

ANEXO 1
Documento de Ejemplos Prácticos

ACUERDO ESPECÍFICO 5
Convenio Marco CNO-UNIANDES

Desarrollo de los protocolos para el cálculo de la CEN (Capacidad Efectiva Neta) y el modelo que relaciona el recurso y la potencia para plantas solares fotovoltaicas a partir de modelamiento computacional

Versión Librería 0.1.0

**Bogotá, D.C., Colombia
2021**

Tabla de Contenido

Ejemplo 1: Planta Solar Fotovoltaica Universidad de los Andes	3
<i>Arquitectura del Parque Fotovoltaico</i>	3
<i>Archivo de Configuración en CNO_Configuración_Sistema</i>	3
Configuración Inversor 1	3
Configuración Inversor 2	5
<i>Protocolos en CNO_Protocolos.....</i>	6
CEN	6
Recurso-Potencia	12
Ejemplo 2: Planta Solar Fotovoltaica East-West y Configuración PVsyst	15
<i>Arquitectura del Parque Fotovoltaico</i>	15
<i>Archivo de Configuración en CNO_Configuración_Sistema</i>	15
Configuración Inversor 1	15
<i>Protocolos en CNO_Protocolos.....</i>	19
CEN	19
Recurso-Potencia	21
Ejemplo 3: Planta Solar Fotovoltaica con Tracker y Bifacial	26
<i>Arquitectura del Parque Fotovoltaico</i>	26
<i>Archivo de Configuración en CNO_Configuración_Sistema</i>	27
Configuración Inversor 1	27
Configuración Inversor 2	30
<i>Protocolos en CNO_Protocolos.....</i>	31
CEN	31
Recurso-Potencia	34

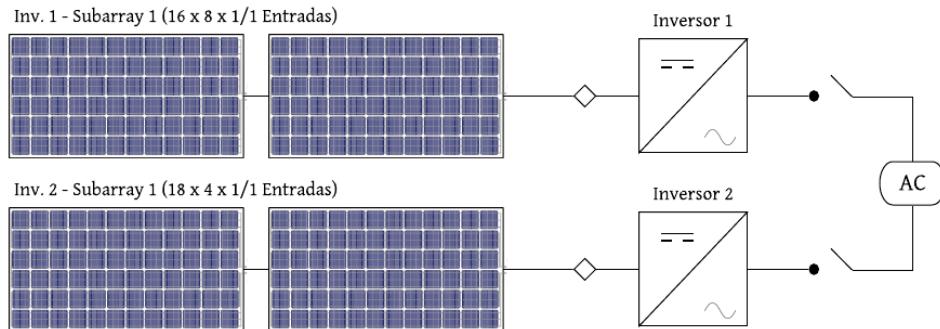
Ejemplo 1: Planta Solar Fotovoltaica Universidad de los Andes

Arquitectura del Parque Fotovoltaico

La información técnica de la planta de la Universidad de los Andes se detalla en la Tabla I.

Tabla I. Datos técnicos de arquitectura de la planta fotovoltaica de la Universidad de los Andes.

Dato Técnico	Inversor 1	Inversor 2
Potencia, kWp	51.2	28.8
Inclinación, °	10	10
Azimutal, °	180	180
Módulo Fotovoltaico	LG Electronics LG400N2W-A5	LG Electronics LG400N2W-A5
Módulo Bifacial	No	No
Módulos por String	16	18
Strings por Inversor	8	4
Porcentaje Entradas	1	1
Inversor	ABB TRIO 50.0 TL OUTD US	ABB TRIO 27.6 TL OUTD US
Número Inversores	1	1
Cantidad Subarrays	1	1



Esquemático 1. Arquitectura de la planta fotovoltaica de la Universidad de los Andes. El rombo entre el subarray y el inversor indica la cantidad de entradas del inversor; en este caso una para cada inversor.

Archivo de Configuración en CNO_Configuración_Sistema

Dado que la planta cuenta con dos inversores diferentes, se deben realizar dos configuraciones y, por tanto, generar dos archivos de configuración en formato JSON. Estos archivos, al descargarlos, se alojan en la carpeta *cno_solar/configurations/system_config.json*.

Configuración Inversor 1

Paso 1. Se inicia con la pestaña de Ubicación completando los datos requeridos. Es importante comentar:

- Si se desconoce el valor *in situ* del parámetro *Albedo*, al asignar una *Superficie*, el programa internamente dispone el albedo por defecto para la superficie seleccionada. En este ejemplo, la superficie urbana corresponde a un albedo de 0.18.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Información Geográfica				
Latitud	4.604535			
Longitud	-74.066038			
Altitud [m.s.n.m]	2632			
Huso Horario	America/Bogota			
Superficie	Urbano			
Albedo [%]	0.18			

Figura 1.2. Información asignada del tab Ubicación.

Paso 2. Se procede con la configuración del inversor ABB TRIO 50.0 TL OUTD US. En este caso se ilustrará el uso del método *Repositorio*.

- El inversor se encuentra en el repositorio CEC de PVlib.
- En el repositorio CEC de PVlib, se selecciona el fabricante, i.e., ABB.
- En la opción *Inversores* se selecciona el inversor de interés.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Método de Configuración				
Repositorio	PVsyst	Manual		
Repositorio	CEC			
Fabricantes	ABB			
Inversores	ABB_TRIO_50_0_TL_OUTD_US_480V_480V_			

Figura 1.2. Método de configuración Repositorio del tab Inversor.

Paso 3. Se continúa con la configuración del módulo fotovoltaico LG Electronics LG400N2W-A5. Al igual que para el inversor, se ilustrará el uso del método *Repositorio*.

- El módulo fotovoltaico se encuentra en el repositorio CEC de PVlib. **Nota:** Debido a la extensión de este repositorio, es posible que se tome un tiempo no mayor a un minuto en cargar las opciones.
- En el repositorio CEC de PVlib, se selecciona el fabricante, i.e., LG.
- En la opción *Módulos* se selecciona el panel de interés.
- Dado que el módulo fotovoltaico no es bifacial, se selecciona la opción *No* en *Panel Bifacial*.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Método de Configuración				
Repositorio	PVsyst	Manual		
Repositorio	CEC			
Fabricantes	LG			
Módulos	LG_Electronics_Inc__LG400N2W_A5			
Parámetros Bifacialidad				
Panel Bifacial	No			

Figura 1.3. Método de configuración Repositorio del tab Módulo.

Paso 4. Finalmente, se realiza la configuración de diseño de la planta a partir de la información dispuesta en la Tabla I. Además, se comenta:

- El parámetro *Porcentaje Entradas* indica la fracción de potencia manejada por cada entrada. Aunque el inversor ABB TRIO 50.0 TL OUTD US dispone de dos entradas, solo una está habilitada, por lo tanto, el valor corresponde a 1/1 (léase una entrada conectada de una entrada disponible), lo cual equivale a 1.
- El montaje de los módulos fotovoltaicos es fijo (opción *Sin Seguidor*) con estructura *open rack*, opción dispuesta para el parámetro *Racking*.
- Estudios de pérdidas de la planta establecen un valor de pérdidas de 26.9%.
- Para facilitar la comprensión de los archivos generados, se asigna al parámetro *Nombre Planta* el valor de *SD51*, el cual se incluirá en el nombre del archivo JSON a descargar.

Nota: Una vez asignados estos valores, es importante primero dar clic al botón *Generar Configuración* y posteriormente al botón *Descargar Configuración*. El primero causa un evento en el que el algoritmo genera internamente el archivo de configuración con los parámetros asignados. El segundo descarga este archivo. Para ambos botones, su ícono y descripción cambiarán para notificar la ejecución de los eventos.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta								
<p>Subarrays</p> <p>Cantidad Subarrays <input type="text" value="1"/></p> <p>Configuración Eléctrica</p> <p>Módulos por String <input type="text" value="16"/></p> <p>Strings por Inversor <input type="text" value="8"/></p> <p>Porcentaje Entradas <input type="text" value="1"/></p> <p>Número Inversores <input type="text" value="1"/></p> <p>Seguidores y Orientación</p> <table border="1"> <tr> <td>Sin Seguidor</td> <td>Seguidor 1-Eje</td> </tr> <tr> <td>Elevación [°] <input type="text" value="10"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Azimutal [°] <input type="text" value="180"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Racking <input type="text" value="open_rack"/></td> <td></td> </tr> </table> <p>Parámetros Globales</p> <p>Pérdidas [%] <input type="text" value="26.9"/></p> <p>Nombre Planta <input type="text" value="SD51"/></p> <p>Archivo Configuración</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Configuración Generada <input checked="" type="checkbox"/> Configuración Descargada</p>					Sin Seguidor	Seguidor 1-Eje	Elevación [°] <input type="text" value="10"/>		Azimutal [°] <input type="text" value="180"/>		Racking <input type="text" value="open_rack"/>	
Sin Seguidor	Seguidor 1-Eje											
Elevación [°] <input type="text" value="10"/>												
Azimutal [°] <input type="text" value="180"/>												
Racking <input type="text" value="open_rack"/>												

Figura 1.4. Configuración final del tab Diseño Planta.

Configuración Inversor 2

El procedimiento es equivalente al presentado para el Inversor 1. Sin embargo, la configuración del inversor se realizará con el método *Manual* y del módulo fotovoltaico con la opción *PVFree* del método *Repositorio* en aras de exemplificar estos procedimientos.

Tab Inversor. La configuración manual del inversor permite dos escenarios: *SNL PVlib* y *NREL PVWatts*; el segundo con menos parámetros requeridos que el primero a expensas de una

representación menos precisa del rendimiento del inversor y, por ende, un modelo más simple. Dado que se conocen todos los parámetros, se configura con la opción *SNL PVlib*.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta																																				
Método de Configuración <table border="1"> <tr> <td>Repository</td> <td>PVsyst</td> <td>Manual</td> </tr> <tr> <td>Formato de Configuración</td> <td>SNL PVlib</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Configuración SNL PVlib</td> </tr> <tr> <td>P_{AC} Nominal [W]</td> <td>27600</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P_{DC} Nominal [W]</td> <td>28199.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>V_{DC} Nominal [V]</td> <td>715</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P_{DC} de Arraque [W]</td> <td>92.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C_0 [1/W]</td> <td>-2.513804e-07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C_1 [1/V]</td> <td>-3.1e-05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C_2 [1/V]</td> <td>-0.001336</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C_3 [1/V]</td> <td>-0.001753</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P_{AC} Consumo Nocturno [W]</td> <td>8.28</td> <td></td> </tr> </table>					Repository	PVsyst	Manual	Formato de Configuración	SNL PVlib		Configuración SNL PVlib			P_{AC} Nominal [W]	27600		P_{DC} Nominal [W]	28199.2		V_{DC} Nominal [V]	715		P_{DC} de Arraque [W]	92.1		C_0 [1/W]	-2.513804e-07		C_1 [1/V]	-3.1e-05		C_2 [1/V]	-0.001336		C_3 [1/V]	-0.001753		P_{AC} Consumo Nocturno [W]	8.28	
Repository	PVsyst	Manual																																						
Formato de Configuración	SNL PVlib																																							
Configuración SNL PVlib																																								
P_{AC} Nominal [W]	27600																																							
P_{DC} Nominal [W]	28199.2																																							
V_{DC} Nominal [V]	715																																							
P_{DC} de Arraque [W]	92.1																																							
C_0 [1/W]	-2.513804e-07																																							
C_1 [1/V]	-3.1e-05																																							
C_2 [1/V]	-0.001336																																							
C_3 [1/V]	-0.001753																																							
P_{AC} Consumo Nocturno [W]	8.28																																							

Figura 1.5. Configuración manual con formato SNL PVlib del tab Inversor.

Tab Módulo. PVFree es una interfaz que almacena los parámetros técnicos de inversores y módulos fotovoltaicos, desplegada y mantenida por uno de los desarrolladores de PVlib. El módulo fotovoltaico LG Electronics LG400N2W-A5 se encuentra en la *Base de Datos* denominada *cecmodule* y su *ID* es 10267 (https://pvfree.herokuapp.com/cec_modules/10267/).

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta																		
Método de Configuración <table border="1"> <tr> <td>Repository</td> <td>PVsyst</td> <td>Manual</td> </tr> <tr> <td>Repository</td> <td>PVFree</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Base de Datos</td> <td>cecmodule</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ID</td> <td>10267</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Parámetros Bifacialidad</td> </tr> <tr> <td>Panel Bifacial</td> <td>No</td> <td></td> </tr> </table>					Repository	PVsyst	Manual	Repository	PVFree		Base de Datos	cecmodule		ID	10267		Parámetros Bifacialidad			Panel Bifacial	No	
Repository	PVsyst	Manual																				
Repository	PVFree																					
Base de Datos	cecmodule																					
ID	10267																					
Parámetros Bifacialidad																						
Panel Bifacial	No																					

Figura 1.6. Configuración con PVFree del tab Módulo.

Protocolos en CNO_Protocolos

A continuación, se ilustrará el proceso para ejecutar el protocolo establecido para el cálculo de la Capacidad Efectiva Neta —incluyendo la estimación de la energía mínima diaria— y la relación Recurso-Potencia.

CEN

Paso 1. Se inicia con la selección de los archivos de configuración del sistema en formato JSON. Dado que para la planta fotovoltaica de ejemplo se tienen dos archivos, ambos son seleccionados de forma simultánea. **Nota:** Es importante tener en cuenta que estos se cargan según el orden alfabético del nombre de los archivos y asimismo son ejecutados.

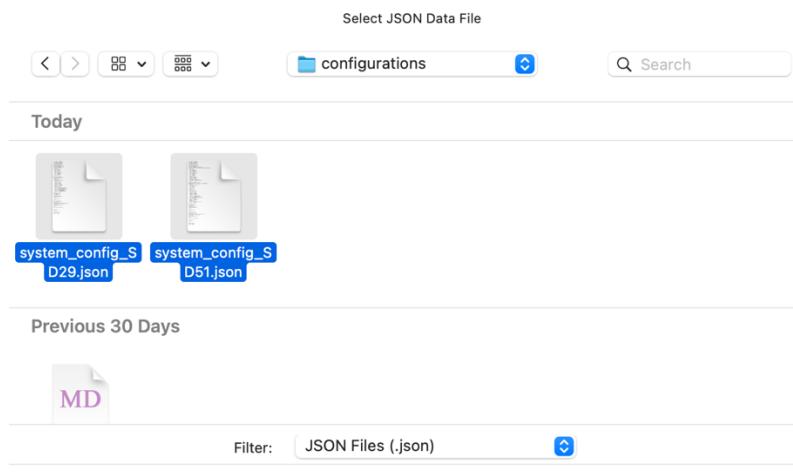


Figura 1.7. Información inicial seleccionada y cargada del tab CEN.

Paso 2. Se selecciona el archivo .CSV de la serie histórica de datos meteorológicos. En este caso, el archivo tiene las siguientes características:

- Resolución cinco-minutal desde 3-Ago-2019 hasta 28-Feb-2021.
- Tres columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI) y temperatura ambiente (encabezado Tamb).

Nota: La estructura de la serie histórica de datos meteorológicos sigue los lineamientos establecidos en la CREG 060 de 2019. Es importante tener en cuenta que:

- A pesar de que la CEN se debe calcular con datos de irradiancia global horizontal y temperatura ambiente, el código es flexible en cuanto a que permite generar el cálculo si se tiene la irradiancia en el plano del arreglo y temperatura del módulo. Para esto, el archivo .CSV debe contener cinco columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI), temperatura ambiente (encabezado Tamb), irradiancia en el plano del arreglo (encabezado POA) y temperatura del módulo (encabezado Tmod). Si el instrumento de medición de la irradiancia en el plano del arreglo es una celda de referencia, nombre el encabezado de dicha columna Effective_Irradiance en lugar de POA.
- El encabezado de los datos en el archivo .CSV **debe** mantener los nombres previamente indicados —i.e., GHI, Tamb, POA (o Effective_Irradiance si aplica) y Tmod—. De lo contrario, el algoritmo no los podrá reconocer y se reportará un error.

Paso 3. Dar clic en el botón *Cargar Archivos*. Con esto, el algoritmo lee los archivos cargados e internamente los define. Se notificará la carga completa de los archivos cuando el ícono y la descripción del botón se actualicen.

Documentación	CEN	Recurso-Potencia
Información Inicial		
Configuración Sistema (.JSON)	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado	
Serie Histórica de Datos (.CSV)	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado	
✓ Archivos Cargados		
Capacidad Efectiva Neta		
Percentil [%]	99	
Gráfica - Color	#1580E4	<input checked="" type="checkbox"/>
Gráfica - Magnitud P_{AC}	W	
Gráfica - Descargar	No	
 Calcular CEN		 Descargar Producción
» Energía Mínima Diaria		

Figura 1.8. Información inicial seleccionada y cargada del tab CEN.

Paso 4. Establecer el percentil con el cual se desea estimar la CEN. Por definición, este valor corresponde a la máxima capacidad de potencia —en valor entero y unidades de MW— que puede suministrar una planta en la frontera comercial. No obstante, el valor máximo puede contener datos atípicos. El percentil 99 filtra estos datos que pueden dar indicio a interpretaciones incorrectas de la planta y, por tanto, reportar un valor más congruente con la producción esperada o real. Establecido el valor del percentil, se procede a ejecutar el algoritmo dando clic al botón *Calcular CEN*.

El resultado se presenta en la Figura 1.9. Como se observa, la gráfica dispone la magnitud de la Potencia AC en unidades de kW, tal como se asignó. Además, gracias a que el parámetro *Gráfica - Descargar* se asignó como Sí, esta gráfica se descarga en la carpeta *cno_solar/downloads/cen.pdf*.

Por otra parte, al dar clic al botón *Descargar Producción*, se descargarán un archivo .CSV con datos meteorológicos y de producción (en las estampas de tiempo de la serie histórica de datos) empleados para calcular la CEN. Tenga en cuenta que:

- Se generan archivos según la arquitectura de la planta fotovoltaica (i.e., por subarreglos, por inversores y para la planta completa) y se alojan en la carpeta *cno_solar/downloads*. Por ejemplo, observe en la Figura 1.10 tres archivos: uno por inversor y uno para la planta completa, correspondiente a la adición de los dos archivos de los inversores.
- El nombre de los archivos .CSV siguen un orden numérico de descarga según el orden alfabetico de carga de los archivos de configuración. Es decir, en archivo denominado *pipeline_inverter1_system.csv* en la Figura 1.10 corresponde al Inversor 2 (28.8 kWp) y el archivo *pipeline_inverter2_system.csv* corresponde al Inversor 1 (51.2 kWp), dado que alfabéticamente el orden de carga es: *system_config_SD29.json*, seguido de *system_config_SD51.json*.

Documentación CEN Recurso-Potencia

Información Inicial

Configuración Sistema (.JSON) Seleccionado

Serie Histórica de Datos (.CSV) Seleccionado

✓ Archivos Cargados

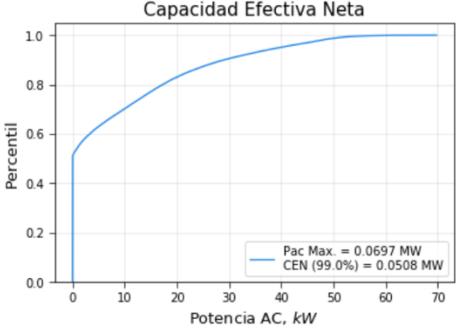
Capacidad Efectiva Neta

Percentil [%]	99
Gráfica - Color	#1580E4
Gráfica - Magnitud P_{AC}	kW
Gráfica - Descargar	Sí

↙ Calcular CEN ✓ Producción Descargada

Pac Max. = 0.0697 MW
 CEN (99.0%) = 0.0508 MW

Capacidad Efectiva Neta



Percentil
Potencia AC, kW

↳ Energía Mínima Diaria

Figura 1.9. Resultados de la estimación de la Capacidad Efectiva Neta del tab CEN.

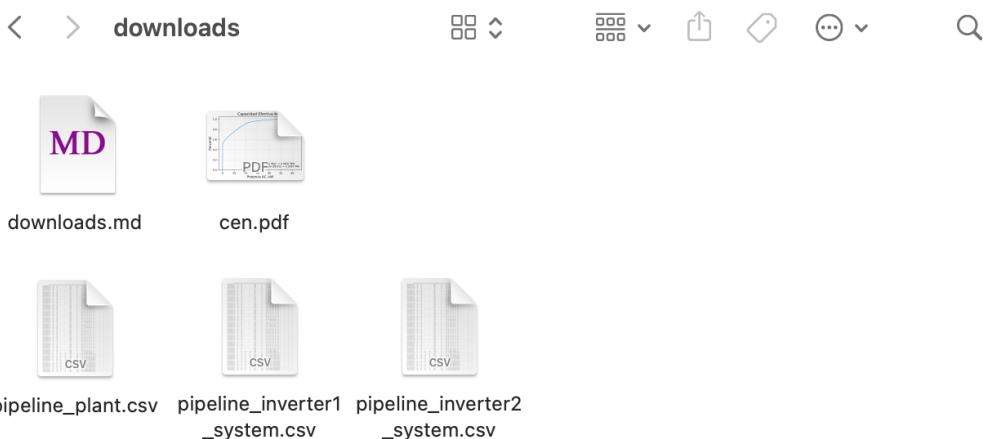


Figura 1.10. Descargas en la carpeta cno_solar/downloads del tab CEN.

Paso 5. Establecer el percentil con el cual se desea estimar la Energía Mínima Diaria. El concepto es equivalente al comentado en el Paso 4, al igual que los parámetros *Gráfica – Color*, *Gráfica – Magnitud* y *Gráfica – Descargar*. La descarga se aloja en *cno_solar/downloads/daily_energy.pdf*.

El botón *Calcular Energía Mínima Diaria* imprime el resultado de la estimación. Por otra parte, con el botón *Graficar Energía Diaria* se imprime la visualización de la curva del comportamiento de la energía a lo largo del periodo de tiempo de la serie histórica de datos.

Documentación CEN Recurso-Potencia

Información Inicial

Configuración Sistema (.JSON) Seleccionado

Serie Histórica de Datos (.CSV) Seleccionado

✓ Archivos Cargados

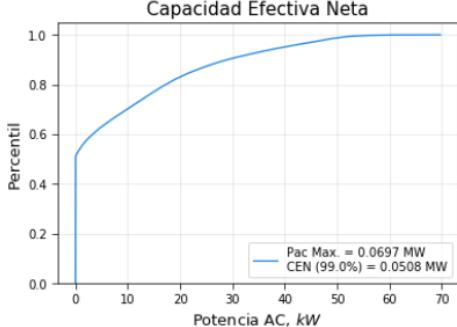
Capacidad Efectiva Neta

Percentil [%]	99
Gráfica - Color	#1580E4
Gráfica - Magnitud P_{AC}	kW
Gráfica - Descargar	Sí

-Calcular CEN ✓ Producción Descargada

Pac Max. = 0.0697 MW
 CEN (99.0%) = 0.0508 MW

Capacidad Efectiva Neta



Percentil

Potencia AC, kW

Pac Max. = 0.0697 MW
 CEN (99.0%) = 0.0508 MW

▼ Energía Mínima Diaria

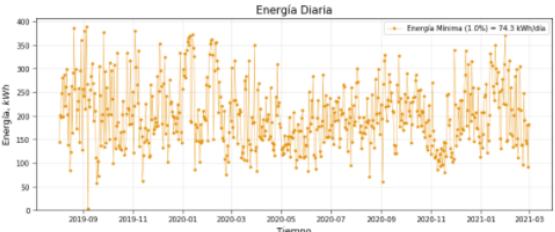
Energía Mínima Diaria

Percentil [%]	1
Gráfica - Color	#e69100
Gráfica - Magnitud Energía	kWh
Gráfica - Descargar	Sí

-Calcular Energía Mínima Diaria Graficar Energía Diaria

Energía Mínima = 74.3 kWh/día

Energía Diaria



Energía, kWh

Tiempo

Energía Mínima (1.0%) = 74.3 kWh/día

Figura 1.11. Resultados de la estimación de la energía mínima diaria del tab CEN.

Recurso-Potencia

Paso 1. Se inicia con la selección de los archivos .JSON de configuración del sistema. Dado que para la planta fotovoltaica de ejemplo se tienen dos archivos, ambos son seleccionados de forma simultánea (Ver Figura 1.7). **Nota:** Es importante tener en cuenta que estos se cargan según el orden alfabético del nombre de los archivos y asimismo son ejecutados.

Paso 2. Se selecciona el archivo .CSV de la serie histórica de datos meteorológicos. En este caso, el archivo tiene las siguientes características:

- Resolución cinco-minutal desde 3-Ago-2019 hasta 28-Feb-2021.
- Cinco columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI), temperatura ambiente (encabezado Tamb), irradiancia en el plano del arreglo (encabezado Effective_Irradiance) y temperatura del módulo (encabezado Tmod).

Nota: La estructura de la serie histórica de datos meteorológicos sigue los lineamientos establecidos en la CREG 060 de 2019. Es importante tener en cuenta que:

- A pesar de que la relación Recurso-Potencia se puede calcular con datos de irradiancia global horizontal y temperatura ambiente, el código es flexible en cuanto a que permite generar el cálculo si se tiene la irradiancia en el plano del arreglo y temperatura del módulo. Para esto, el archivo .CSV debe contener cinco columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI), temperatura ambiente (encabezado Tamb), irradiancia en el plano del arreglo (encabezado POA) y temperatura del módulo (encabezado Tmod). Si el instrumento de medición de la irradiancia en el plano del arreglo es una celda de referencia, nombre el encabezado de dicha columna Effective_Irradiance en lugar de POA.
- El encabezado de los datos en el archivo .CSV **debe** mantener los nombres previamente indicados —i.e., GHI, Tamb, POA (o Effective_Irradiance si aplica) y Tmod—. De lo contrario, el algoritmo no los podrá reconocer y se reportará un error.

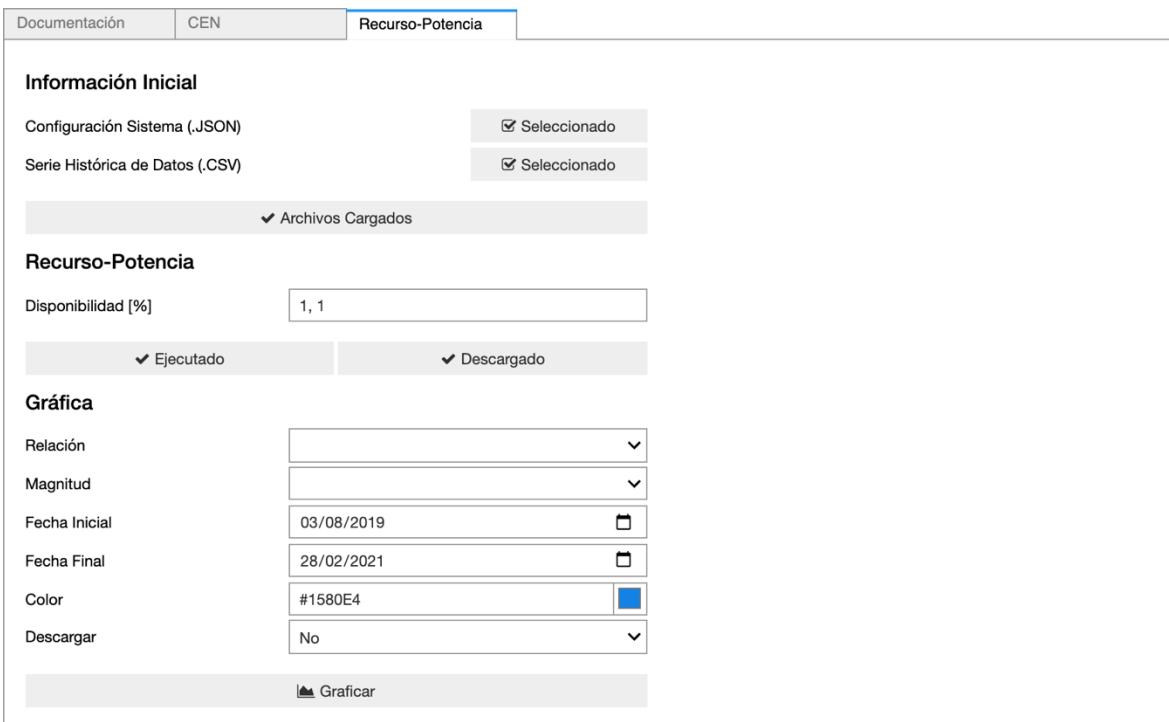
Paso 3. Dar clic en el botón *Cargar Archivos*. Con esto, el algoritmo lee los archivos cargados e internamente los define. Se notificará la carga completa de los archivos cuando el ícono y la descripción del botón se actualicen.

Paso 4. Una vez se hayan cargado los archivos .JSON y .CSV, el parámetro *Disponibilidad* actualizará su valor para indicar la cantidad de valores separados por coma a asignar. Esta cantidad depende del número de inversores —i.e., número de archivos .JSON seleccionados simultáneamente—. Por otra parte, el orden de asignación de los valores es acorde al orden alfabético de carga de los archivos de configuración. Es decir, el primer valor corresponde a la disponibilidad del Inversor 2 y el segundo, después de la coma, al Inversor 1, dado que alfabéticamente el orden de carga es: system_config_SD29.json, seguido de system_config_SD51.json.

Establecido este parámetros, se procede a dar clic al botón *Ejecutar* para que el algoritmo estime la producción de la planta fotovoltaica según el recurso indicado en los archivos de configuración del sistema y serie histórica de datos. La finalización de ejecución se notifica al cambiar el ícono y la descripción del botón (Ver Figura 1.12).

Por otra parte, al dar clic al botón *Descargar Producción*, se descargará un archivo .CSV con datos meteorológicos y de producción (en las estampas de tiempo de la serie histórica de datos) estimados por el algoritmo. Tenga en cuenta que:

- Se generan archivos según la arquitectura de la planta fotovoltaica (i.e., por subarreglos, por inversores y para la planta completa) y se alojan en la carpeta *cno_solar/downloads*. Por ejemplo, observe en la Figura 1.13 tres archivos: uno por inversor y uno para la planta completa, correspondiente a la adición de los dos archivos de los inversores.
- El nombre de los archivos .CSV siguen un orden numérico de descarga según el orden alfabético de carga de los archivos de configuración. Es decir, el archivo denominado *rp_inverter1_system.csv* en la Figura 1.13 corresponde al Inversor 2 (28.8 kWp) y el archivo *rp_inverter2_system.csv* corresponde al Inversor 1 (51.2 kWp), dado que alfabéticamente el orden de carga es: *system_config_SD29.json*, seguido de *system_config_SD51.json*. Este orden mantiene congruencia con la definición del parámetro *Disponibilidad*.



The screenshot shows the 'Recurso-Potencia' tab of a software interface. At the top, there are three tabs: 'Documentación', 'CEN', and 'Recurso-Potencia' (which is highlighted). Below the tabs, there are two sections: 'Información Inicial' and 'Recurso-Potencia'. In 'Información Inicial', there are two checkboxes: 'Configuración Sistema (.JSON)' (checked) and 'Serie Histórica de Datos (.CSV)' (checked). A button labeled 'Archivos Cargados' is shown below them. In 'Recurso-Potencia', there is a dropdown for 'Disponibilidad [%]' set to '1, 1'. Below it are two buttons: 'Ejecutado' (checked) and 'Descargado'. Under 'Gráfica', there are several dropdowns and input fields: 'Relación', 'Magnitud', 'Fecha Inicial' (set to '03/08/2019'), 'Fecha Final' (set to '28/02/2021'), 'Color' (set to '#1580E4'), and 'Descargar' (set to 'No'). A 'Graficar' button is located at the bottom of this section.

Figura 1.12. Información requerida para la ejecución del algoritmo del tab Recurso-Potencia.

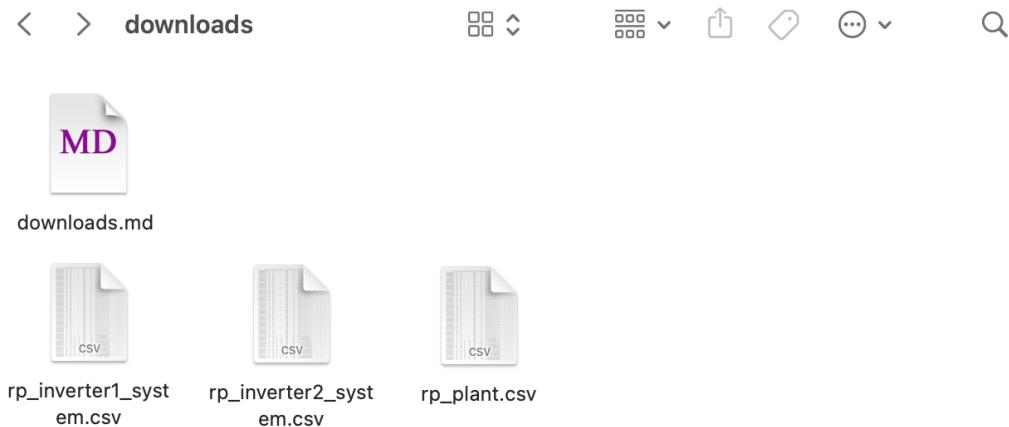


Figura 1.13. Descargas en la carpeta *cno_solar/downloads* del tab Recurso-Potencia.

Paso 5. La interfaz gráfica dispone siete relaciones para graficar con el parámetro *Relación*. Además, es posible establecer el periodo que se desea visualizar en la gráfica —es decir, un rango temporal diferente al de las estampas de tiempo de la serie histórica de datos—, estableciendo las fechas de inicio y fin con los parámetros *Fecha Inicial* y *Fecha Final*. Dado que el valor asignado al parámetro *Descargar* es Sí, la gráfica desplegada se descarga y aloja en *cno_solar/downloads* en formato PDF.

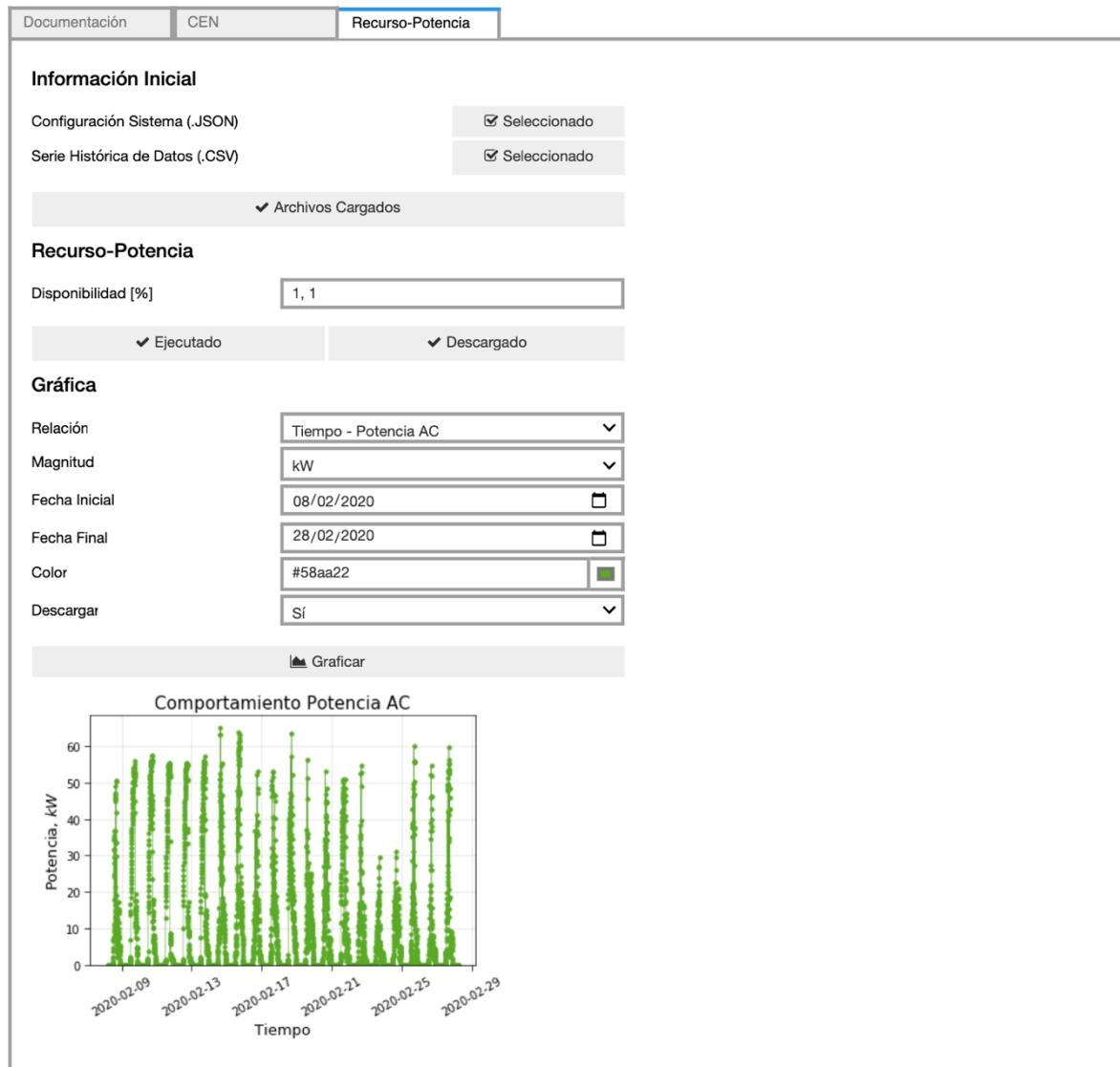


Figura 1.14. Resultados de la relación a graficar del tab Recurso-Potencia.

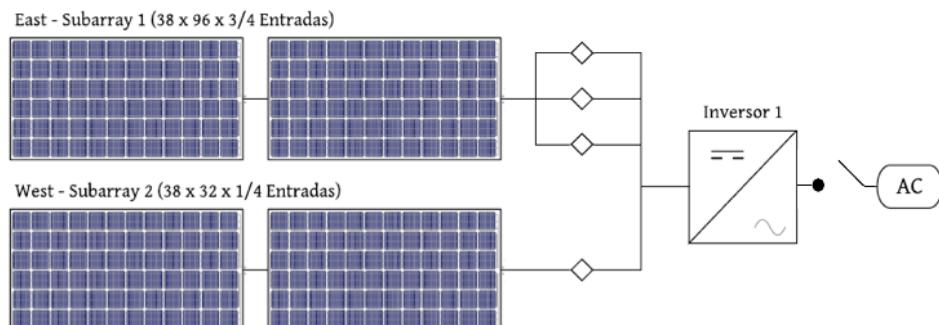
Ejemplo 2: Planta Solar Fotovoltaica East-West y Configuración PVsyst

Arquitectura del Parque Fotovoltaico

La información técnica de la planta del Ejemplo 2 se detalla en la Tabla II. Es importante notar que la planta tiene tres inversores, cada uno con una configuración eléctrica exacta a la que se describe.

Tabla III. Datos técnicos de arquitectura de la planta fotovoltaica. La configuración eléctrica es exacta para cada uno de los tres inversores.

Dato Técnico	Inversor 1	
	Subarray 1	Subarray 2
Potencia, kWp	1 276.8	425.6
Inclinación, °	10	10
Azimutal, °	90	270
Módulo Fotovoltaico	Canadian Solar Inc. CS3U-350P 1500V HE	
Módulo Bifacial	No	
Módulos por String	38	38
Strings por Inversor	96	32
Porcentaje Entradas	0.75 (i.e., 3/4)	0.15 (i.e., 1/4)
Inversor	INGECON SUN 1690TL B650 OUTDOOR	
Número Inversores	3	
Cantidad Subarrays	2	



Esquemático 2. Arquitectura de la planta fotovoltaica. El rombo entre el subarray y el inversor indica la cantidad de entradas del inversor; en este caso cuatro. La configuración eléctrica es exacta para cada uno de los tres inversores.

Archivo de Configuración en CNO_Configuración_Sistema

Dado que la planta cuenta con una única configuración de inversor, se debe realizar una configuración y, por tanto, generar un archivo JSON. Este archivo, al descargarlo, se aloja en la carpeta `cno_solar/configurations/system_config.json`.

Configuración Inversor 1

Paso 1. Se inicia con el tab de Ubicación completando los datos requeridos. Es importante comentar que los valores asignados son equivalentes a los presentados en el Ejemplo 1 (Ver Figura 1.1). No obstante, en este caso se asume que conocemos el valor *in situ* del parámetro *Albedo*, correspondiente a 0.18, y, por tanto, podemos dejar vacío el parámetro *Superficie*.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Información Geográfica				
Latitud	4.604535			
Longitud	-74.066038			
Altitud [m.s.n.m]	2632			
Huso Horario	America/Bogota			
Superficie				
Albedo [%]	0.18			

Figura 2.3. Información asignada del tab Ubicación.

Paso 2. Se procede con la configuración del inversor INGECON SUN 1690TL B650 OUTDOOR. En este caso se ilustrará el uso del método PVsyst, por lo que de antemano debemos contar con el archivo .OND del equipo. Típicamente, estos archivos se descargan automáticamente en nuestra máquina al ejecutar simulaciones en el software PVsyst.

El procedimiento requiere primero seleccionar el archivo y, a continuación, dar clic en el botón *Cargar OND*. De esta manera, el algoritmo lee el archivo cargado e internamente lo define. Se notificará la carga completa del archivo cuando el ícono y la descripción del botón se actualicen.

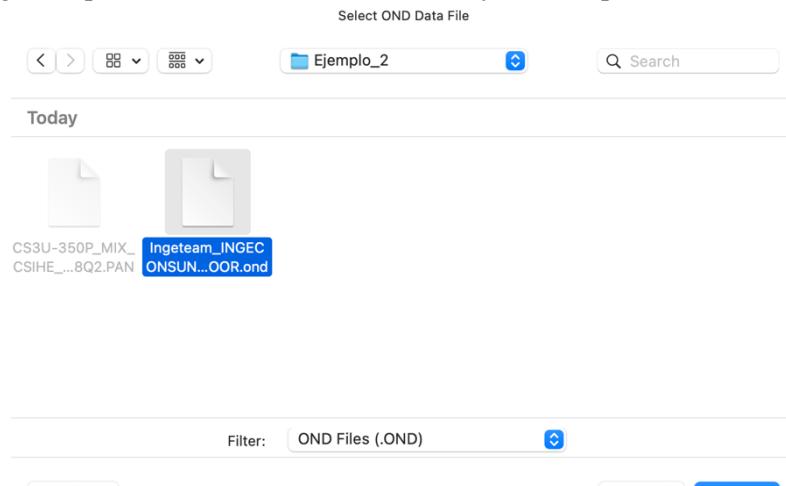


Figura 2.2. Archivo .OND del inversor seleccionado del tab Inversor.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Método de Configuración				
Repository	PVsyst	Manual		
Archivo Inversor (.OND)	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado	<input checked="" type="checkbox"/> OND Cargado		

Figura 2.3. Método de configuración PVsyst del tab Inversor.

Paso 3. Se continúa con la configuración del módulo fotovoltaico Canadian Solar Inc. CS3U-350P 1500V HE. Al igual que para el inversor, se ilustrará el uso del método PVsyst.

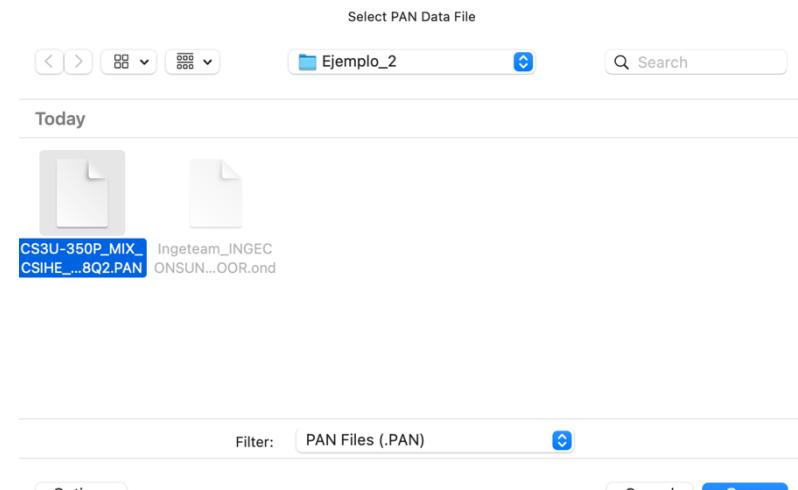


Figura 2.4. Archivo .PAN del módulo fotovoltaico seleccionado del tab Módulo.

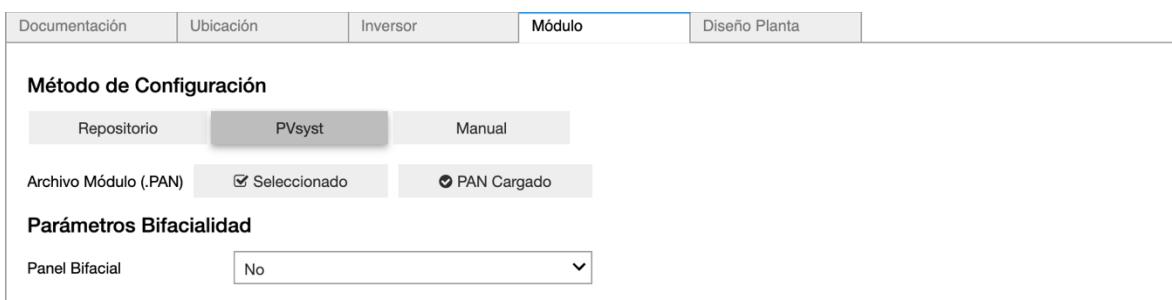


Figura 2.4. Método de configuración PVsyst del tab Módulo.

Paso 4. Finalmente, se realiza la configuración de diseño de la planta a partir de la información dispuesta en la Tabla II.

Lo primero es asignar el valor al parámetro *Cantidad Subarrays*. Es importante tener en cuenta que este parámetro actualiza el valor inicial de otros parámetros para así indicar al usuario cuáles de ellos se definen con valores separados por coma dado el escenario de más de un único subarray, como lo es en este ejemplo (Ver Figura 2.5).

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Subarrays				
Cantidad Subarrays	2			
Configuración Eléctrica				
Módulos por String	0, 0			
Strings por Inversor	0, 0			
Porcentaje Entradas	1, 1			
Número Inversores	1			
Seguidores y Orientación				
Sin Seguidor	Seguidor 1-Eje			
Elevación [°]	0, 0			
Azimutal [°]	0, 0			
Racking	▼			
Parámetros Globales				
Pérdidas [%]	14.6			
Nombre Planta	Sufijo extensión .JSON			
Archivo Configuración				
 Generar Configuración		 Descargar Configuración		

Figura 2.5. Parámetros con valor inicial de '0, 0' o '1, 1' al asignar un valor de 2 al parámetro Cantidad Subarrays del tab Diseño Planta.

El orden de asignación de los valores para aquellos parámetros cuya definición requiere la separación por coma es a elección del usuario. Sin embargo, es importante mantener concordancia con esta elección. Por ejemplo, para la definición de esta planta, todos los valores antes de la coma corresponden al Subarray 1, mientras que el valor después de la coma es para definir el Subarray 2.

También se comenta:

- El parámetro *Porcentaje Entradas* indica la fracción de potencia manejada por cada entrada. Como se indica en la Tabla II, el Subarray 1 dispone tres de las cuatro entradas disponibles del inversor —i.e., 0.75—; el Subarray 2 dispone la entrada restante del inversor —i.e., 0.15—.
- El montaje de los módulos fotovoltaicos es fijo (opción *Sin Seguidor*) con estructura *open rack*, opción dispuesta para el parámetro *Racking*.
- Dado que no hay estudio de pérdidas para la planta, se utiliza el valor por defecto, i.e., 14.6%.
- Para facilitar la comprensión del archivo generado, se asigna al parámetro *Nombre Planta* el valor de *Ejemplo2*, el cual se incluirá en el nombre del archivo JSON a descargar.

Nota: Una vez asignados estos valores, es importante primero dar clic al botón *Generar Configuración* y, seguidamente, al botón *Descargar Configuración*. El primero causa un evento en el que el algoritmo genera internamente el archivo de configuración con los parámetros asignados. El segundo descarga este archivo. Para ambos botones, su ícono y descripción cambiarán para notificar la ejecución de los eventos.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Subarrays				
Cantidad Subarrays	2			
Configuración Eléctrica				
Módulos por String	38, 38			
Strings por Inversor	96, 32			
Porcentaje Entradas	0.75, 0.15			
Número Inversores	3			
Seguidores y Orientación				
Sin Seguidor	Seguidor 1-Eje			
Elevación [°]	10, 10			
Azimutal [°]	90, 270			
Racking	open_rack			
Parámetros Globales				
Pérdidas [%]	14.6			
Nombre Planta	Ejemplo2			
Archivo Configuración				
✓ Configuración Generada		✓ Configuración Descargada		

Figura 2.6. Configuración final del tab Diseño Planta. Valores antes de la coma corresponden al Subarray 1, mientras que aquellos después de la coma definen el Subarray 2.

Protocolos en CNO_Protocolos

A continuación, se ilustrará un procedimiento resumido para ejecutar el protocolo establecido para el cálculo de la Capacidad Efectiva Neta —no se incluye la estimación de la energía mínima diaria para ilustrar que este cálculo es opcional— y la relación Recurso-Potencia. El proceso detallado se encuentra en la sección Protocolos en CON_Protocolos del Ejemplo 1.

CEN

Paso 1. Se inicia con la selección del único archivo JSON de configuración del sistema.

Paso 2. Se selecciona el archivo .CSV de la serie histórica de datos meteorológicos —se utiliza el mismo del Ejemplo 1—. En este caso, el archivo tiene las siguientes características:

- Resolución cinco-minutal desde 3-Ago-2019 hasta 28-Feb-2021.
- Tres columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI) y temperatura ambiente (encabezado Tamb).

Nota: La estructura de la serie histórica de datos meteorológicos sigue los lineamientos establecidos en la CREG 060 de 2019. Es importante tener en cuenta que:

- A pesar de que la CEN se debe calcular con datos de irradiancia global horizontal y temperatura ambiente, el código es flexible en cuanto a que permite generar el cálculo si se tiene la irradiancia en el plano del arreglo y temperatura del módulo. Para esto, el archivo .CSV debe contener cinco columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI), temperatura ambiente (encabezado Tamb), irradiancia en el plano del arreglo (encabezado POA) y temperatura del módulo (encabezado Tmod). Si el

instrumento de medición de la irradiancia en el plano del arreglo es una celda de referencia, nombre el encabezado de dicha columna Effective_Irradiance en lugar de POA.

- El encabezado de los datos en el archivo .CSV **debe** mantener los nombres previamente indicados —i.e., GHI, Tamb, POA (o Effective_Irradiance si aplica) y Tmod—. De lo contrario, el algoritmo no los podrá reconocer y se reportará un error.

Paso 3. Dar clic en el botón *Cargar Archivos*. Con esto, el algoritmo lee los archivos cargados e internamente los define. Se notificará la carga completa de los archivos cuando el ícono y la descripción del botón se actualicen.

Paso 4. Establecer el percentil con el cual se desea estimar la CEN. Por definición, este valor corresponde a la máxima capacidad de potencia —en valor entero y unidades de MW— que puede suministrar una planta en la frontera comercial. No obstante, el valor máximo puede contener datos atípicos. El percentil 99 filtra estos datos que pueden dar indicio a interpretaciones incorrectas de la planta y, por tanto, reportar un valor más congruente con la producción esperada o real. Establecido el valor del percentil —i.e., 99.5 en este caso—, se procede a ejecutar el algoritmo dando clic al botón *Calcular CEN*.

Por otra parte, al dar clic al botón *Descargar Producción*, se descargará un archivo .CSV con datos meteorológicos y de producción (en las estampas de tiempo de la serie histórica de datos) empleados para calcular la CEN. Tenga en cuenta que:

- Se generan archivos según la arquitectura de la planta fotovoltaica (i.e., por subarreglos, por inversores y para la planta completa) y se alojan en la carpeta *cno_solar/downloads*. Por ejemplo, observe en la Figura 2.7 tres archivos: uno por subarray y uno para la planta completa, correspondiente a la adición de la producción de los dos subarrays y escalado según el número de inversores —i.e., tres—.
- El nombre de los archivos .CSV de los subarray siguen el orden numérico de descarga según el orden de elegido por el usuario en la definición del archivo de configuración del sistema. Es decir, el archivo denominado *pipeline_plant_subarray1.csv* en la Figura 2.7 corresponde al Subarray 1 y el archivo *pipeline_plant_subarray2.csv* corresponde al Subarray 2, dado que así se definieron en el tab Diseño Planta en el cuaderno *CNO_Configuracion_Sistema* y, consecuentemente, en el archivo de configuración del sistema *system_config_Ejemplo2.json*.

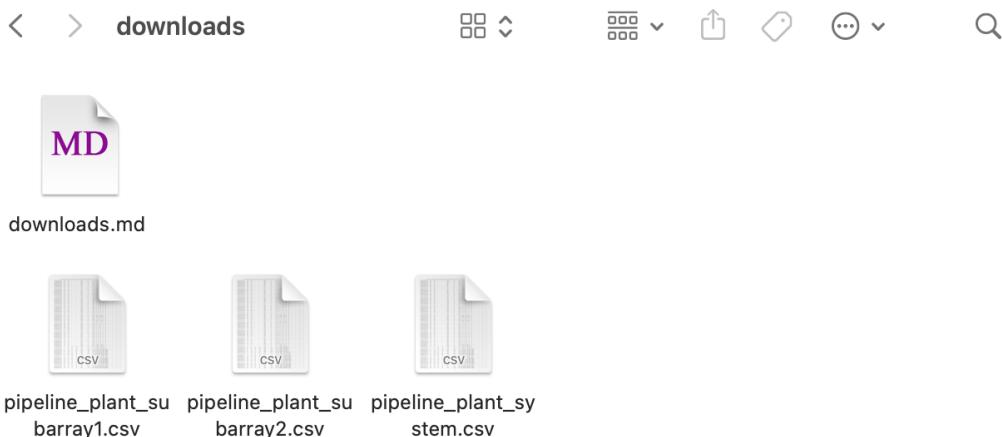


Figura 2.7. Descargas en la carpeta *cno_solar/downloads* del tab CEN.

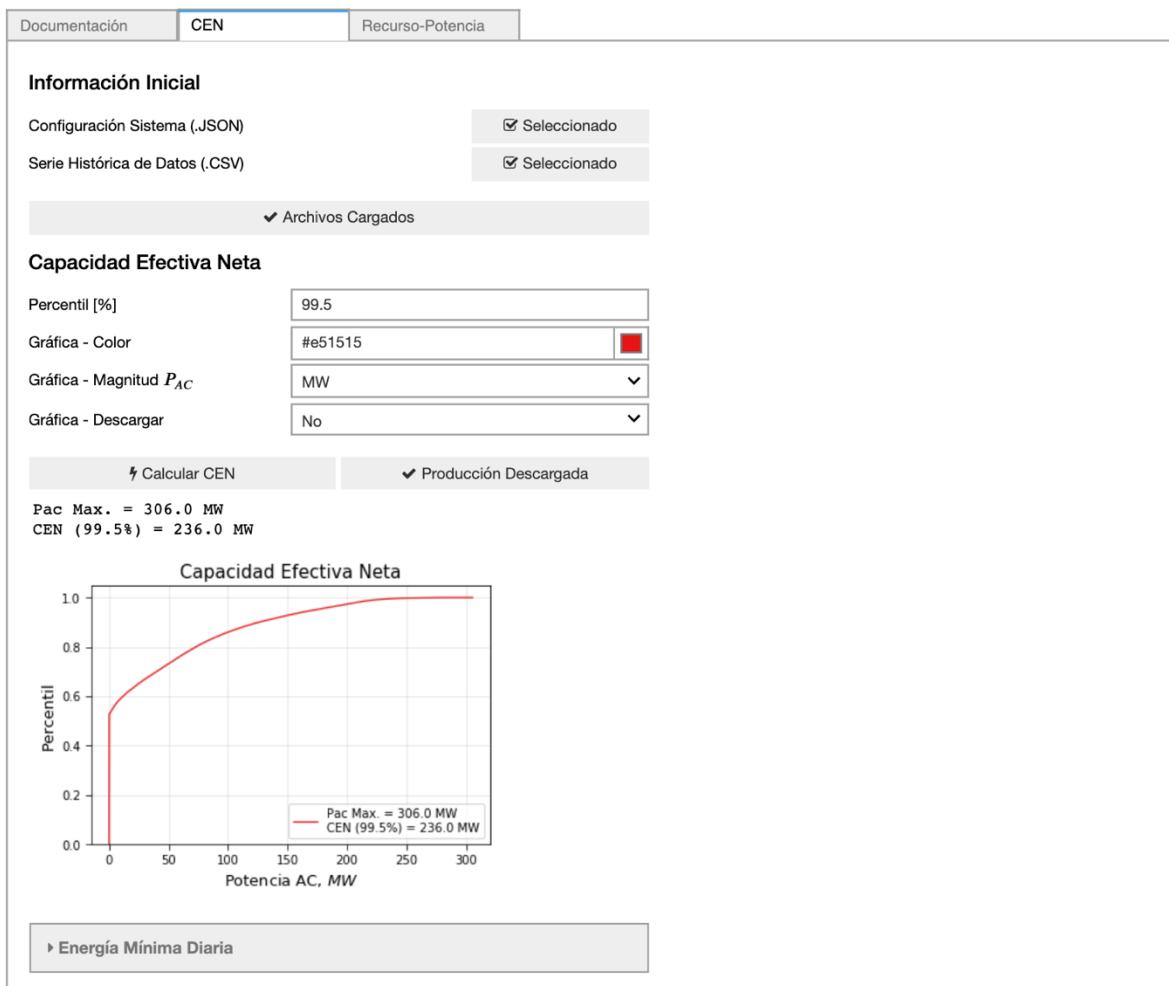


Figura 2.8. Resultados de la estimación de la Capacidad Efectiva Neta del tab CEN.

Recurso-Potencia

Paso 1. Se inicia con la selección del único archivo .JSON de configuración del sistema.

Paso 2. Se selecciona el archivo .CSV de la serie histórica de datos meteorológicos —el mismo al utilizado para el cálculo de la CEN—. En este caso, el archivo tiene las siguientes características:

- Resolución cinco-minutal desde 3-Ago-2019 hasta 28-Feb-2021.
- Tres columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI) y temperatura ambiente (encabezado Tamb).

Nota: La estructura de la serie histórica de datos meteorológicos sigue los lineamientos establecidos en la CREG 060 de 2019. Es importante tener en cuenta que:

- A pesar de que la relación Recurso-Potencia se puede calcular con datos de irradiancia global horizontal y temperatura ambiente, el código es flexible en cuanto a que permite generar el cálculo si se tiene la irradiancia en el plano del arreglo y temperatura del módulo. Para esto, el archivo .CSV debe contener cinco columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI), temperatura ambiente (encabezado Tamb), irradiancia en el plano del arreglo (encabezado POA) y temperatura del módulo (encabezado

Tmod). Si el instrumento de medición de la irradiancia en el plano del arreglo es una celda de referencia, nombre el encabezado de dicha columna Effective_Irradiance en lugar de POA.

- El encabezado de los datos en el archivo .CSV **debe** mantener los nombres previamente indicados —i.e., GHI, Tamb, POA (o Effective_Irradiance si aplica) y Tmod—. De lo contrario, el algoritmo no los podrá reconocer y se reportará un error.

Paso 3. Dar clic en el botón *Cargar Archivos*. Con esto, el algoritmo lee los archivos cargados e internamente los define. Se notificará la carga completa de los archivos cuando el ícono y la descripción del botón se actualicen.

Paso 4. Una vez se hayan cargado los archivos JSON y .CSV, el parámetro *Disponibilidad* actualizará su valor para indicar la cantidad de valores separados por coma a asignar. Esta cantidad depende del número de inversores —i.e., número de archivos JSON seleccionados simultáneamente—. Dado que para este ejemplo se tiene un único archivo JSON con el que se definió toda la planta fotovoltaica, solo se debe asignar un valor al parámetro *Disponibilidad*. En aras del ejemplo, se comparará una disponibilidad del 100% —i.e., los tres inversores funcionales— con una de 66% —i.e., dos de tres inversores funcionales—.

Establecido este parámetros, se procede a dar clic al botón *Ejecutar* para que el algoritmo estime la producción de la planta fotovoltaica según el recurso indicado en los archivos de configuración del sistema y serie histórica de datos. La finalización de ejecución se notifica al cambiar el ícono y la descripción del botón (Ver Figura 1.12).

Por otra parte, al dar clic al botón *Descargar Producción*, se descargará un archivo .CSV con datos meteorológicos y de producción (en las estampas de tiempo de la serie histórica de datos) estimados por el algoritmo. Tenga en cuenta que:

- Se generan archivos según la arquitectura de la planta fotovoltaica (i.e., por subarreglos, por inversores y para la planta completa) y se alojan en la carpeta *cno_solar/downloads*. Por ejemplo, observe en la Figura 2.9 tres archivos: uno por subarray y uno para la planta completa, correspondiente a la adición de la producción de los dos subarrays y escalado según el número de inversores —i.e., tres—.
- El nombre de los archivos .CSV de los subarray siguen el orden numérico de descarga según el orden de elegido por el usuario en la definición del archivo de configuración del sistema. Es decir, el archivo denominado *rp_plant_subarray1.csv* en la Figura 2.9 corresponde al Subarray 1 y el archivo *rp_plant_subarray2.csv* corresponde al Subarray 2, dado que así se definieron en el tab Diseño Planta en el cuaderno *CNO_Configuracion_Sistema* y, consecuentemente, en el archivo de configuración del sistema *system_config_Ejemplo2.json*.

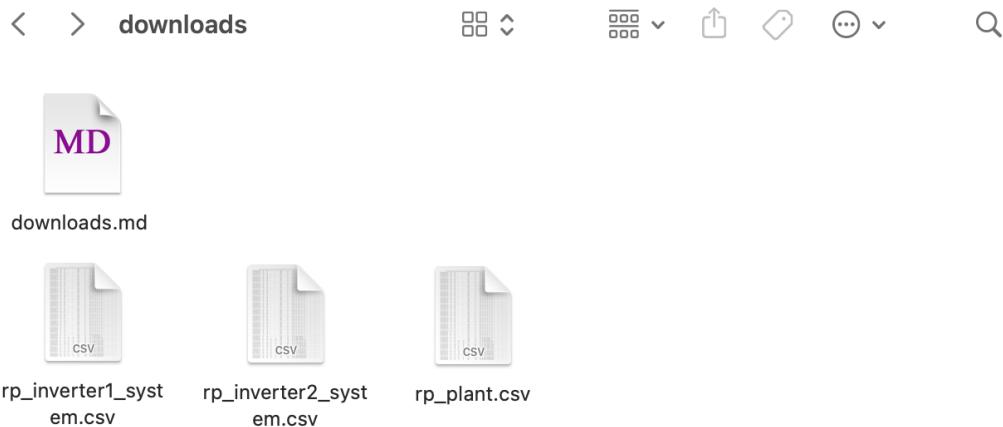


Figura 2.9. Descargas en la carpeta cno_solar/downloads del tab Recurso-Potencia.

Paso 5. La interfaz gráfica dispone siete relaciones para graficar con el parámetro *Relación*. Además, es posible establecer el periodo que se desea visualizar en la gráfica —es decir, un rango temporal diferente al de las estampas de tiempo de la serie histórica de datos—, estableciendo las fechas de inicio y fin con los parámetros *Fecha Inicial* y *Fecha Final*.

En este caso, los parámetros de la sección *Gráfica* se configuraron para comparar la producción simulada con las dos disponibilidades previamente mencionadas —i.e., 100 y 66%— a partir del comportamiento de la energía semanal en periodo de tiempo establecido en los parámetros *Fecha Inicial* y *Fecha Final*. Al comparar los resultados de la producción de energía con una disponibilidad del 100% (Ver Figura 2.10a) frente a una disponibilidad de 66% (Ver Figura 2.10b) se observa que efectivamente la producción energética decrece en proporción a la cantidad de inversores funcionales.

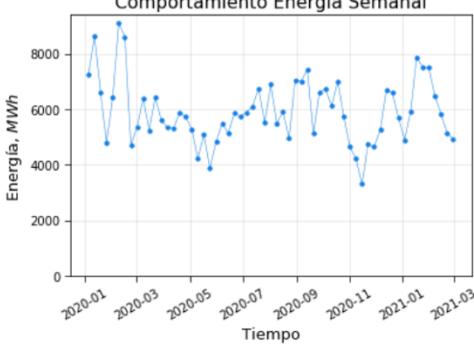
Documentación	CEN	Recurso-Potencia
Información Inicial <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Configuración Sistema (.JSON)</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Serie Histórica de Datos (.CSV)</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado</div> </div> <div style="text-align: center; background-color: #f0f0f0; padding: 5px;">✓ Archivos Cargados</div>		
Recurso-Potencia <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> Disponibilidad [%] <input type="text" value="1"/> ✓ Ejecutado ✓ Descargado </div>		
Gráfica <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> Relación <input type="text" value="Tiempo - Energía Semanal"/> </div> <div style="width: 30%;"> Magnitud <input type="text" value="MWh"/> </div> <div style="width: 30%;"> Fecha Inicial <input type="text" value="01/01/2020"/> </div> <div style="width: 30%;"> Fecha Final <input type="text" value="28/02/2021"/> </div> <div style="width: 30%;"> Color <input type="text" value="#1580E4"/> </div> <div style="width: 30%;"> Descargar <input type="text" value="No"/> </div> </div> <div style="text-align: center; background-color: #f0f0f0; padding: 5px;"> Graficar</div>		
<div style="text-align: center;"> <p>Comportamiento Energía Semanal</p>  <p>Energía, MWh</p> <p>Tiempo</p> </div>		

Figura 2.10a. Ejecución del algoritmo del tab Recurso-Potencia con 100% de disponibilidad.

Documentación	CEN	Recurso-Potencia
Información Inicial <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Configuración Sistema (.JSON) </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Serie Histórica de Datos (.CSV) </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> ✓ Archivos Cargados </div>		
Recurso-Potencia <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <input type="text" value="0.66"/> Disponibilidad [%] </div> <div style="flex: 1; text-align: right;"> <input checked="" type="checkbox"/> Ejecutado </div> <div style="flex: 1; text-align: left;"> <input checked="" type="checkbox"/> Descargado </div> </div>		
Gráfica <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="Relación"/> </div> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="Tiempo - Energía Semanal"/> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="Magnitud"/> </div> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="MWh"/> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="Fecha Inicial"/> </div> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="01/01/2020"/> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="Fecha Final"/> </div> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="28/02/2021"/> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="Color"/> </div> <div style="width: 45%;"> <input type="color" value="#1580E4"/> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="Descargar"/> </div> <div style="width: 45%;"> <input type="text" value="No"/> </div> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> └ Graficar </div> </div>		
<div style="text-align: center;"> <p>Comportamiento Energía Semanal</p>  </div>		

Figura 2.10b. Ejecución del algoritmo del tab Recurso-Potencia con 66% de disponibilidad.

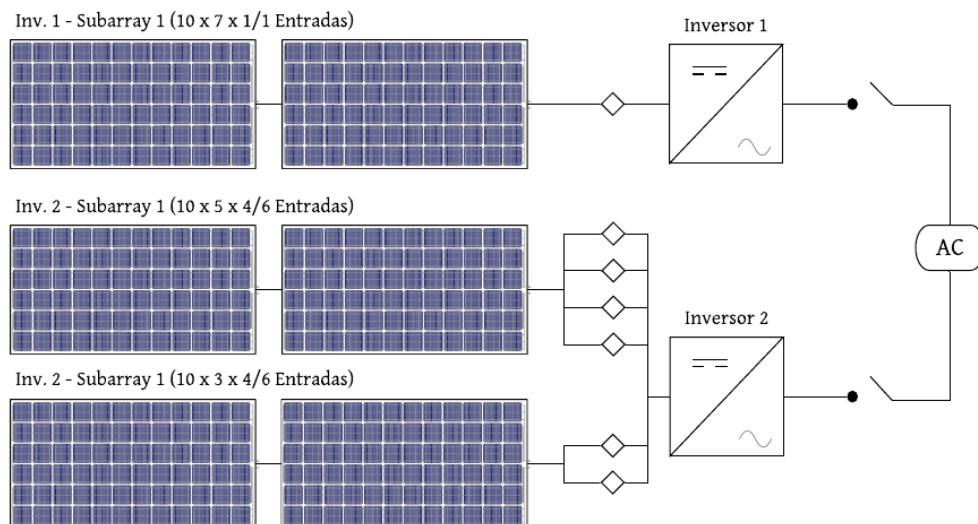
Ejemplo 3: Planta Solar Fotovoltaica con Tracker y Bifacial

Arquitectura del Parque Fotovoltaico

La información técnica de la planta del Ejemplo 3 se detalla en la Tabla III. Es importante notar que la planta tiene tres conjuntos de inversores. Cada conjunto de inversores se compone de un número de inversores con una configuración eléctrica exacta a la que se describe.

Tabla III. Datos técnicos de arquitectura de la planta fotovoltaica. Se tienen tres configuraciones eléctricas para cada conjunto de inversores.

Dato Técnico	Inversor 1	Inversor 2	
		Subarray 1	Subarray 2
Potencia, kWp	26.1	17.3	10.4
Inclinación Eje, °	10	10	10
Azimutal Eje, °	180	180	180
Ángulo Máximo, °	45	45	45
Módulo Fotovoltaico	Canadian Solar Inc. CS3W-435PB-AG	Canadian Solar Inc. CS3W-435PB-AG	
Módulo Bifacial	Sí	Sí	
Alto Fila Paneles, m	1	1	1
Ancho Fila Paneles, m	2.13	2.13	2.13
Módulos por String	10	10	10
Strings por Inversor	7	5	3
Porcentaje Entradas	1 (i.e., 6/6)	0.66 (i.e., 4/6)	0.33 (i.e., 2/6)
Inversor	ABB TRIO 27.6 TL OUTD US	ABB TRIO 27.6 TL OUTD US	
Número Inversores	4	2	
Cantidad Subarrays	1	2	



Esquemático 3. Arquitectura de la planta fotovoltaica. El rombo entre el subarray y el inversor indica la cantidad de entradas del inversor; en este caso uno para el Inversor 1 y seis para el Inversor 2.

Archivo de Configuración en CNO_Configuración_Sistema

Dado que la planta cuenta con dos conjuntos diferentes de inversores, se deben realizar dos configuraciones y, por tanto, generar dos archivos JSON por inversor. Estos archivos, al descargarlos, se alojan en la carpeta *cno_solar/configurations/system_config.json*.

Configuración Inversor 1

Paso 1. Se inicia con el tab de Ubicación completando los datos requeridos. Es importante comentar que los valores asignados son equivalentes a los presentados en el Ejemplo 1 (Ver Figura 1.1).

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Información Geográfica				
Latitud	4.604535			
Longitud	-74.066038			
Altitud [m.s.n.m]	2632			
Huso Horario	America/Bogota			
Superficie	Urbano			
Albedo [%]	0.18			

Figura 3.4. Información asignada del tab Ubicación.

Paso 2. Se procede con la configuración del inversor ABB TRIO 27.6 TL OUTD US. En este caso se ilustrará el uso del método *Manual* con el *Formato de Configuración* de *SNL PVWatts*.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Método de Configuración				
Repositorio	PVsyst	Manual		
Formato de Configuración	NREL PVWatts			
Configuración NREL PVWatts				
P_{DC} Nominal [W]	28199.2			
Eficiencia Nominal [ad.]	0.98			

Figura 3.2. Método de configuración Manual con formato NREL PVWatts del tab Inversor.

Paso 3. Se continúa con la configuración del módulo fotovoltaico Canadian Solar Inc. CS3W-435PB-AG. Se ilustrará el uso del método *Manual*.

Es importante asignar los parámetros requeridos dado que internamente estos son utilizados por el algoritmo para determinar los parámetros del circuito equivalente. Dado el caso se reporte un error en este escenario, lo más probable es que se deba a un error en la asignación de los valores.

Como se indicó en la Tabla III, este módulo es bifacial, por lo que se deben definir los parámetros de la sección *Parámetros Bifacialidad*, teniendo en cuenta:

- El parámetro *Alto Fila Paneles* corresponde a la altura de las filas de paneles fotovoltaicos medida en su centro en unidades de metros (Ver Figura 3.4).
- El parámetro *Ancho Fila Paneles* corresponde al ancho de las filas de paneles fotovoltaicos en el plano 2D considerado en unidades de metros. En otras palabras, es el ancho de una fila

de paneles desde su vista lateral. Este valor varía según la disposición de los módulos fotovoltaicos —e.g., *portrait* o *landscape* en configuración 1P, 2P o 4L— (Ver Figura 3.4).

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Método de Configuración				
Repositorio	PVsyst	Manual		
Configuración Módulo				
T_{NOCT} [°C]	44			
Tecnología	Multi-Si			
Número Celdas	72			
I_{SC} en STC [A]	11.35			
V_{OC} en STC [V]	48.6			
I_{MP} en STC [A]	10.85			
V_{MP} en STC [A]	40.1			
Coef. Temp. I_{SC} [A/°C]	0.004426			
Coef. Temp. V_{OC} [V/°C]	-0.13122			
Coef. Temp. P_{MP} [%/°C]	-0.361			
$P_{Nominal}$ en STC [W]	406.3			
Parámetros Bifacialidad				
Panel Bifacial	Sí			
Bifacialidad [%]	1			
Alto Fila Paneles [m]	1			
Ancho Fila Paneles [m]	2.132			

Figura 3.3. Configuración manual y de la sección Parámetros Bifacialidad del tab Módulo.

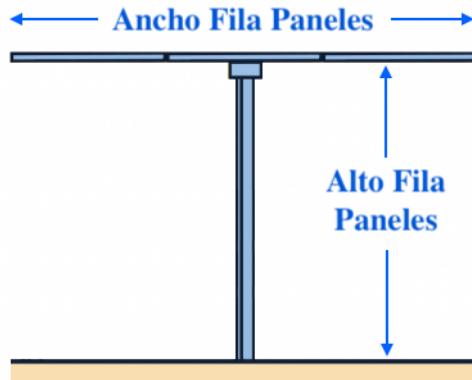


Figura 3.4. Parámetros Alto Fila Paneles y Ancho Fila Paneles del tab Módulo. Esquemático adaptado de A. Achaernadino (2020). Solar Tracker Configuration, The Key to Reducing the LcoE, altenergymag.com. Nov-2021.

Paso 4. Finalmente, se realiza la configuración de diseño de la planta a partir de la información dispuesta en la Tabla III. Además, se comenta:

- El parámetro *Porcentaje Entradas* indica la fracción de potencia manejada por cada entrada. Para el Inversor 1 se asigna un valor de 1 al parámetro *Porcentaje Entradas*, lo cual indica que el único subarray está conectado a todas las entradas del inversor —i.e., 6/6—.
- Dado que no hay estudio de pérdidas para la planta, se utiliza el valor por defecto, i.e., 14.6%.

- Para facilitar la comprensión del archivo generado, se asigna al parámetro *Nombre Planta* el valor de *Ejemplo3_Inv1*, el cual se incluirá en el nombre del archivo JSON a descargar.

Por otra parte, los módulos fotovoltaicos están en un montaje de *Seguidor 1-Eje* con estructura *open rack*, opción dispuesta para el parámetro *Racking*. Se debe tener en cuenta que:

- El parámetro *Elevación Eje* representa la elevación del eje de rotación con respecto a la horizontal —e.g. un valor de 0° indica que el eje de soporte de los paneles fotovoltaicos está horizontal— (Ver Figura 3.5).
- El parámetro *Azimutal Eje* representa el ángulo perpendicular por regla de la mano derecha al eje de rotación en grados decimales —e.g. un valor de 180° (dirección sur) indica una rotación de los paneles fotovoltaicos de este a oeste— (Ver Figura 3.5).
- El parámetro *Ángulo Máximo* representa el ángulo de rotación máximo del seguidor desde su posición horizontal en grados decimales —e.g. un valor de 90° permite que el seguidor gire desde y hasta una posición vertical en la que el panel mira hacia el horizonte— (Ver Figura 3.5).

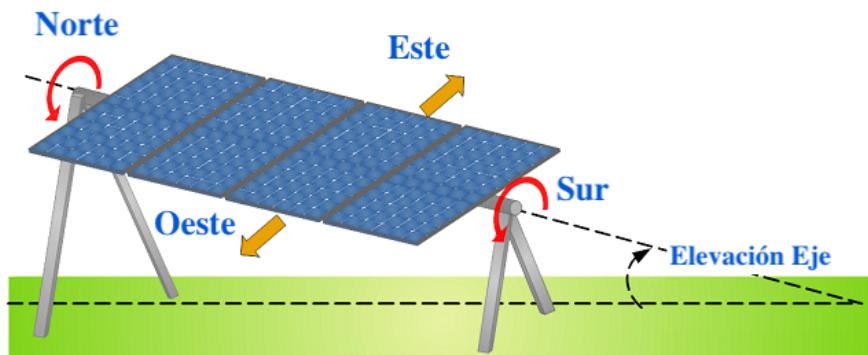


Figura 3.5. Parámetros de opción Seguidor 1-Eje del tab Diseño Planta. Esquemático adaptado de O. Papathanasiou (2021). Background on the Different Concepts of Single Axis Solar Trackers, taiyangnews.info. Nov-2021.

Nota: Una vez asignados estos valores, es importante primero dar clic al botón *Generar Configuración* y, seguidamente, al botón *Descargar Configuración*. El primero causa un evento en el que el algoritmo genera internamente el archivo de configuración con los parámetros asignados. El segundo descarga este archivo. Para ambos botones, su ícono y descripción cambiarán para notificar la ejecución de los eventos.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
Subarrays				
Cantidad Subarrays	1			
Configuración Eléctrica				
Módulos por String	10			
Strings por Inversor	7			
Porcentaje Entradas	1			
Número Inversores	4			
Seguidores y Orientación				
Sin Seguidor	Seguidor 1-Eje			
Elevación Eje [°]	0			
Azimutal Eje [°]	180			
Ángulo Máximo [°]	45			
Racking	open_rack			
Parámetros Globales				
Pérdidas [%]	14.6			
Nombre Planta	Ejemplo3_Inv1			
Archivo Configuración				
✓ Configuración Generada		✓ Configuración Descargada		

Figura 3.6. Configuración final del tab Diseño Planta para el Inversor 1.

Configuración Inversor 2

El procedimiento es equivalente al presentado para el Inversor 1. El único cambio se presenta en el tab *Diseño Planta* debido a que este conjunto de inversores se compone de dos subarrays. Únicamente se detalla esta sección.

Se inicia con asignar el valor al parámetro *Cantidad Subarrays*. Es importante tener en cuenta que este parámetro actualiza el valor inicial de otros parámetros para así indicar al usuario cuáles de ellos se definen con valores separados por coma dado el escenario de más de un único subarray, como lo es en este ejemplo (Ver Figura 2.5).

El orden de asignación de los valores para aquellos parámetros cuya definición requiere la separación por coma es a elección del usuario. Sin embargo, es importante mantener concordancia con esta elección. Por ejemplo, para la definición de esta planta, todos los valores antes de la coma corresponden al Subarray 1, mientras que el valor después de la coma es para definir el Subarray 2.

También se comenta:

- El parámetro *Porcentaje Entradas* indica la fracción de potencia manejada por cada entrada. Como se indica en la Tabla III, el Subarray 1 dispone cuatro de las seis entradas disponibles del inversor —i.e., 0.66—; el Subarray 2 dispone las dos entradas restantes del inversor —i.e., 0.33—.
- Para facilitar la comprensión del archivo generado, se asigna al parámetro *Nombre Planta* el valor de *Ejemplo3_Inv2*, el cual se incluirá en el nombre del archivo JSON a descargar.

Nota: Una vez asignados estos valores, es importante primero dar clic al botón *Generar Configuración* y, seguidamente, al botón *Descargar Configuración*. El primero causa un evento en el que el algoritmo genera internamente el archivo de configuración con los parámetros asignados. El segundo descarga este archivo. Para ambos botones, su ícono y descripción cambiarán para notificar la ejecución de los eventos.

Documentación	Ubicación	Inversor	Módulo	Diseño Planta
---------------	-----------	----------	--------	---------------

Subarrays

Cantidad Subarrays	2
--------------------	---

Configuración Eléctrica

Módulos por String	10, 10
Strings por Inversor	5, 3
Porcentaje Entradas	0.66, 0.33
Número Inversores	2

Seguidores y Orientación

Sin Seguidor	Seguidor 1-Eje
Elevación Eje [°]	0, 0
Azimutal Eje [°]	180, 180
Ángulo Máximo [°]	45, 45
Racking	open_rack

Parámetros Globales

Pérdidas [%]	14.6
Nombre Planta	Ejemplo3_Inv2

Archivo Configuración

<input checked="" type="checkbox"/> Configuración Generada	<input checked="" type="checkbox"/> Configuración Descargada
--	--

Figura 3.7. Configuración final del tab Diseño Planta para el Inversor 2. Valores antes de la coma corresponden al Subarray 1, mientras que aquellos después de la coma definen el Subarray 2.

Protocolos en CNO_Protocolos

A continuación, se ilustrará un procedimiento resumido para ejecutar el protocolo establecido para el cálculo de la Capacidad Efectiva Neta —no se incluye la estimación de la energía mínima diaria para ilustrar que este cálculo es opcional— y la relación Recurso-Potencia. El proceso detallado se encuentra en la sección Protocolos en CON_Protocolos del Ejemplo 1.

CEN

Paso 1. Se inicia con la selección de los archivos .JSON de configuración del sistema. Dado que para la planta fotovoltaica de ejemplo se tienen dos archivos, ambos son seleccionados de forma simultánea. **Nota:** Es importante tener en cuenta que estos se cargan según el orden alfabético del nombre de los archivos y asimismo son ejecutados.

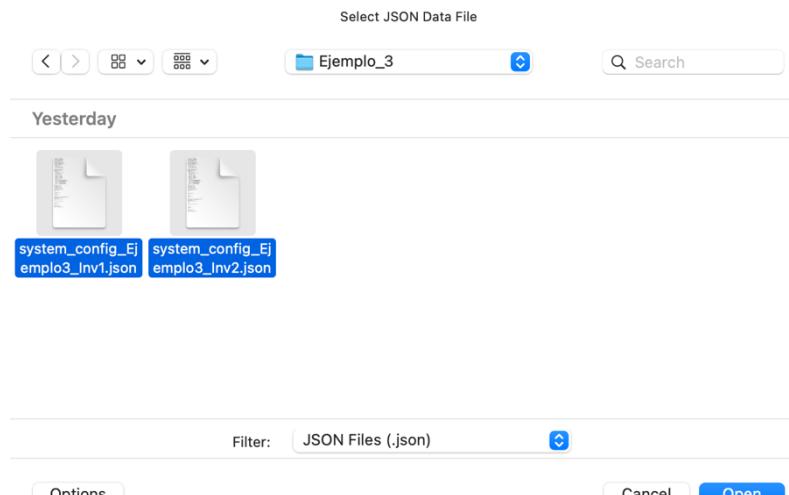


Figura 3.8. Información inicial seleccionada y cargada del tab CEN.

Paso 2. Se selecciona el archivo .CSV de la serie histórica de datos meteorológicos —se utiliza el mismo del Ejemplo 1—. En este caso, el archivo tiene las siguientes características:

- Resolución cinco-minutal desde 3-Ago-2019 hasta 28-Feb-2021.
- Tres columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI) y temperatura ambiente (encabezado Tamb).

Nota: La estructura de la serie histórica de datos meteorológicos sigue los lineamientos establecidos en la CREG 060 de 2019. Es importante tener en cuenta que:

- A pesar de que la CEN se debe calcular con datos de irradiancia global horizontal y temperatura ambiente, el código es flexible en cuanto a que permite generar el cálculo si se tiene la irradiancia en el plano del arreglo y temperatura del módulo. Para esto, el archivo .CSV debe contener cinco columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI), temperatura ambiente (encabezado Tamb), irradiancia en el plano del arreglo (encabezado POA) y temperatura del módulo (encabezado Tmod). Si el instrumento de medición de la irradiancia en el plano del arreglo es una celda de referencia, nombre el encabezado de dicha columna Effective_Irradiance en lugar de POA.
- El encabezado de los datos en el archivo .CSV **debe** mantener los nombres previamente indicados —i.e., GHI, Tamb, POA (o Effective_Irradiance si aplica) y Tmod—. De lo contrario, el algoritmo no los podrá reconocer y se reportará un error.

Paso 3. Dar clic en el botón *Cargar Archivos*. Con esto, el algoritmo lee los archivos cargados e internamente los define. Se notificará la carga completa de los archivos cuando el ícono y la descripción del botón se actualicen.

Paso 4. Establecer el percentil con el cual se desea estimar la CEN. Por definición, este valor corresponde a la máxima capacidad de potencia —en valor entero y unidades de MW— que puede suministrar una planta en la frontera comercial. No obstante, el valor máximo puede contener datos atípicos. El percentil 99 filtra estos datos que pueden dar indicio a interpretaciones incorrectas de la planta y, por tanto, reportar un valor más congruente con la producción esperada o real. Establecido el valor del percentil —i.e., 99.9 en este caso—, se procede a ejecutar el algoritmo dando clic al botón *Calcular CEN*.

Por otra parte, al dar clic al botón *Descargar Producción*, se descargará un archivo .CSV con datos meteorológicos y de producción (en las estampas de tiempo de la serie histórica de datos) empleados para calcular la CEN. Tenga en cuenta que:

- Se generan archivos según la arquitectura de la planta fotovoltaica (i.e., por subarreglos, por inversores y para la planta completa) y se alojan en la carpeta *cno_solar/downloads*. Por ejemplo, observe en la Figura 3.10 cinco archivos:
 - Uno del Inversor 1 y escalado según el número de inversores —i.e., cuatro—.
 - Uno por subarray —i.e., dos en total— del Inversor 2.
 - Uno del Inversor 2, correspondiente a la adición de la producción de los dos subarrays y escalado según el número de inversores —i.e., dos—.
 - Uno de la planta fotovoltaica, correspondiente a la adición de la producción de los dos inversores ya escalados según el número de inversores.
- El nombre de los archivos .CSV siguen un orden numérico de descarga según el orden alfabetico de carga de los archivos de configuración. Es decir, en archivo denominado *pipeline_inverter1_system.csv* en la Figura 3.10 corresponde al Inversor 1 (26.1 kWp) y el archivo *pipeline_inverter2_system.csv* corresponde al Inversor 2, dado que alfabéticamente el orden de carga es: *system_config_Ejemplo3_Inv1.json*, seguido de *system_config_Ejemplo3_Inv2.json*.

Documentación
CEN
Recurso-Potencia

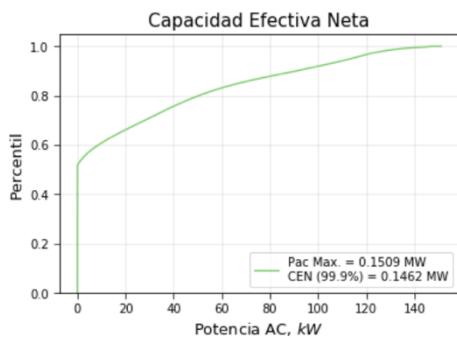
Información Inicial

Configuración Sistema (.JSON)	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado
Serie Histórica de Datos (.CSV)	<input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado
✓ Archivos Cargados	

Capacidad Efectiva Neta

Percentil [%]	99.9
Gráfica - Color	<input checked="" type="checkbox"/>
Gráfica - Magnitud P_{AC}	kW
Gráfica - Descargar	No
<input type="button" value="Calcular CEN"/> <input type="button" value="Producción Descargada"/>	
Pac Max. = 0.1509 MW CEN (99.9%) = 0.1462 MW	

Capacidad Efectiva Neta



Pac Max. = 0.1509 MW
CEN (99.9%) = 0.1462 MW

Figura 3.9. Resultados de la estimación de la Capacidad Efectiva Neta del tab CEN.

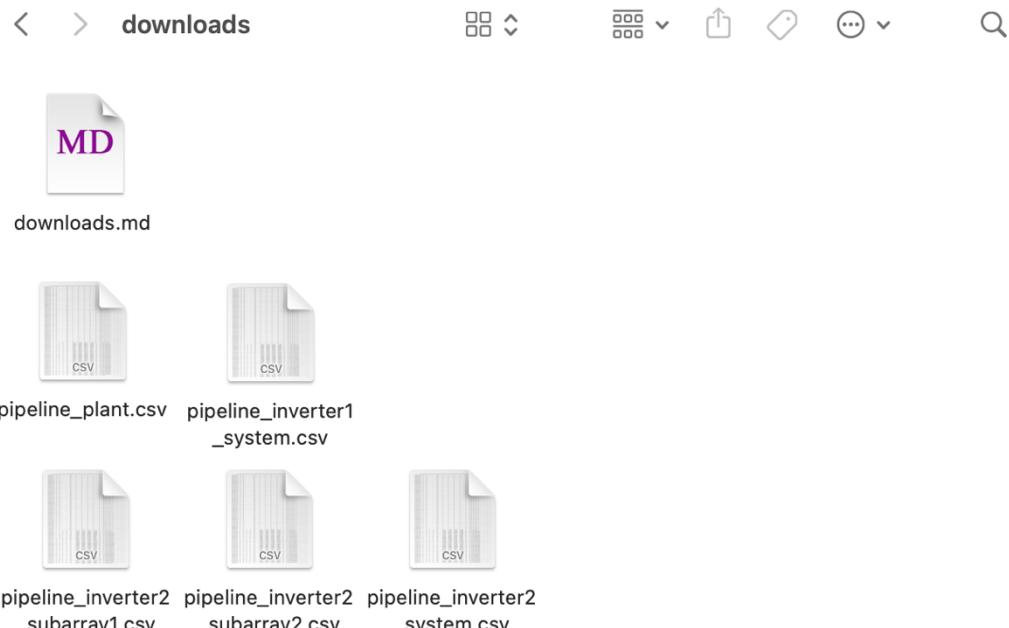


Figura 3.10. Descargas en la carpeta cno_solar/downloads del tab CEN.

Recurso-Potencia

Paso 1. Se inicia con la selección de los archivos .JSON de configuración del sistema. Dado que para la planta fotovoltaica de ejemplo se tienen dos archivos, ambos son seleccionados de forma simultánea (Ver Figura 3.8). **Nota:** Es importante tener en cuenta que estos se cargan según el orden alfabético del nombre de los archivos y asimismo son ejecutados.

Paso 2. Se selecciona el archivo .CSV de la serie histórica de datos meteorológicos. En este caso, el archivo tiene las siguientes características:

- Resolución cinco-minutal desde 3-Ago-2019 hasta 28-Feb-2021.
- Cinco columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI), temperatura ambiente (encabezado Tamb), irradiancia en el plano del arreglo (encabezado Effective_Irradiance) y temperatura del módulo (encabezado Tmod).

Nota: La estructura de la serie histórica de datos meteorológicos sigue los lineamientos establecidos en la CREG 060 de 2019. Es importante tener en cuenta que:

- A pesar de que la relación Recurso-Potencia se puede calcular con datos de irradiancia global horizontal y temperatura ambiente, el código es flexible en cuanto a que permite generar el cálculo si se tiene la irradiancia en el plano del arreglo y temperatura del módulo. Para esto, el archivo .CSV debe contener cinco columnas: estampa temporal (sin encabezado), irradiancia global horizontal (encabezado GHI), temperatura ambiente (encabezado Tamb), irradiancia en el plano del arreglo (encabezado POA) y temperatura del módulo (encabezado Tmod). Si el instrumento de medición de la irradiancia en el plano del arreglo es una celda de referencia, nombre el encabezado de dicha columna Effective_Irradiance en lugar de POA.
- El encabezado de los datos en el archivo .CSV **debe** mantener los nombres previamente indicados —i.e., GHI, Tamb, POA (o Effective_Irradiance si aplica) y Tmod—. De lo contrario, el algoritmo no los podrá reconocer y se reportará un error.

Paso 3. Dar clic en el botón *Cargar Archivos*. Con esto, el algoritmo lee los archivos cargados e internamente los define. Se notificará la carga completa de los archivos cuando el ícono y la descripción del botón se actualicen.

Paso 4. Una vez se hayan cargado los archivos .JSON y .CSV, el parámetro *Disponibilidad* actualizará su valor para indicar la cantidad de valores separados por coma a asignar. Esta cantidad depende del número de inversores —i.e., número de archivos .JSON seleccionados simultáneamente—. Por otra parte, el orden de asignación de los valores es acorde al orden alfabético de carga de los archivos de configuración. Es decir, el primer valor corresponde a la disponibilidad del Inversor 1 y el segundo, después de la coma, al Inversor 2, dado que alfabéticamente el orden de carga es: system_config_Ejemplo3_Inv1.json, seguido de system_config_Ejemplo3_Inv2.json.

Establecidos estos parámetros, se procede a dar clic al botón *Ejecutar* para que el algoritmo estime la producción de la planta fotovoltaica según el recurso indicado en los archivos de configuración del sistema y serie histórica de datos. La finalización de ejecución se notifica al cambiar el ícono y la descripción del botón.

Por otra parte, al dar clic al botón *Descargar Producción*, se descargará un archivo .CSV con datos meteorológicos y de producción (en las estampas de tiempo de la serie histórica de datos) estimados por el algoritmo. Tenga en cuenta que:

- Se generan archivos según la arquitectura de la planta fotovoltaica (i.e., por subarreglos, por inversores y para la planta completa) y se alojan en la carpeta *cno_solar/downloads*. Por ejemplo, observe en la Figura 3.11 cinco archivos:
 - Uno del Inversor 1, escalado según el número de inversores —i.e., cuatro— y la disponibilidad asignada —i.e., 100%—.
 - Uno por subarray —i.e., dos en total— del Inversor 2.
 - Uno del Inversor 2, correspondiente a la adición de la producción de los dos subarrays, y escalado según el número de inversores —i.e., dos— y la disponibilidad asignada —i.e., 100%—.
 - Uno de la planta fotovoltaica, correspondiente a la adición de la producción de los dos inversores ya escalados según el número de inversores y la disponibilidad.
- El nombre de los archivos .CSV siguen un orden numérico de descarga según el orden alfabético de carga de los archivos de configuración. Es decir, en archivo denominado *rp_inverter1_system.csv* en la Figura 3.11 corresponde al Inversor 1 (26.1 kWp) y el archivo *rp_inverter2_system.csv* corresponde al Inversor 2, dado que alfabéticamente el orden de carga es: system_config_Ejemplo3_Inv1.json, seguido de system_config_Ejemplo3_Inv2.json.

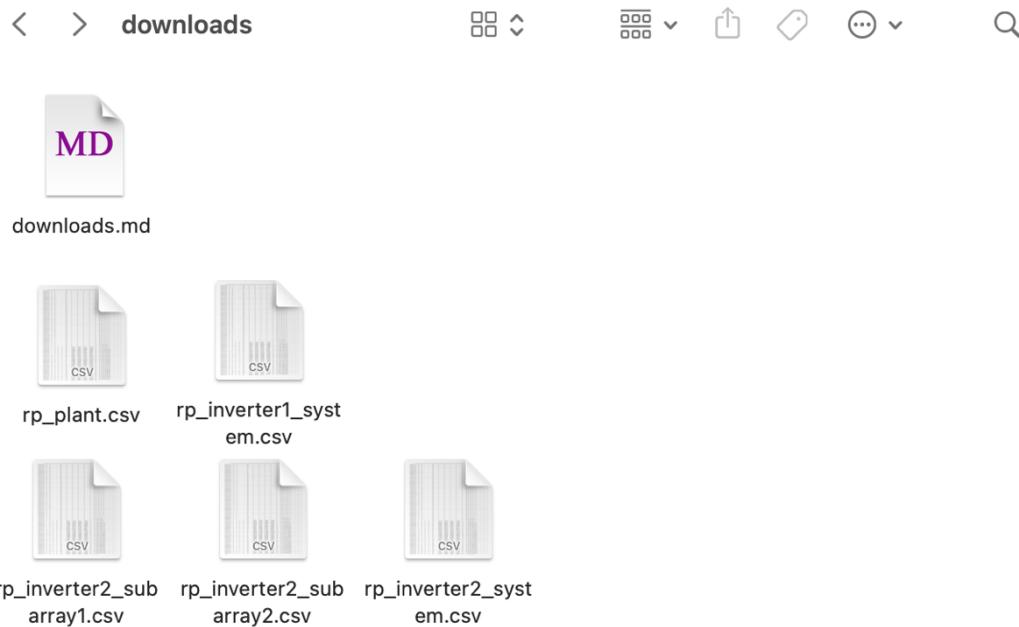


Figura 3.11. Descargas en la carpeta cno_solar/downloads del tab Recurso-Potencia.

Paso 5. La interfaz gráfica dispone siete relaciones para graficar con el parámetro *Relación*. Además, es posible establecer el periodo que se desea visualizar en la gráfica —es decir, un rango temporal diferente al de las estampas de tiempo de la serie histórica de datos—, estableciendo las fechas de inicio y fin con los parámetros *Fecha Inicial* y *Fecha Final*. Dado que el valor asignado al parámetro *Descargar* es **No**, la gráfica desplegada **no** se descarga y **no** se aloja en *cno_solar/downloads*.

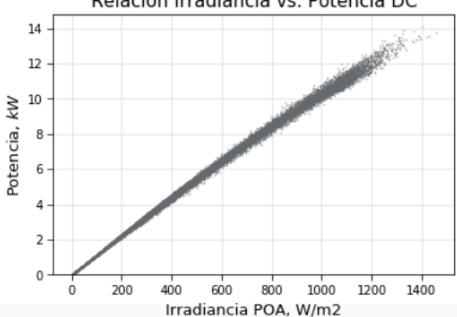
Documentación	CEN	Recurso-Potencia
Información Inicial <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Configuración Sistema (.JSON)</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Serie Histórica de Datos (.CSV)</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> Seleccionado</div> </div> <div style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px; margin-top: 10px;">✓ Archivos Cargados</div>		
Recurso-Potencia <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Disponibilidad [%]</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1, 1</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div>✓ Ejecutado</div> <div>✓ Descargado</div> </div>		
Gráfica <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div>Relación</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Irradiancia - Potencia DC</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Magnitud</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">kW</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Fecha Inicial</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">01/01/2020</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Fecha Final</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">01/01/2021</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Color</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: ##676b6f;">#676b6f</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Descargar</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">No</div> </div> <div style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px; margin-top: 10px;">Graficar</div>		
<p style="text-align: center;">Relación Irradiancia vs. Potencia DC</p> 		

Figura 3.12. Ejecución del algoritmo del tab Recurso-Potencia con 100% de disponibilidad para los dos conjuntos de inversores.