

PROYECTO PYTHON: INTERFAZ INTERACTIVA CON **streamlit**

1. Consigna

Generar una interfaz web (aplicación web) a partir de un script de Python con **streamlit**, para ensayar con los componentes más importantes de dicho paquete. La aplicación deberá tener la apariencia de un *dashboard* (o cuadro de mandos/tablero virtualizado), que funcione como panel interactivo de instrumentos de un generador fotovoltaico instalado en la ciudad de Santa Fe. La sección 2 brinda detalles sobre las ecuaciones que pueden utilizarse para simular la instalación, mientras que la sección 3 resume las características del generador fotovoltaico de la UTN Santa Fe, para referencia.

Los componentes a utilizar y los objetivos (propósito y funciones de la aplicación) son de elección libre, siempre que se cumpla con los siguientes requisitos mínimos:

- Utilizar los datos para la ciudad de Santa Fe, provistos en el archivo **Datos_climatologicos_Santa_Fe_2019.xlsx**. Importar el contenido por medio de **pandas**.
- Incluir texto, títulos, subtítulos y alguna ecuación, aprovechando las capacidades de renderizado web a partir de contenido en *Markdown*. Las explicaciones deben facilitar el entendimiento en cuanto a la forma de uso de la aplicación.
- Mostrar al menos un par de tablas, a partir de sendos contenedores tipo **DataFrame**. Introducir modificaciones (agregar columnas, por ejemplo).
- Configurar una barra lateral (*sidebar*) para especificar parámetros de la instalación fotovoltaica o cambiar ciertas configuraciones, modificables por medio de widgets apropiados.
- Realizar alguna selección o filtrado de los datos climatológicos en base a fechas y horarios, y generar con ésta un nuevo **DataFrame**. Fechas y horarios deben ser tomados a partir de los widgets correspondientes.
- Trazar al menos 2 gráficos de distinto tipo (scatter y barras, por ejemplo).
- Publicar la aplicación en un repositorio de [GitHub](#) y utilizando el servicio gratuito de [Streamlit Cloud](#).

2. Generador fotovoltaico

2.1. Modelo básico para estimación de la potencia erogada

Un generador fotovoltaico (GFV) convierte parte de la energía proveniente de la radiación solar en la forma eléctrica. La instalación se ejecuta en forma modular; una cantidad N de paneles (o módulos) se vinculan a través de sus terminales de salida en una configuración mixta serie-paralelo. El conexionado *serie* se utiliza cuando se pretende incrementar la potencia de salida elevando el nivel de tensión eléctrica (diferencia de potencial total del conjunto). El conexionado *paralelo*, por su parte, se realiza cuando el incremento de potencia se logra elevando el nivel de la corriente entregada. En la práctica, un GFV puede

utilizar una combinación de módulos conectados en serie, los que a su vez se vinculan en paralelo con otros conjuntos de conexiones en serie.

La tensión eléctrica provista por un GFV es del tipo *continua*, es decir, que se mantiene constante siempre que lo hagan las condiciones de radiación solar y temperatura. No obstante, dado que esto último no es posible, se requiere de un equipo electrónico que funciona como *controlador*, que busca estabilizar las condiciones de operación siempre que sea posible. Una variante muy difundida altera convenientemente dicha tensión para que la potencia erogada sea la máxima posible de acuerdo con las condiciones meteorológicas del momento¹. Asimismo, en virtud de que las redes eléctricas no suelen operar con tensión *continua*, sino en forma *alterna* (con una variación sinusoidal en el tiempo), un circuito electrónico “*inversor*” es requerido para realizar la conversión. Como se muestra en la Figura 1, es habitual que un único equipamiento cumpla simultáneamente las funciones de *controlador* e *inversor*.

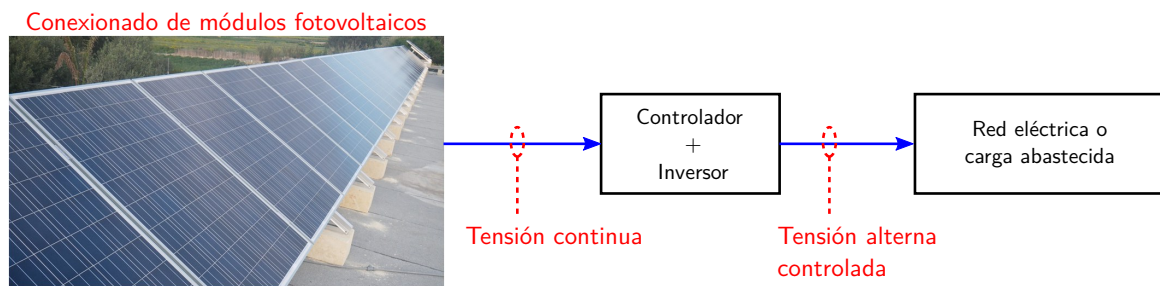


Fig. 1: Esquema en bloques de un GFV.

Existen numerosos modelos matemáticos para representar el funcionamiento de un GFV. La configuración de las conexiones entre módulos es relevante si se pretende que el modelo obtenga la tensión y corriente de operación. En otras circunstancias, cuando interese fundamentalmente la potencia eléctrica entregada, pueden emplearse modelos simplificados. Por caso, la siguiente expresión obtiene la potencia eléctrica P (en *kilo-Watt*) obtenida por un GFV, siempre que todos los módulos sean idénticos y cuando se utiliza un controlador de potencia que altera la condición de tensión de trabajo para maximizar el rendimiento.

$$P [kW] = N \cdot \frac{G}{G_{std}} \cdot P_{pico} \cdot [1 + k_p \cdot (T_c - T_r)] \cdot \eta \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

donde:

- G : Irradiancia global incidente en forma normal a los módulos fotovoltaicos, en W/m^2 . La irradiancia mide el flujo de energía proveniente de la radiación solar (sea de forma directa o indirecta) por unidad de superficie incidente.
- G_{std} : Irradiancia estándar, en W/m^2 . Es un valor de irradiancia que utilizan los fabricantes de los módulos para referenciar ciertas características técnicas. Normalmente $G_{std} = 1000 [W/m^2]$.
- T_r : Temperatura de referencia, en *Celsius*. Es una temperatura utilizada por los fabricantes de los módulos para referenciar ciertos parámetros que dependen de la temperatura. Normalmente $T_r = 25 [^{\circ}C]$.

¹Este tipo de controladores se conoce como MPPT: *Maximum Power Point Tracker* (o *Seguidor del Punto de Máxima Potencia*, en su traducción al español).

- T_c : Temperatura de la celda, en *Celsius*. Es la temperatura de los componentes semiconductores que conforman cada módulo fotovoltaico.
- P_{pico} : Potencia pico de cada módulo, en *Watt*. Se interpreta como la potencia eléctrica que entrega un módulo cuando G coincide con G_{std} y cuando T_c coincide con T_r , en ausencia de viento y sin que el panel se vincule a otros componentes eléctricos que afecten el desempeño de la instalación. Constituye la potencia nominal bajo la cual los módulos son comercializados.
- k_p : Coeficiente de temperatura-potencia, en $^{\circ}C^{-1}$. Es un parámetro negativo que refleja cómo incide la temperatura de la celda en el rendimiento del GFV. Se observa que incrementos (disminuciones) de T_c producen, en consecuencia, disminuciones (incrementos) de P .
- η : Rendimiento global de la instalación “por unidad” (valor ideal: 1). Se utiliza para considerar el efecto de sombras parciales sobre el GFV, suciedad sobre la superficie de los módulos y, fundamentalmente, el rendimiento del equipo *controlador-inversor*. Los inversores contemplados por el modelo de la Ec. (1) también incluyen el sistema de control para maximizar la potencia de salida².

La temperatura de la celda difiere de la temperatura ambiente T . En la literatura se disponen decenas de modelos matemáticos que permiten estimar T_c a partir de mediciones de T . El modelo más sencillo, válido únicamente en ausencia de viento, indica que la relación se puede aproximar según:

$$T_c = T + 0,031 [^{\circ}C m^2/W] \cdot G \quad (2)$$

Se destaca, por otra parte, que las mediciones de irradiancia que se toman a partir de una estación meteorológica, normalmente no coinciden con G , puesto que se realizan sobre una superficie de prueba horizontal, y no en relación a la disposición real de los módulos. La obtención de G a partir de las mediciones es compleja y depende, entre otras cosas, de las coordenadas geográficas del GFV (latitud y longitud), de la disposición espacial de los módulos (incluidas las inclinaciones), del momento preciso de análisis (año, mes, día, hora y zona horaria de implantación de la instalación), de la humedad relativa y temperatura del ambiente, y de las características de lo que se encuentra en los alrededores, en relación a su capacidad para reflejar en forma directa o difusa la radiación. No obstante, a los efectos de esta guía de actividades, se utilizarán mediciones de irradiancia asumiendo, por simplicidad, que sus valores corresponden a G .

2.2. Límites de generación

Los circuitos inversores funcionan adecuadamente siempre que la producción, en términos de potencia, supere un umbral mínimo μ , habitualmente expresado en forma porcentual, en relación a la potencia nominal P_{inv} del equipo. Si este umbral no es superado, la instalación no entrega potencia eléctrica. Asimismo, el valor P_{inv} (en *kilo-Watt*) opera como límite superior del GFV. En consecuencia, la potencia real P_r que entrega la instalación se puede calcular como:

$$P_{\min} [kW] = \frac{\mu (\%) }{100} \cdot P_{inv} \quad (3)$$

²Los inversores más modernos pueden incluir, adicionalmente, un sistema de sincronización con la red eléctrica, a fin de acoplar el GFV de forma automática, evitando cortocircuitos transitorios y corrientes de conexión elevadas. Además, pueden incorporar sistemas de control de carga para bancos de baterías, destinados a combinar el GFV con medios de almacenamiento de energía.

$$P_r [kW] = \begin{cases} 0 & \text{si } P \leq P_{\min} \\ P & \text{si } P_{\min} < P \leq P_{inv} \\ P_{inv} & \text{si } P > P_{inv} \end{cases} \quad (4)$$

3. GFV de la UTN Facultad Regional Santa Fe

La UTN Facultad Regional Santa Fe dispone de un GFV de 2,88 [kW] de potencia nominal, en combinación con un equipo inversor para su acoplamiento con la red eléctrica de baja tensión. El aporte energético del GFV compensa parcialmente la demanda eléctrica de la Facultad. En circunstancias de escaso consumo, puede verter la diferencia a la red de la empresa distribuidora de energía. Utiliza un conexionado de $N = 12$ módulos de la marca HISSUMA, con $P_{pico} = 240 [W]$ y $k_p = -0,0044 [^{\circ}C^{-1}]$. Más datos técnicos pueden encontrarse en [este enlace](#).

El equipo inversor (monofásico) es de la marca SMA, con $P_{inv} = 2,5 [kW]$ de potencia nominal. El modelo específico es SB2.5-1VL-40. La ficha técnica se encuentra disponible en [este enlace](#). A los efectos de aplicación de la Ec. (1), se utilizará un rendimiento global de la instalación $\eta = 0,97$, determinado fundamentalmente por el inversor. Se observa que, de acuerdo con la ficha técnica, este rendimiento no es rigurosamente constante, y depende de la potencia entregada en relación a su capacidad nominal.

En [esta web](#) pueden consultarse registros históricos de la potencia y energía eléctrica producidas por el GFV de la UTN Santa Fe. La interfaz web se presenta como un servicio provisto por la empresa fabricante del inversor.

4. Registros meteorológicos para la ciudad de Santa Fe

El archivo adjunto **Datos_climatologicos_Santa_Fe_2019.xlsx** contiene información sin procesar de registros de temperatura ambiente e irradiancia para la ciudad de Santa Fe (Argentina). Fueron provistos por el Centro de Información Meteorológica (CIM) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL). Corresponden a mediciones tomadas cada intervalos de 10 minutos en los 365 días del año 2019.

Se observa que la disposición geográfica del CIM no se corresponde con la ubicación del GFV de la UTN Santa Fe. Por esta razón, las condiciones climatológicas reales que aplicaron para este último en el mismo período pueden presentar algunas discrepancias, motivo de características de nubosidad no uniformes en la ciudad. Pese a ello, se consideran errores admisibles, teniendo en cuenta el objetivo didáctico de esta actividad.