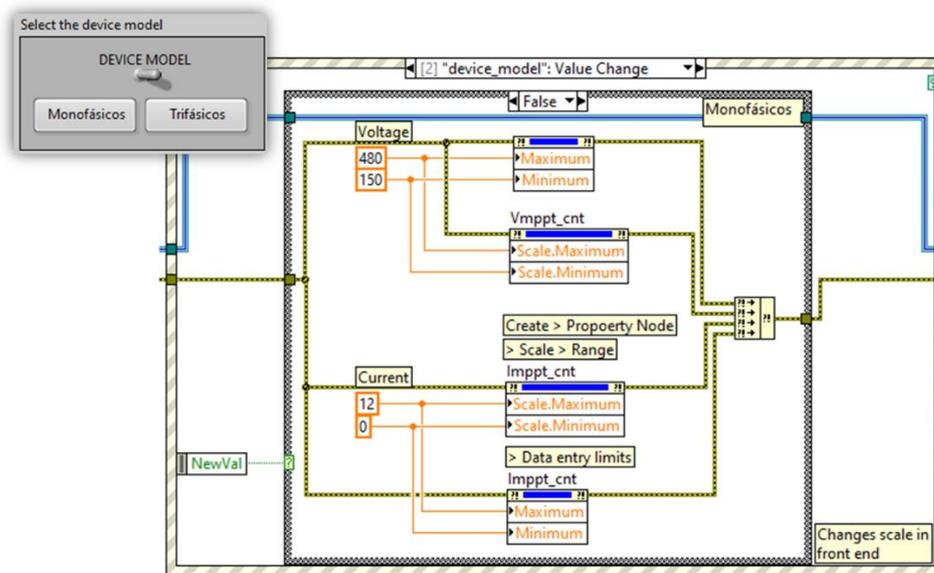


Ilustración 7.18: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques – Selección de equipo de almacenamiento energético

En los primeros capítulos se explica que hay modelos distintos de equipos de almacenamiento energético y cada uno con límites de corriente y tensión distintos. Esta funcionalidad cambia la interfaz de usuario para que éste sea capaz de elegir valores de tensión y corriente que estén dentro del rango establecido:

	Monofásicos		Trifásicos	
	Min	Max	Min	Max
Tensión [V]	150	480	380	750
Corriente [A]	0	12	0	18

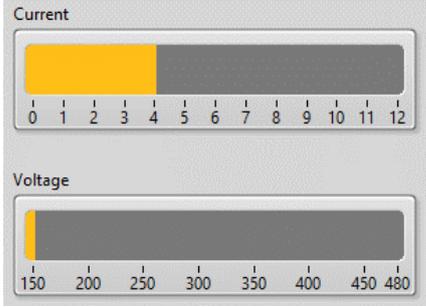
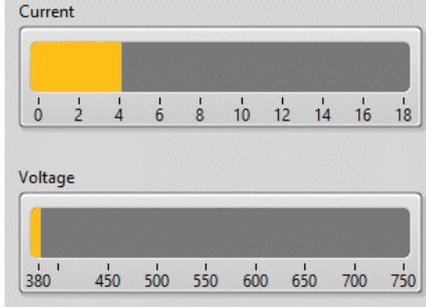
UI	Monofásicos		Trifásicos	
				

Ilustración 7.19: LabVIEW Panel Frontal – Cambio en la interfaz de usuario de los rangos de tensión y corriente según modelo de fuente FV seleccionado

7.5.1.4. Seleccionar curva FV deseada

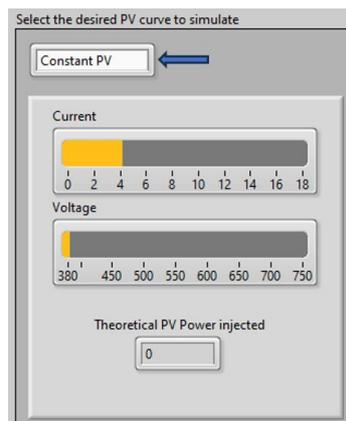


Ilustración 7.20: LabVIEW Panel Frontal – Selección de curva FV

La herramienta incluye la opción de elegir la curva de FV deseada para simular. Las opciones son:

- FV constante
- FV aleatoria
- Una curva FV:
 - Una curva FV ideal de un día soleado
 - Una curva FV de un día nublado

Según la opción seleccionada, la interfaz de usuario cambiará y mostrará los campos requeridos en cada caso. El diagrama de bloques para ese cambio de UX es el siguiente:

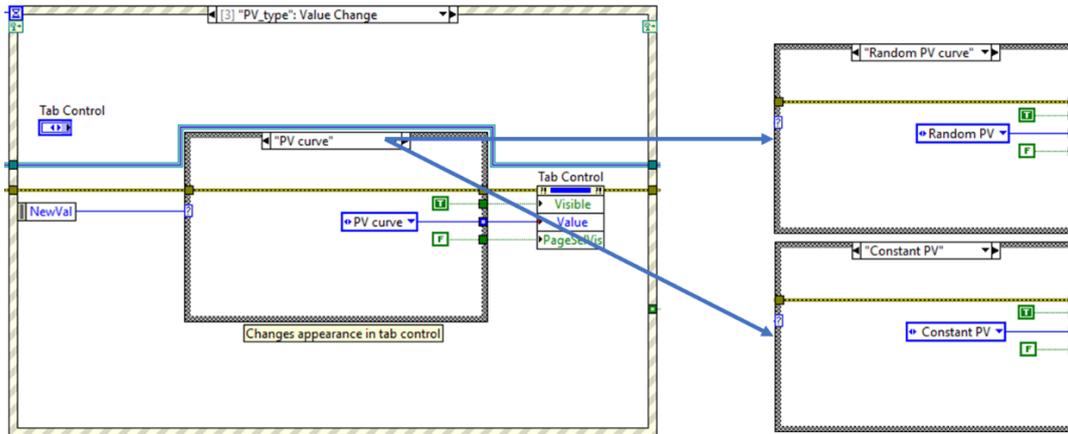


Ilustración 7.21: LabVIEW Diagrama de Bloques– Selección de curva FV

7.5.1.4.1. FV constante

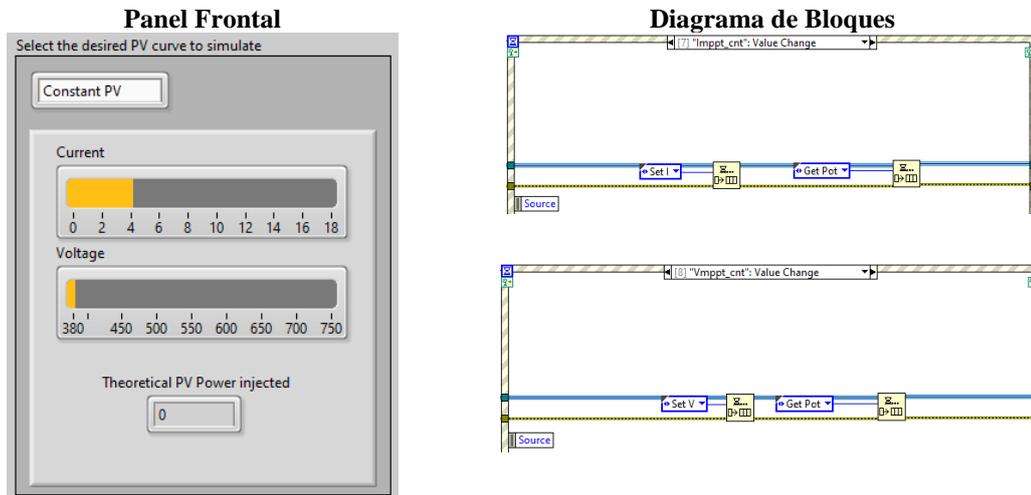


Ilustración 7.22: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Curva FV constante

El usuario elige la corriente y tensión que quiere inyectar. Además, la herramienta le muestra la potencia que se conseguiría con esos dos datos simplemente a modo de indicación para el usuario. En la estructura de eventos se encolan los casos que configuran la tensión y la corriente en la fuente de simulación.

7.5.1.4.2. FV aleatoria

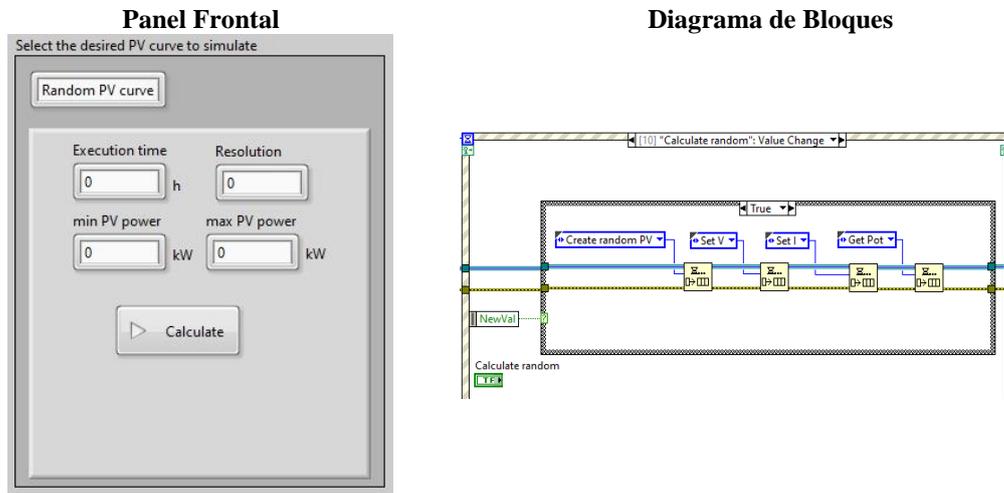


Ilustración 7.23: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Curva FV aleatoria

En este caso, el usuario elige el rango de potencia que quiere inyectar y el tiempo de la simulación. El programa, inyectará potencia aleatoriamente. La estructura de eventos se encargará de encolar todos los casos necesarios para simularlo.

7.5.1.5. Curva FV

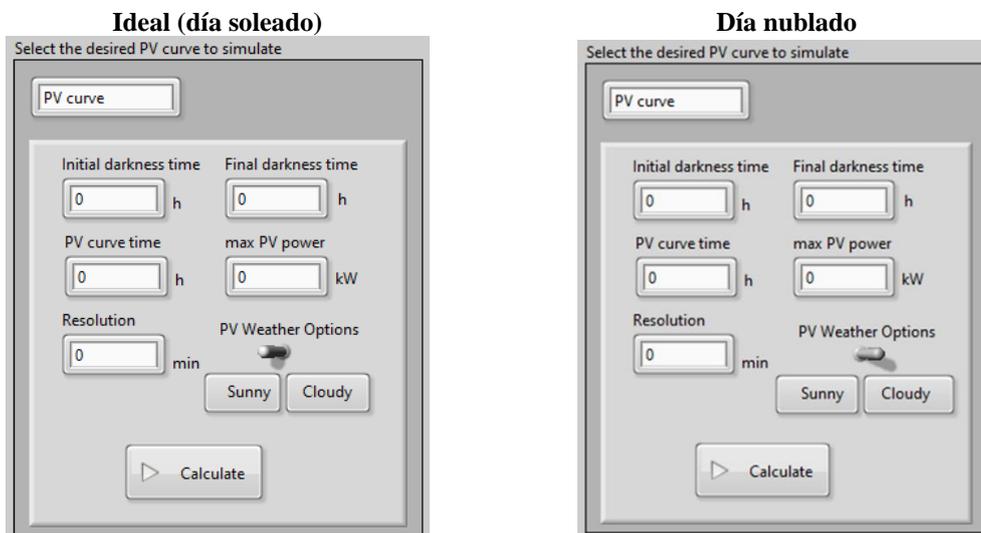


Ilustración 7.24: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Curva FV (1)

Diagrama de bloques

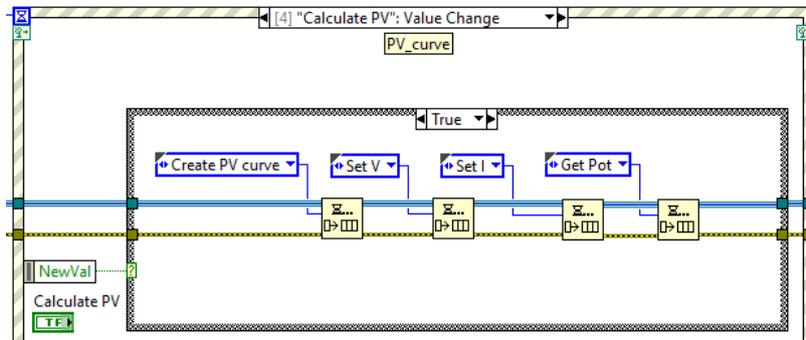


Ilustración 7.25: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Curva FV (2)

En ambos casos el usuario tiene que rellenar los campos en línea con cómo quiere que sea la curva FV simulada. La estructura de eventos se encargará de encolar todos los casos necesarios para simularlo.

7.5.1.6. Habilitar inyección y cerrar la aplicación

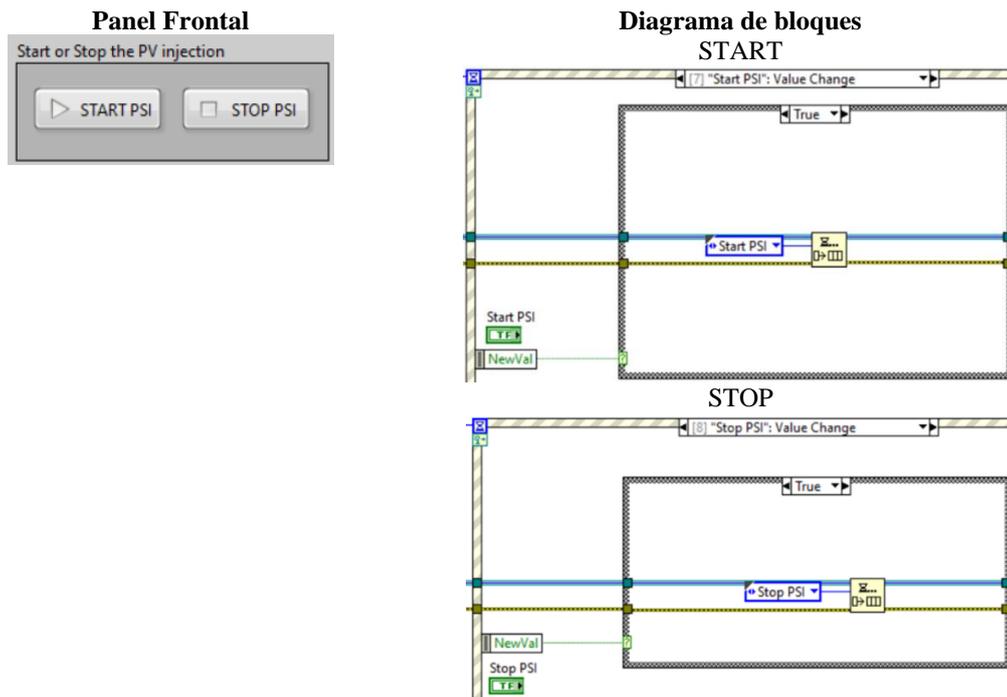


Ilustración 7.26: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Activar y desactivar la inyección de FV

En estos eventos se encolan los casos que se deben ejecutar. Por otro lado, para cerrar la aplicación, hay que asegurarse de parar la inyección primero, por esta razón se encola ese caso también.

Panel Frontal



Diagrama de bloques

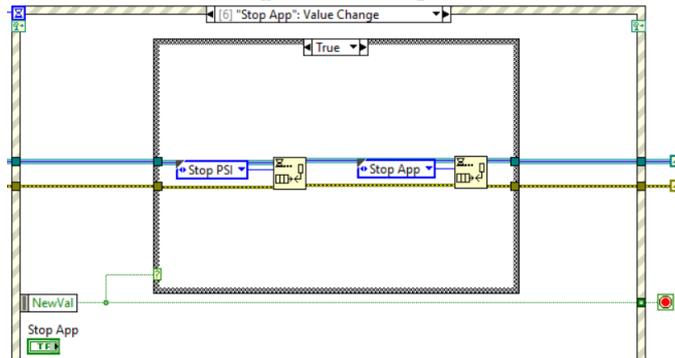


Ilustración 7.27: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Cerrar herramienta

7.5.2. Estructura de casos

7.5.2.1. Open COM

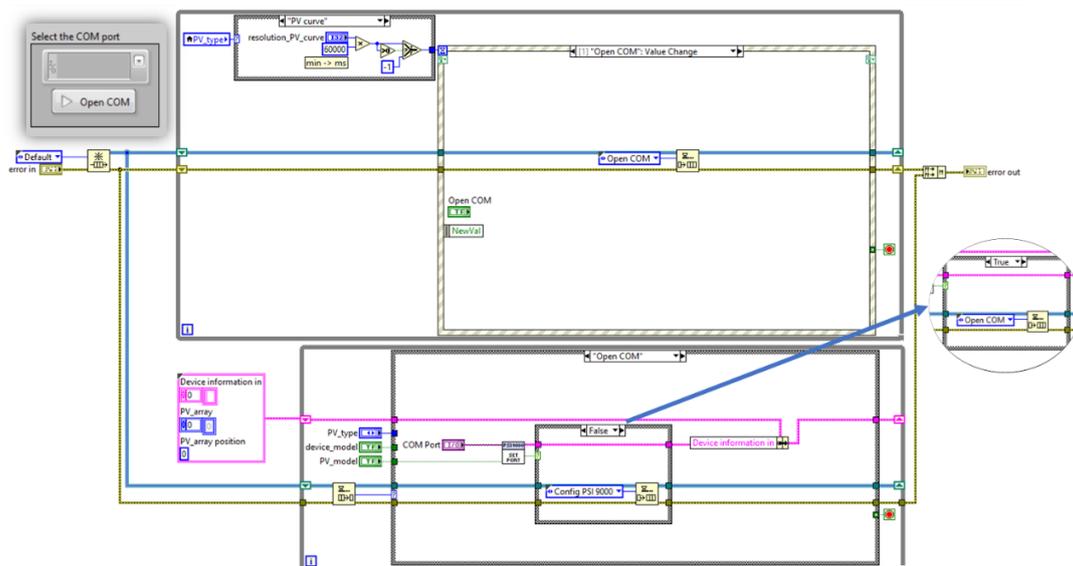


Ilustración 7.28: LabVIEW Diagrama de Bloques – Abrir el puerto COM

Cuando en la cola se encola el caso `Open COM`, una vez llegamos al bucle inferior, se ejecutará el VI llamado `Set_COM_Port`. A continuación, se comprueba que efectivamente, se ha abierto el puerto correctamente. Si lo ha hecho, se encola un nuevo caso en el que se configurará la fuente de simulación. Si en cambio, no se abre correctamente el puerto COM, se repetirá el proceso.

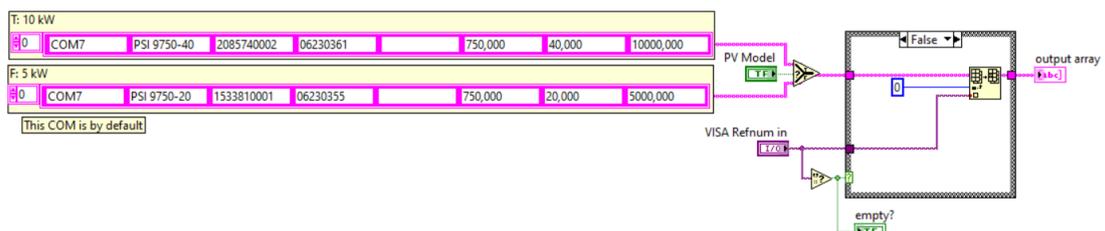


Ilustración 7.29: LabVIEW Diagrama de Bloques – VI para configurar el puerto COM

VISA Refnum en LabVIEW es como una identificación para poder comunicarse con otros equipos usando la biblioteca VISA. Es un número de referencia, Refnum, asociado con la biblioteca VISA, Virtual Instrument Software Architecture, y facilita la apertura y la configuración de una conexión VISA. El puerto COM correspondiente será detectado y será introducido en el array de configuración Device information in del que ya se ha hablado en capítulos anteriores.

7.5.2.2. Config PSI 9000

Una vez que el puerto COM de conexión es conocido, es importante configurar el equipo para poder establecer la comunicación. Para eso, según haya indicado el usuario, se configurará el equipo de 5 o 10 kW. Recordemos que, para deducir la configuración necesaria de la fuente, y los registros a modificar, los documentos adjuntos en el anexo A han sido de gran ayuda para la programación.

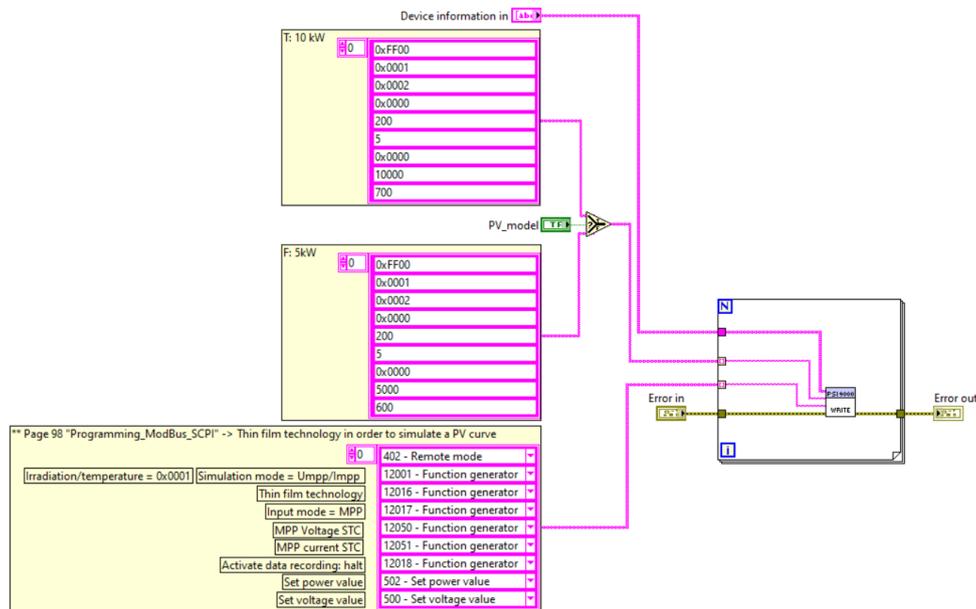


Ilustración 7.30: LabVIEW Diagrama de Bloques – VI para configurar la fuente FV

7.5.2.3. Stop App

La implementación de esta funcionalidad se ha llevado a cabo a través de un proceso iterativo, basado en la experimentación y pruebas con las primeras versiones de la aplicación en condiciones reales de campo. Esta función surge de la importancia de cerrar el puerto de comunicación antes de cerrar la aplicación ya que este paso es vital para evitar posibles complicaciones al volver a comunicar con la fuente.

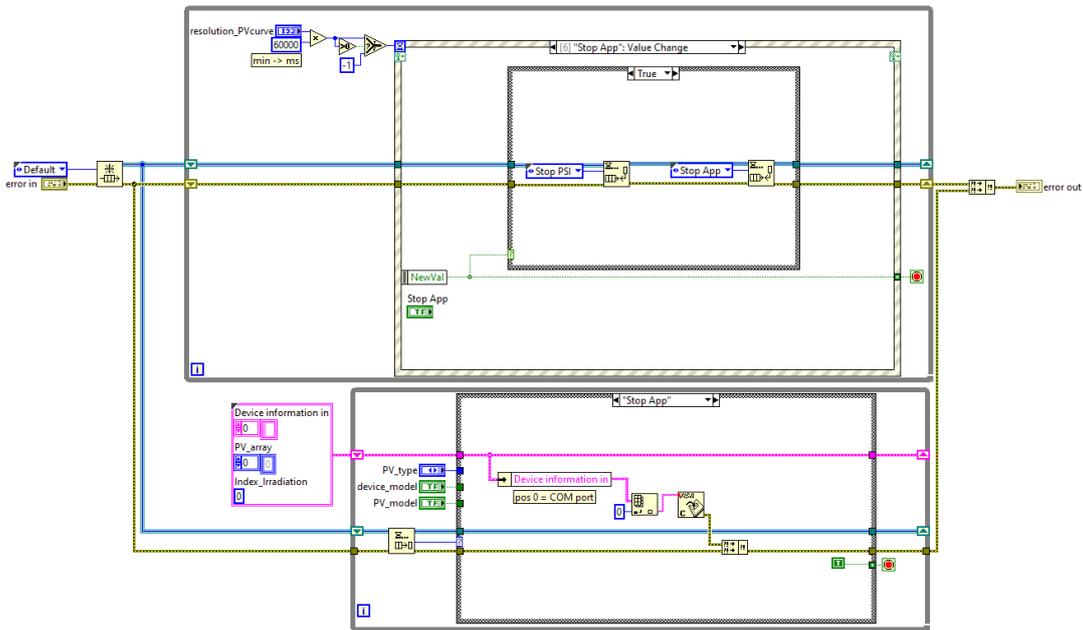


Ilustración 7.31: LabVIEW Diagrama de Bloques – Cerrar herramienta

7.5.2.4. Start / Stop PSI

Funcionalidad sencilla para empezar a inyectar y parar la inyección de la fuente FV de la serie PSI-9000-3U.

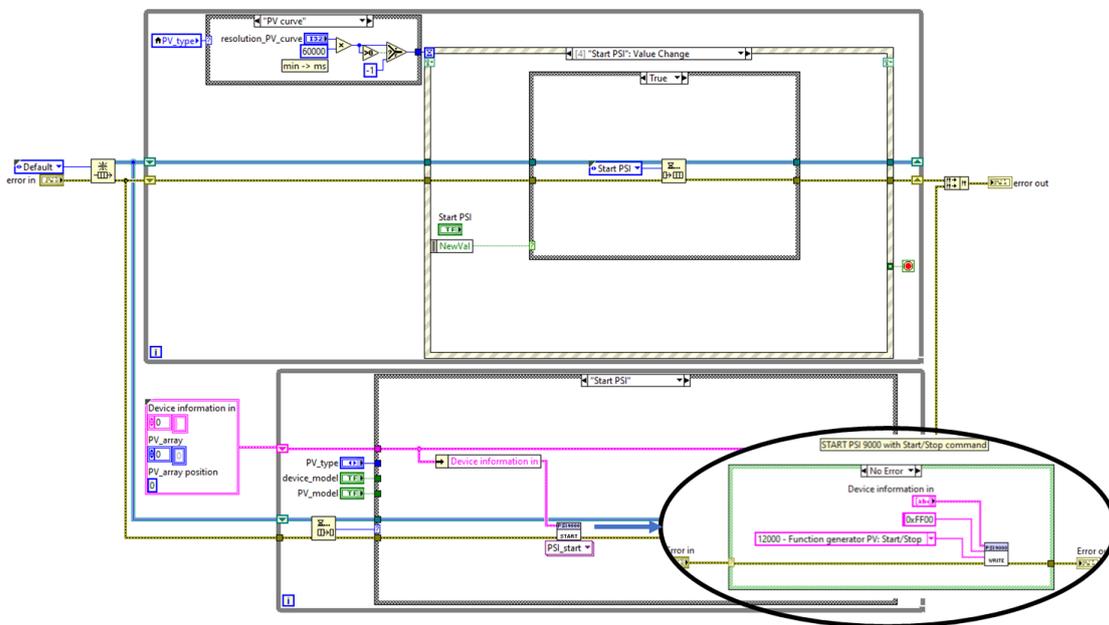


Ilustración 7.32: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Activar la inyección de FV

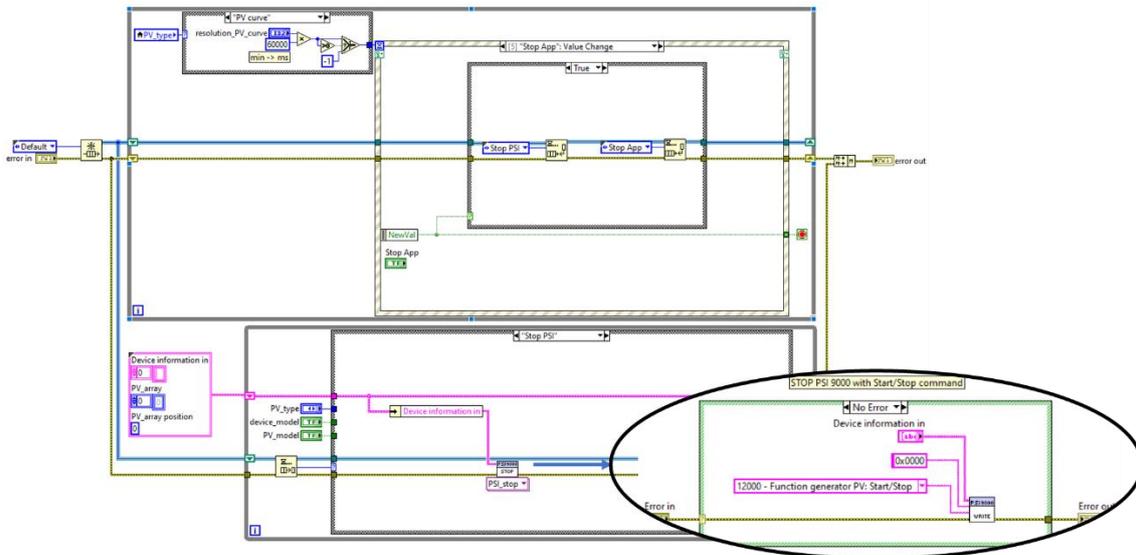


Ilustración 7.33: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Desactivar la inyección de FV

7.5.2.5. Set V

Para el caso de curvas FV constantes, se escribe el dato de la tensión elegida por el usuario. En el resto de los casos, el valor de la tensión dependerá del modelo del equipo, es decir, si el usuario está trabajando con un equipo monofásico o trifásico. En cada caso, se configurará la tensión máxima de trabajo. El objetivo es poder modelar la curva de FV dejando la tensión fija y controlando la corriente.

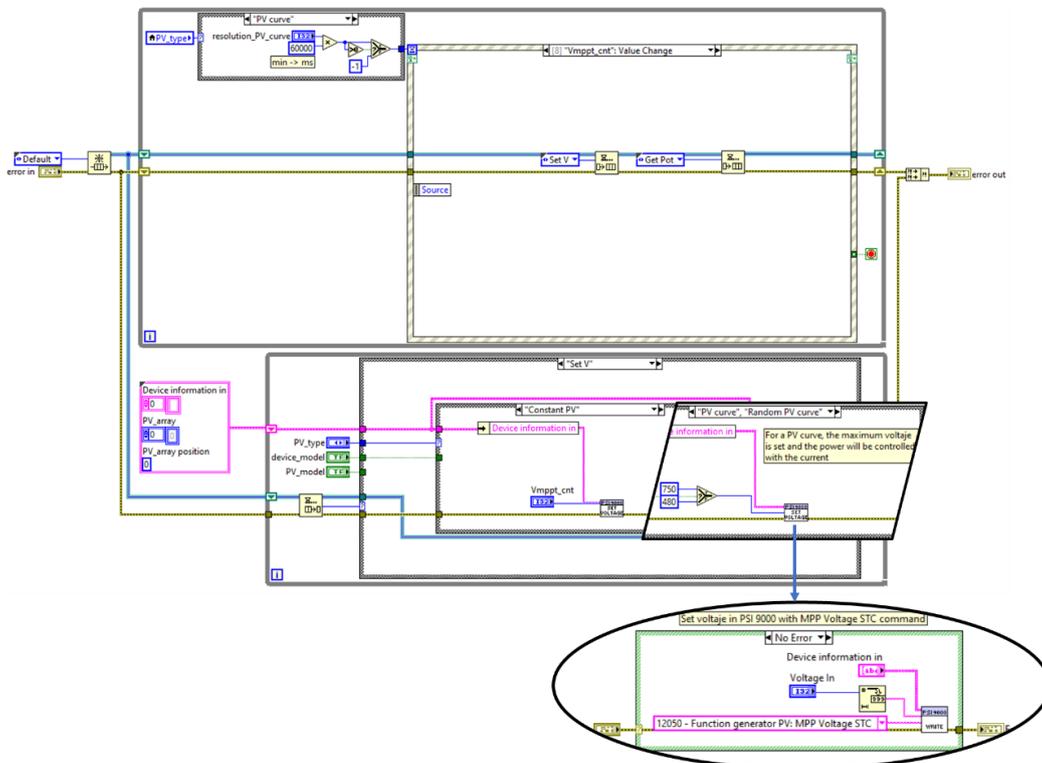


Ilustración 7.34: LabVIEW Panel Frontal y Diagrama de Bloques– Fijar voltaje de la fuente de FV

7.5.2.6. Create PV curve

Recordemos que la aplicación permitirá a los usuarios definir el comportamiento de una curva FV ideal, personalizando aspectos como el tiempo de noche inicial y final, si lo desean, para simular un día completo. También tendrán que especificar la duración de la curva y la potencia máxima alcanzada. Con toda esta información se generará un array con los puntos que la forman.

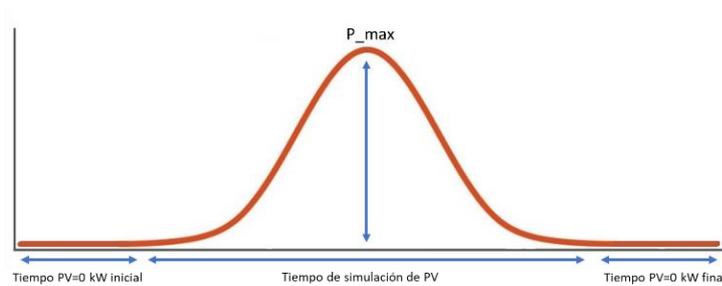


Ilustración 7.35: Parámetros configurables para una curva FV

Para ello, se concatenan 3 arrays diferentes:

1. El primer array de ceros
2. Una curva sinusoidal positiva en cuyo pico estará la potencia máxima
3. Y de nuevo, un array de ceros

El tamaño de cada array viene dado por: $\text{tamaño array} = \frac{t_{\text{ejecución}}}{\text{resolución}}$

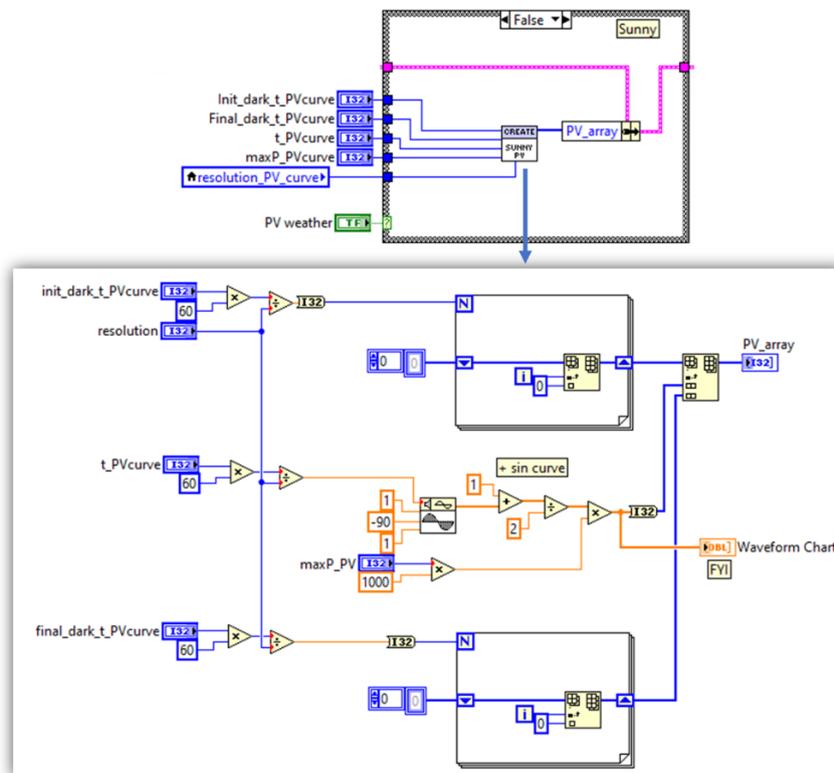


Ilustración 7.36: LabVIEW Diagrama de Bloques– Generar un array de una curva FV ideal

Para el escenario de un día nublado, se sigue el mismo proceso, pero añadiendo un paso adicional. Aleatoriamente, el número de puntos que componen la curva que se verán influenciados por el clima desfavorable serán seleccionados aleatoriamente. Estos puntos experimentarán una reducción en su potencia fotovoltaica, variando entre 2 y 5 veces menos de lo habitual. Con esto se consigue que la curva no sea ideal, si no que se simula la pérdida de potencia en ciertos momentos del día. Para ayudar a entender mejor el concepto, esta gráfica muestra la diferencia entre la curva ideal generada, y la afectada por el clima:

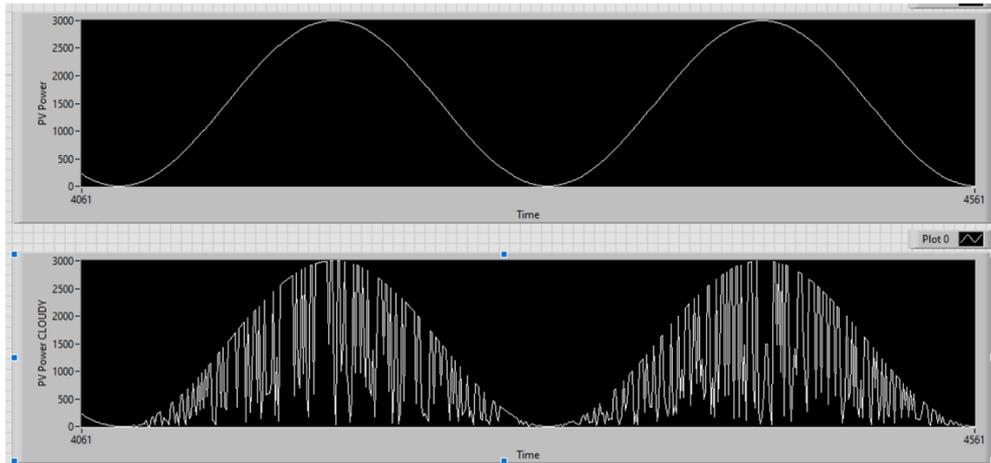


Ilustración 7.37: LabVIEW Panel Frontal – Ejemplos de dos curvas FV generadas

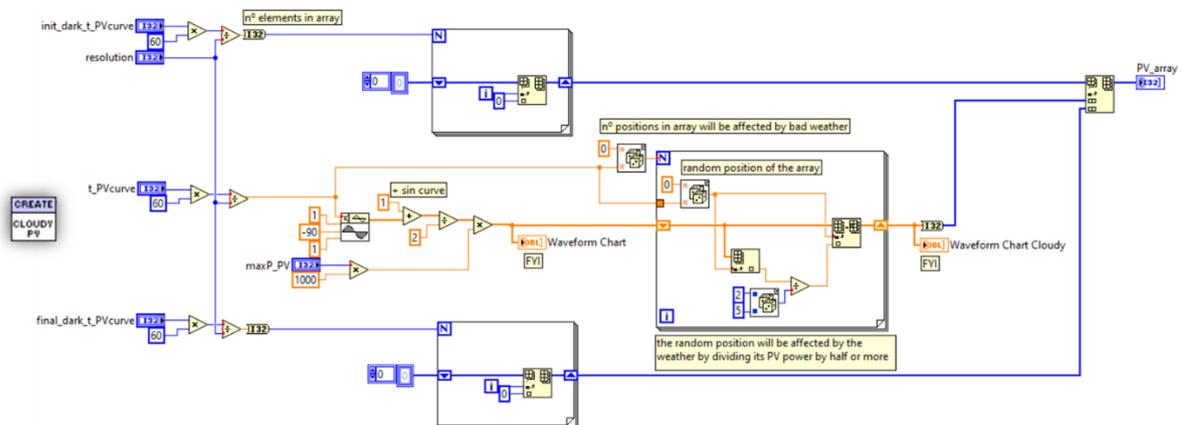


Ilustración 7.38: LabVIEW Diagrama de Bloques – Generar un array de una curva FV en día nublado

7.5.2.7. Create random PV

El objetivo es generar un array que describa un comportamiento errático, por lo que se incluyen números aleatorios comprendidos en el rango especificado por el usuario, es decir, la potencia máxima y mínima.

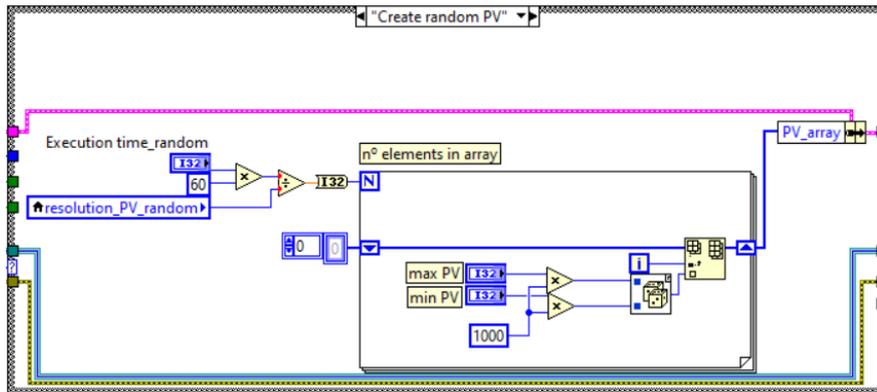


Ilustración 7.39: LabVIEW Diagrama de Bloques– Generar un array aleatorio

7.5.2.8. Set I

Para el caso de curvas FV constantes, el dato de la corriente elegida por el usuario es escrita.

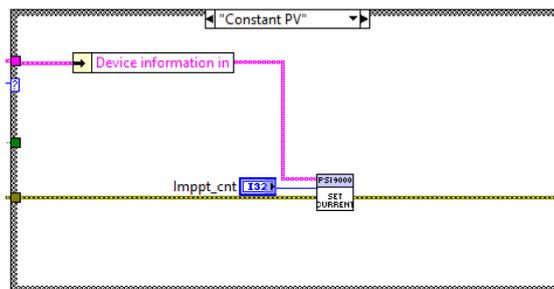


Ilustración 7.40: LabVIEW Diagrama de Bloques– Fijar tensión de la fuente de FV para una curva constante

En cambio, para los otros dos casos, curva FV y FV aleatoria, la misma estructura es usada para ambos. La tensión ya está fijada y la potencia de salida será controlada con la corriente. Como se ha visto en los dos capítulos anteriores, la potencia a la que queremos llegar es sabida, así que simplemente se van leyendo los valores del array que se han generado anteriormente. De esta manera, cada vez que se ejecute el timeout de la estructura de eventos, escribiremos en la fuente PSI.

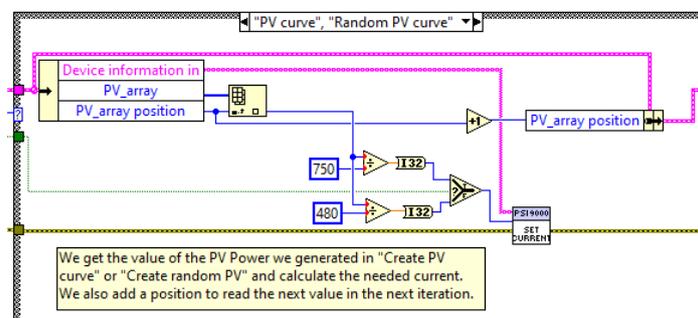


Ilustración 7.41: LabVIEW Diagrama de Bloques– Fijar tensión de la fuente para una curva de FV y FV aleatoria

El timeout se ejecutará en función del tipo de curva de FV seleccionada por el usuario. Si se elige simular una FV constante, el tiempo de espera nunca se activará. Sin embargo, para los otros dos casos, el timeout se activará de acuerdo con la resolución especificada por el

usuario. Esto es necesario para determinar con qué frecuencia se desea que cambie la FV, con más o menos intervalos en la simulación.

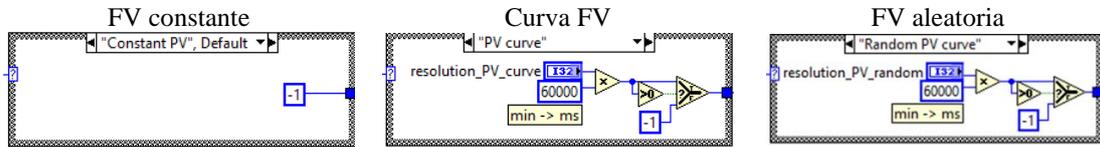


Ilustración 7.42: LabVIEW Diagrama de Bloques– Timeout para las distintas curvas FV

7.5.2.9. Get Power

El propósito de este último escenario es proporcionar al usuario una visión clara de la potencia que está generando la fuente de energía fotovoltaica, con el fin de mejorar la experiencia del cliente. Además, se representará gráficamente la potencia FV en un gráfico en tiempo real.

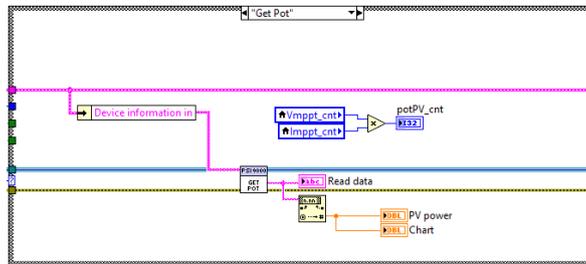


Ilustración 7.43: LabVIEW Diagrama de Bloques– Mostrar la potencia inyectada

8 Resultados obtenidos

Para evaluar que la herramienta se comporta conforme a lo esperado, se realizaron diversas pruebas utilizando equipos de almacenamiento energético. Los equipos de almacenamiento tienen sus medidores de señales para poder hacer su control interno. Éste además manda toda esta información sensada a la nube cada 2 minutos. Para poder analizar las señales, existe una herramienta interna usada en la empresa que representa, entre otros parámetros, las variables que manda el equipo en gráficas. Es una herramienta diseñada específicamente por la empresa para poder realizar la gestión y supervisión de los dispositivos en campo, además, de la subsanación de posibles avisos y errores. Toda esta información está relacionada entre sí, lo que permite que se muestre desde diferentes puntos de vista, de forma general o en detalle al seleccionar un equipo en particular. Se inyectarán varias curvas FV usando la herramienta de simulación y se estudiará cómo lo interpreta el equipo de almacenamiento.

8.1. Inyección de Potencia FV constante

Se configuró la herramienta para inyectar una potencia fotovoltaica constante de 3 kW durante 90 minutos. A continuación, se comparan las señales generadas por la herramienta con las registradas por el equipo de almacenamiento energético:

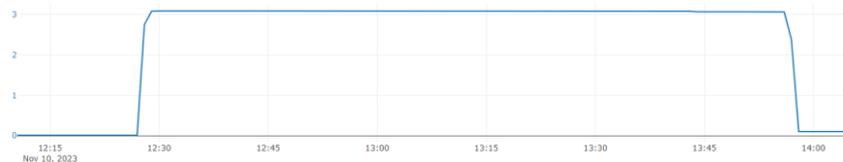


Ilustración 8.1: FV constante medida por el equipo de almacenamiento energético

La fuente FV generó una curva de potencia constante de 3 kW, sin fluctuaciones significativas durante el periodo de prueba. Por consiguiente, el equipo de almacenamiento energético también detectó una potencia constante de 3 kW, como se puede apreciar en la imagen, que representa la gráfica de la herramienta interna de supervisión. Esto supone que, gracias a poder mantener una potencia FV constante, facilita pruebas repetitivas, lo que es crucial para la validación de los equipos de almacenamiento.

8.2. Inyección de Potencia FV aleatoria

Se configuró la herramienta para inyectar una potencia FV aleatoria dentro de un rango de valores y durante un tiempo determinado. La potencia mínima en este caso fue de 2kW, mientras que la máxima fue de 3kW. El tiempo de simulación fue de una hora mientras que la resolución se configuró en 1 minuto. Es decir, que se inyectaron 60 niveles distintos de potencia durante esa hora. La curva que generó nuestra aplicación en LabVIEW es la siguiente:

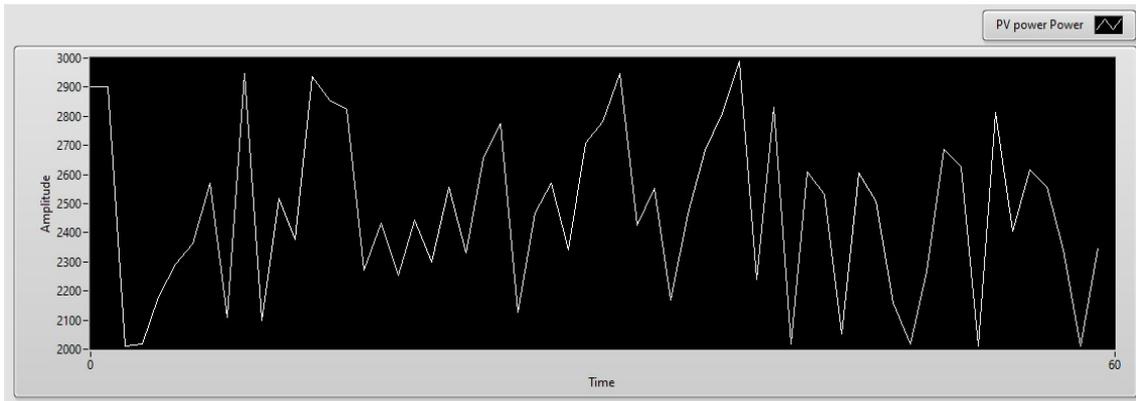


Ilustración 8.2: FV aleatoria mostrada por la herramienta

Y la que percibió el equipo de almacenamiento energético es la siguiente:

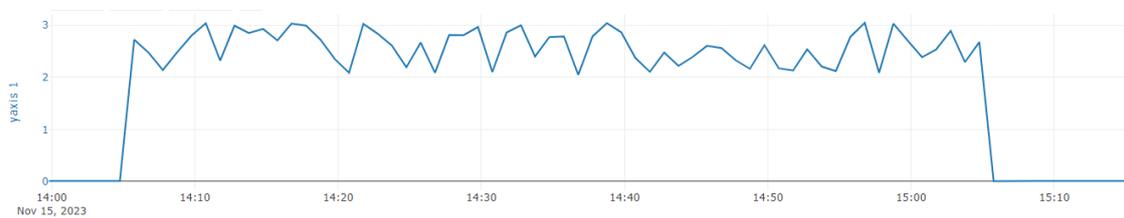


Ilustración 8.3: FV aleatoria medida por el equipo de almacenamiento energético

Como vemos, se puede intuir que ambas gráficas siguen el mismo patrón, aunque con algunas discrepancias. Estas pueden ser por la frecuencia de muestreo del equipo de almacenamiento y por la frecuencia en la que reporta una nueva medida a la nube, que es cada 2 minutos. A pesar de estas discrepancias, la tendencia general de la curva fue consistente entre la fuente y el equipo de almacenamiento.

Como no se pueden sacar conclusiones claras de esta comparación, y para comprobar la fiabilidad de la salida de la fuente FV, se tomaron medidas durante los primeros y últimos 20 minutos de la prueba, utilizando un osciloscopio y una pinza amperimétrica, lo cual proporciona una precisión superior comparada con la frecuencia de muestreo del equipo de almacenamiento. Se midieron la tensión V_{mppt} y la corriente I_{mppt} a la entrada de FV del equipo de almacenamiento energético. La siguiente imagen muestra el montaje en el laboratorio:

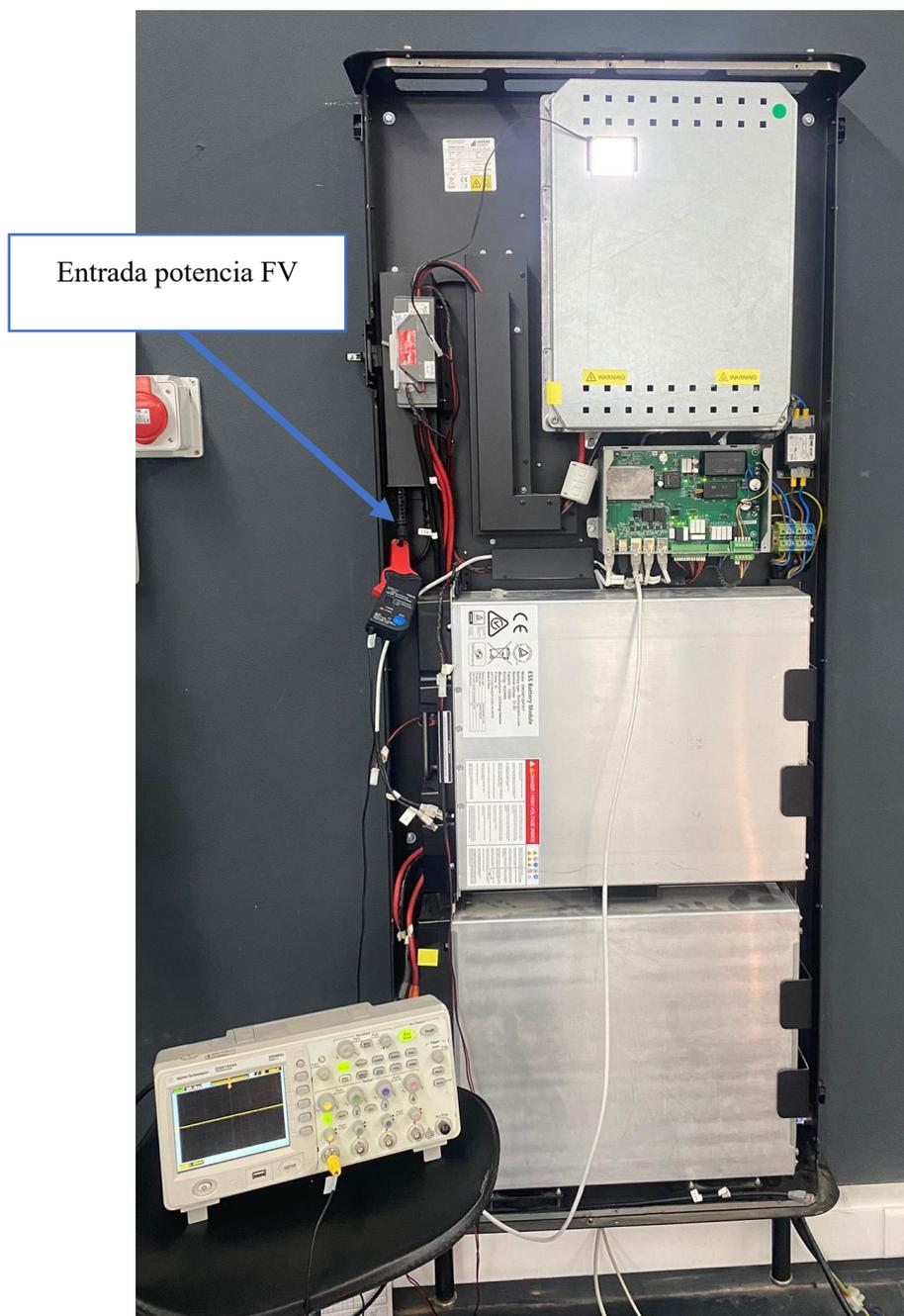


Ilustración 8.4: Montaje en el laboratorio para medir la FV aleatoria recibida en el equipo de almacenamiento energético

La tabla a continuación muestra los valores obtenidos durante las mediciones, aunque se debe tener en cuenta que estos valores fluctúan y el proceso de medición puede añadir errores a los datos. En el capítulo 7.5.2.7 Create PV curve, se explica que se genera un array de datos. La primera columna corresponde a ese array, es decir, la potencia exacta que inyectará la fuente FV. La segunda y tercera columnas corresponden a los valores medidos en el setup explicado. La última columna se obtiene mediante la tensión y corriente medidas. En la tabla se muestran los primeros y últimos 20 valores para reducir el número de muestras:

Muestra	P mppt LabVIEW [W]	V mppt [V]	I mppt [A]	P mppt calculada [W]
1	2900	364,9	7,01	2919,2
2	2901	400,03	7,39	2912,2184
3	2009	361,11	4,75	1989,7161
4	2016	380,02	4,96	1991,3048
5	2180	367	6,67	2175
6	2293	367	6,67	2175
7	2364	394,3	2,1	828
8	2570	366,34	6,26	2564,38
9	2109	371,4	6,68	2116,98
10	2946	367,15	8,79	2937,2
11	2099	422,5	4,31	2112,5
12	2519	364,39	7,8	2550,73
13	2377	391,78	6,92	2350,68
14	2936	391,47	7,04	2936,025
15	2854	356,25	7,27	2850
16	2824	357	7,87	2856
17	2270	381,53	5,8	2289,18
18	2432	402,77	6,4	2416,62
19	2253	378,1	6,53	2268,6
20	2442	376,15	5,97	2444,975
[...]				
41	2830	2799,225	373,23	8,49
42	2019	2017,5	403,5	4,19
43	2609	2583,8573	378,31	6,79
44	2531	2548,8387	371,01	6,94
45	2054	2057	411,4	4,36
46	2606	2597,585	369,5	6,99
47	2507	2525,18	360,74	6,68
48	2159	2135,2515	384,73	4,76
49	2016	2035,748	391,49	4,89
50	2269	2273,2864	369,04	5,88
51	2685	2687,79	383,97	7,04
52	2627	2597,868	354,9	7,12
53	2010	2016,5	403,3	4,31
54	2813	2782,1568	362,26	7,77
55	2404	2375,1936	351,36	6,97
56	2617	2594,62	370,66	7,78
57	2558	2589,0504	371,99	6,51
58	2342	2324,7712	356,56	7,35
59	2011	2032,5616	395,44	5,76
60	2346	370	369,85	1

Ilustración 8.5: FV aleatoria medida con osciloscopio y pinza amperimétrica

Dos muestras, la número 7 y la número 60, no pueden considerarse válidas ya que la potencia final obtenida es muy baja. Ambas presentan obvios errores, posiblemente debido a fallos humanos durante la medición o a posibles fallos en la herramienta de medida. Sin embargo, al excluir estas dos muestras, el resto de los resultados son satisfactorios. Además, las muestras 5 y 6 arrojaron exactamente la misma medida, probablemente debido a que fueron tomadas en momentos muy próximos.

A continuación, se representa la potencia calculada en gráficos para poder comparar los resultados visualmente. Las muestras mencionadas anteriormente se obvian:

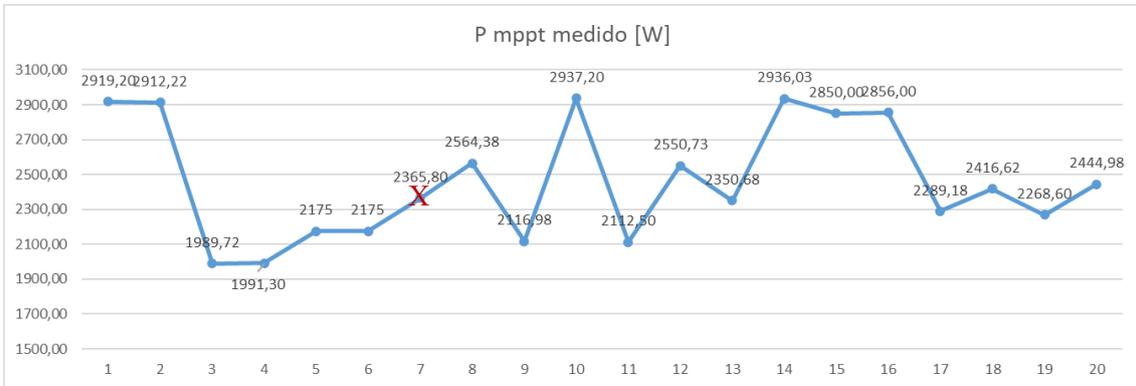


Ilustración 8.6: 20 primeras muestras de potencia FV medida en el equipo de almacenamiento energético

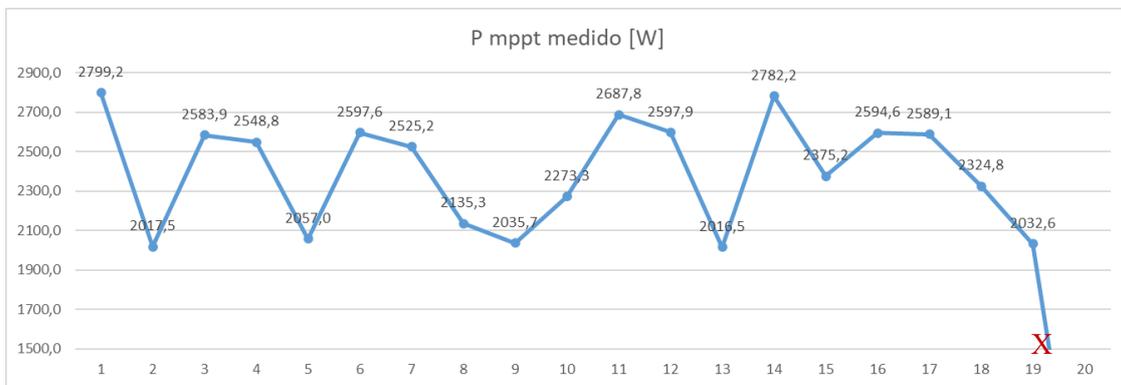


Ilustración 8.7: 20 últimas muestras de potencia FV medida en el equipo de almacenamiento energético

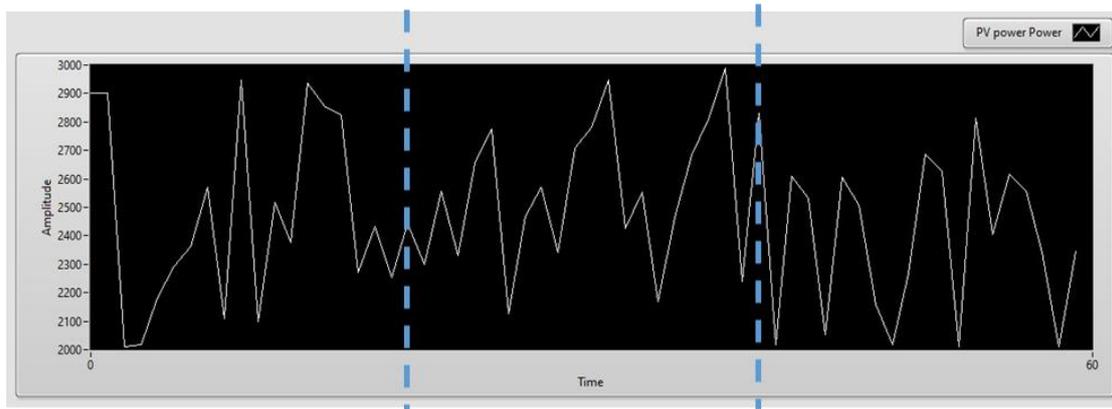


Ilustración 8.8: FV aleatoria mostrada por la herramienta mostrando las primeras y últimas 20 señales

El trazado de las gráficas generadas con Excel y la generada con la herramienta LabVIEW son muy similares. Esto confirma que la herramienta desarrollada en LabVIEW es efectiva para inyectar potencias FV de manera controlada y precisa.

8.3. Simulación de una curva FV

En el caso de una curva FV Ideal, se fijó un tiempo de noche, la duración de la curva y la potencia máxima alcanzada. En este experimento, se dejó 1 hora de oscuridad tanto antes como después de la curva ideal, cuya potencia máxima es de 3 kW. Como vemos, la curva fotovoltaica se ha mantenido fiel a la curva ideal y sin perturbaciones. El experimento se puede dar como satisfactorio.

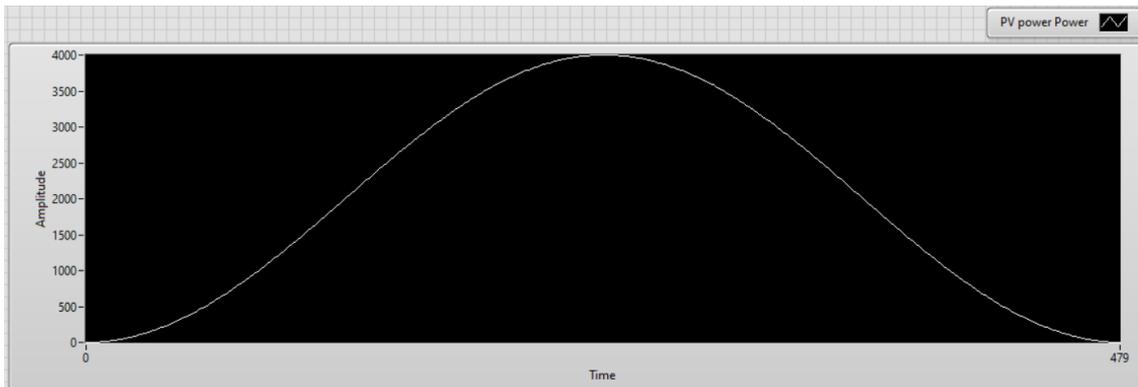


Ilustración 8.9: FV ideal mostrada por la herramienta

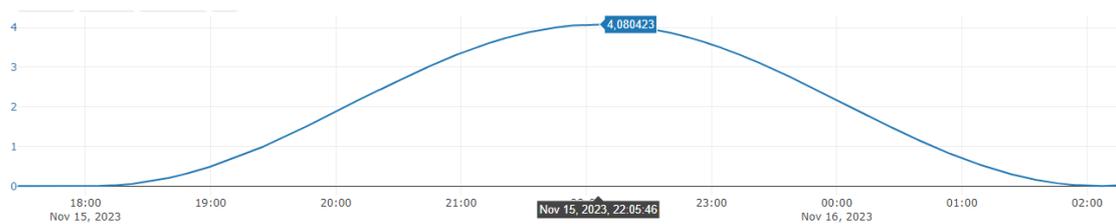


Ilustración 8.10: FV ideal medida por el equipo de almacenamiento energético

Por otro lado, para el día nublado debemos saber la curva que generó nuestra aplicación en LabVIEW que es la siguiente:

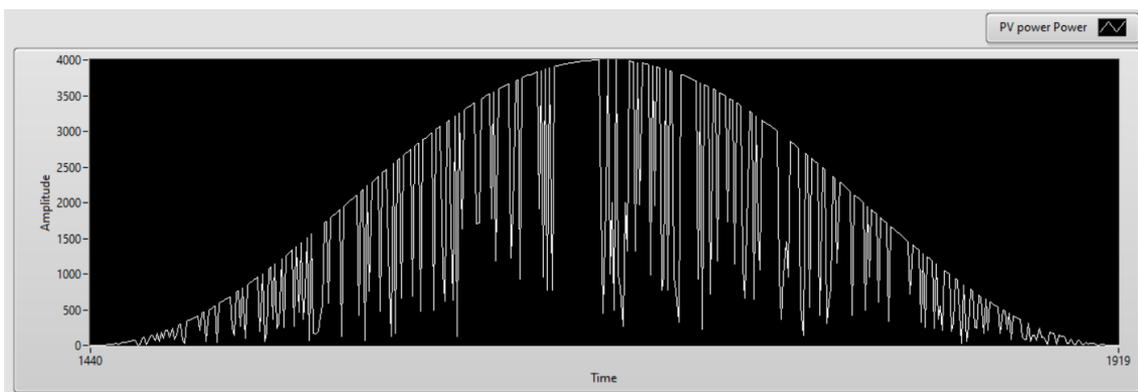


Ilustración 8.11: FV en día nublado mostrada por la herramienta



Ilustración 8.12: FV en día nublado medida por el equipo de almacenamiento energético

La que percibió el equipo de almacenamiento energético es la siguiente y podemos ver que se intuye la curva característica de una curva de FV a lo largo del día, pero con claras perturbaciones de la potencia. Este caso de uso es especialmente interesante ya que nos permite simular condiciones desfavorables, y poder desarrollar la respuesta del equipo de almacenamiento en consonancia.

9 Conclusiones

En conclusión, en este trabajo se acomete la necesidad de optimizar el proceso de validación de una empresa que fabrica equipos de almacenamiento energético de energía fotovoltaica. Se explica que, en el laboratorio de validación, existen fuentes de simulación de energía FV cuya interfaz actual es muy deficiente. Esas deficiencias se manifiestan en la falta de ser intuitiva, la incomodidad en su uso y la baja productividad que resulta de la necesidad de configurarla manualmente. Estas carencias afectan negativamente la eficiencia del departamento de validación y la experiencia del trabajador.

La solución propuesta consiste en el desarrollo de una herramienta de control en LabVIEW que permita gestionar las fuentes de simulación FV de manera más eficaz. Facilita la simulación de distintos escenarios de energía fotovoltaica necesarios para los casos de prueba: inyección de potencia FV constante, inyección de potencia FV cambiante (aleatoria) y simulación de curvas FV ideales y en días nublados.

Los resultados experimentales indican que la aplicación desarrollada es capaz de simular esos escenarios propuestos, mejorando así la calidad del proceso de validación y, por tanto, la calidad de la empresa en su conjunto ya que se reducen los tiempos de fabricación de un nuevo producto.

10 Bibliografía

- [1] I. Fariza, «Los proyectos renovables superan “con creces” el crecimiento previsto de la red eléctrica en España, según un estudio,» *El País*, 12 Abril 2023.
- [2] J. Revuelta, «El almacenamiento energético, imprescindible para acelerar la transición,» *El País*, 15 Marzo 2023.
- [3] «<https://ampere-energy.com/>,» [En línea]. Available: <https://ampere-energy.com/>.
- [4] A. E. «SEMS Square Pro,» [En línea]. Available: https://ampere-energy.es/es/our_systems/sems_square_pro.
- [5] A. E. «SEMS Tower Pro,» [En línea]. Available: https://ampere-energy.es/es/our_systems/sems_tower_pro.
- [6] A. E. «SEMS T Pro,» [En línea]. Available: https://ampere-energy.es/es/our_systems/sems_t_pro.
- [7] Elektro-Automatik, «Series PSI 9000 3U 3.3kW up to 15kW,» [En línea]. Available: <https://elektroautomatik.com/shop/en/products/programmable-dc-laboratory-power-supplies/discontinued-series/series-psi-9000-3u-br-3.3kw-up-to-15kw/438/laboratory-power-supply-0..750v/0..20a>.
- [8] «<https://elektroautomatik.com/es/>,» [En línea]. Available: <https://elektroautomatik.com/es/>.
- [9] Elektro-Automatik, «Programming guide for Modbus,» [En línea]. Available: <https://elektroautomatik.com/shop/en/service/downloads/programming-guide-for-modbus/>.
- [10] Logicbus, «Modbus RTU,» 14 junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/blog/modbus-rtu/>.
- [11] Wikipedia, «Modbus,» 14 Enero 2024. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Modbus>.
- [12] Elektro-Automatik, «EA-Power Control,» [En línea]. Available: <https://elektroautomatik.com/en/software/ea-power-control/>.
- [13] Elektro-Automatik, «Downloads,» [En línea]. Available: <https://elektroautomatik.com/shop/en/service/downloads/labview/>.
- [14] N. I. «¿Qué es NI LabVIEW?,» [En línea]. Available: <https://www.ni.com/es/shop/labview.html>.



Anexo A: Hoja de características de equipos de almacenamiento energético

Anexo A1: Hoja de características del Equipo Monofásico con una Batería

Título: SEMS Square Pro

Autor: Ampere Energy

Obtenido de: https://ampere-energy.es/es/our_systems/sems_square_pro



Anexo A2: Hoja de características del Equipo Monofásico con Varios Módulos de Baterías

Título: SEMS Tower Pro

Autor: Ampere Energy

Obtenido de: https://ampere-energy.es/es/our_systems/sems_tower_pro

Anexo A3: Hoja de características del Equipo Trifásico con Varios Módulos de Baterías

Título: SEMS T Pro

Autor: Ampere Energy

Obtenido de: https://ampere-energy.es/es/our_systems/sems_t_pro

Anexo B: Documentos de Elektro-Automatik

Anexo B1: Guía de Programación Modbus

Título: Programming guide for Modbus

Autor: Elektro-Automatik

Obtenido de: <https://elektroautomatik.com/shop/en/service/downloads/programming-guide-for-modbus/>

Anexo B2: Listas de Registros Modbus

Título: Modbus registers list

Autor: Elektro-Automatik

Obtenido de: <https://elektroautomatik.com/shop/en/service/downloads/programming-guide-for-modbus/>



Anexo B3: Manual de Usuario

Título: Manual de funcionamiento PSI 9000 3U

Autor: Elektro-Automatik

Obtenido de: <https://elektroautomatik.com/shop/en/products/programmable-dc-laboratory-power-supplies/discontinued-series/series-psi-9000-3u-br-3.3kw-up-to-15kw/438/laboratory-power-supply-0..750v/0..20a>

Anexo B4: Hoja de Características

Título: EA PSI 9000 3U 5kW up to 15kW

Autor: Elektro-Automatik

Obtenido de: <https://elektroautomatik.com/shop/en/products/programmable-dc-laboratory-power-supplies/discontinued-series/series-psi-9000-3u-br-3.3kw-up-to-15kw/438/laboratory-power-supply-0..750v/0..20a>



Anexo B5: Guía de usuario para interfaces VIs

Título: User guide for interface VIs

Autor: Elektro-Automatik

Obtenido de: <https://elektroautomatik.com/shop/en/service/downloads/LabVIEW/#>

Anexo B6: Instalación de interfaces VIs

Título: Installation guide for interface VIs

Autor: Elektro-Automatik

Obtenido de: <https://elektroautomatik.com/shop/en/service/downloads/LabVIEW/#>

