



# Anexo C): Modelo de central generadora solar fotovoltaica.

Pablo Soubes, Felipe Palacio y Ruben Chaer.

*Montevideo - Noviembre 2015*

## 1. Introducción.

El decreto 59/2015 encomendó a ADME el diseño de una metodología para el cálculo de reducción de generación de centrales eólicas y solares fotovoltaicas como posible aplicación de Restricciones Operativas. El mismo decreto mandata a ADME a realizar un sistema de pronósticos con el fin de su aplicación a la programación de la operación del SIN. Con este objetivo, en el presente documento se presenta el modelado de las centrales solares fotovoltaicas.

A diferencia de lo que sucede con el modelo de plantas eólicas en que una reducción impuesta de la generación (por aplicación de una restricción operativa) puede tener como consecuencia un aumento de la medida del recurso (aumento de la velocidad registrada en la estación meteorológica si la misma estaba en la sombra del parque durante la reducción) en el caso de las plantas solares fotovoltaicas, una reducción impuesta de la generación no debiera tener consecuencias sobre la medida del recurso registrada por el piranómetro. Por lo anterior, para el cálculo de la energía afectada en las plantas solares, es suficiente un modelado del tipo "caja negra" obtenido a partir de las medidas y no resulta necesario la construcción de un modelo teórico de la central generadora.

## 2. Disponibilidad de información.

Para la calibración y operación del modelo se utilizará la información recibida vía SCADA de las plantas generadoras. Esta información consiste en las series de medidas correspondientes a:

- Radiación solar recibida sobre el plano de los paneles.
- Potencia inyectada por la central a la red.
- Factor de disponibilidad.
- Temperatura.
- Velocidad y dirección de viento.
- Humedad relativa.

- Indicador de disponibilidad de los inversores.
- Lluvias (pluviómetro).

### 3. Modelo empírico.

El modelo de planta se obtiene calibrando una ecuación  $P_E(r, T)$  del tipo cuadrática como se muestra en la ec.1 acotado por la potencia máxima autorizada.

$$P_E(r, T) = c_1 r + c_2 T + c_3 r^2 + c_4 r T + c_5 T^2 \quad \text{ec. (1) Modelo de planta solar.}$$

Siendo  $P_E$  la potencia eléctrica inyectada por la central en la red,  $r$  la radiación solar recibida en el piranómetro y  $T$  la temperatura ambiente.

La calibración de los parámetros  $c_1 \dots c_5$  se realiza por mínimos cuadrados. La ec.2 muestra los valores ajustados para la planta solar "La Jacinta" y la Fig.1 muestra gráficamente el ajuste entre las medidas (sin filtro de disponibilidad) y el modelo ajustado.

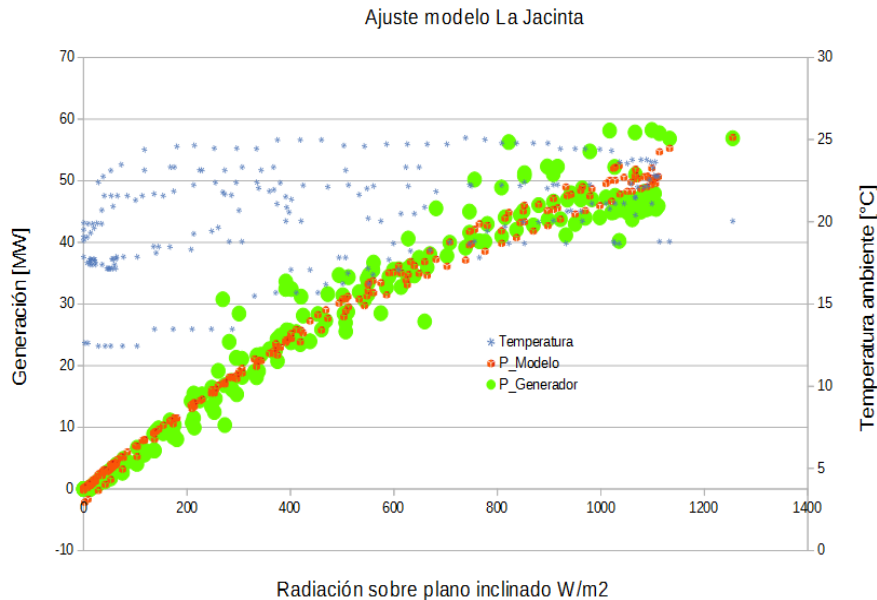


Fig. 1: Variación de la producción con la temperatura. (EJEMPLO).

$$P_E = 8.9E-2 r + 1.09 T - 1.84E-5 r^2 - 1.04E-3 r T - 2.27E-2 T^2 - 12.5 \quad \text{ec. (2) Ejemplo de calibración.}$$

El modelo seleccionado capta la dependencia del rendimiento de los paneles con la temperatura de juntura que a su vez está relacionada con la temperatura ambiente y con la radiación. La Fig.2 muestra la dependencia de la curva de generación de la planta (ejemplo) con la temperatura ambiente.

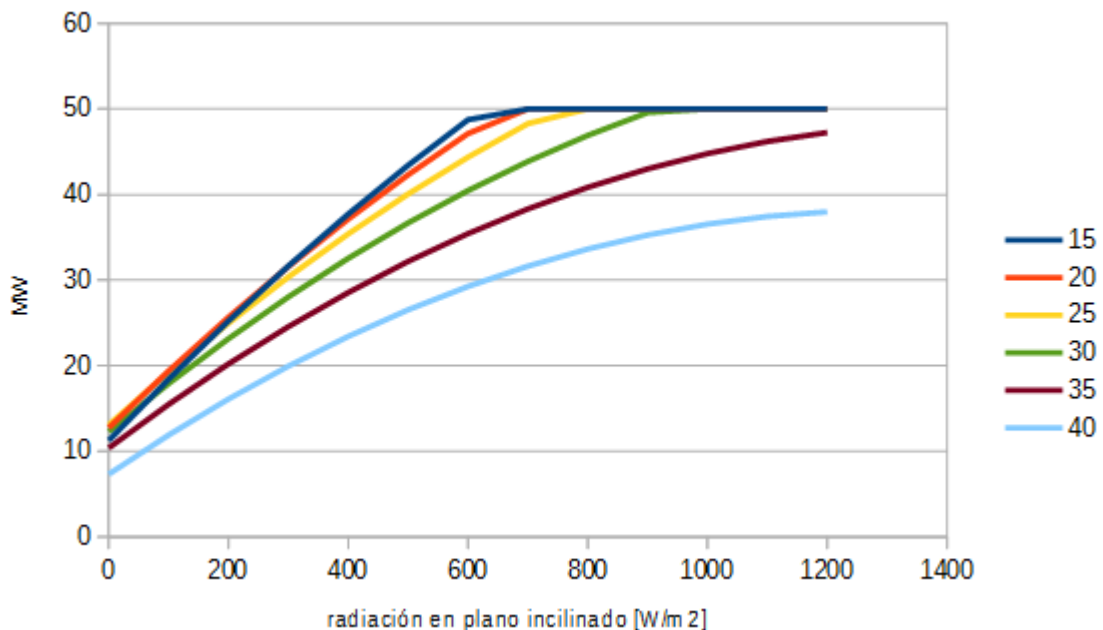


Fig. 2: Dependencia de la producción con la temperatura ambiente.

### 3.1. Modelado por Grupos de Medidas.

El ejemplo mostrado en la sección anterior muestra que en ese caso la ecuación cuadrática (ec.1) tiene un buen ajuste a los datos. Puede ocurrir que en diferentes rangos de funcionamiento y dependiendo de las estrategias de control y de uso de los inversores de la planta, sea necesario tener más de una ecuación de ajuste. Cuando corresponda, se agruparán las medidas en grupos y se obtendrá para cada grupo el juego de parámetros que mejor ajusta una ecuación del tipo 1.

### 3.2. Filtrado de medidas.

Para la obtención de los parámetros del modelo se procederá en dos etapas. En la primera etapa, se calculan los parámetros  $c_1 \dots c_5$  para cada Grupo de medidas por mínimos cuadrados. En una segunda etapa, se calcula para cada medida el Apartamiento al Modelo como la diferencia al cuadrado entre la potencia estimada por el modelo y la potencia de la medida. Las series de medidas son filtradas a continuación eliminando el 10% de mayor error.



Con el 90% de las medidas de menor apartamiento se procede a calcular los parámetros definitivos.

## **4. Procedimiento de calibración y aplicación del MT para el cálculo de Restricciones Operativas.**

### **4.1. Procedimiento de calibración.**

Los modelos de los diferentes parques se calibrarán mensualmente en base a las medidas de los últimos 12 meses de operación según la metodología explicada en las secciones precedentes.

Para la calibración de los modelos se excluirán las medidas de las ventanas de tiempo en las que hubieren estado activas Restricciones Operativas. También se excluirán las ventanas de tiempo en que el generador declare indisponibilidades por mantenimientos mayores.

### **4.2. Factor de ajuste de corto plazo.**

Para cada parque se calculará el Factor de Ajuste de Corto Plazo (FACP) como la energía efectivamente entregada por el parque y la energía prevista de acuerdo a la aplicación del MT en las últimas 24 horas de operación. Ante la aplicación de una restricción operativa, la energía afectada por la restricción será calculada usando el MT corregido por el FACP.

El FACP tiene por objetivo compensar afectaciones a la disponibilidad del parque que no queden correctamente representadas por la cantidad de unidades disponibles informada vía sistema SCADA.