



Requisitos de los modelos
de instalaciones eólicas,
fotovoltaicas, de
almacenamiento y de todas
aquellas instalaciones que
no utilicen generadores
síncronos directamente
conectados a la red

Dirección General de Operación

Junio de 2020



Índice

1. Introducción	3
2. Objeto.....	3
3. Características a representar en el modelo.....	3
4. Requisitos del software	5
5. Aceptación del modelo	7
6. Anexo: esquemas gráficos explicativos del modelado	7



1. Introducción

El titular de una instalación que deba proporcionar al operador del sistema un modelo que represente el comportamiento dinámico de la misma frente a perturbaciones en el sistema eléctrico a requerimiento de la normativa vigente en materia de intercambio de información con el operador del sistema, deberá hacerlo preferentemente mediante modelos perteneciente a la lista de modelos admitidos publicada en documento de título "Listado de modelos dinámicos admitidos por el operador del sistema" de forma que mediante una adecuada elección de los parámetros refleje el comportamiento dinámico de la planta en cuestión.

En el caso de que algún elemento de la instalación no permita la representación adecuada de su comportamiento dinámico a través de ningún modelo de la lista publicada por el operador del sistema, el titular de la misma proporcionará un modelo específico de los denominados como "escritos por el usuario" o "de usuario". No obstante, la aceptación final de esta opción por parte del operador del sistema estará sujeta a la debida justificación técnica de que el comportamiento dinámico de la planta realmente no pueda ser representado por un modelo de la lista antes indicada.

2. Objeto

El presente documento describe los requisitos y condiciones que deben reunir los modelos dinámicos de usuario y que, por lo tanto, no estén incluidos en la lista de modelos admitidos por el operador del sistema.

Los modelos serán aportados como código fuente abierto en lenguaje FLECS o en lenguaje FORTRAN estándar, y serán compatibles con PSS/E (herramienta de simulación del sistema eléctrico utilizada por el operador de sistema), garantizándose el correcto funcionamiento del modelo con independencia del compilador utilizado y de la versión de PSS/E. Se deberán incluir en la documentación aportada las instrucciones precisas para la correcta compilación de los modelos proporcionados. Dichos modelos estarán sujetos a las condiciones de confidencialidad de la información establecida en la normativa vigente sobre intercambio de información con el operador del sistema y deberán cumplir con las condiciones indicadas en los epígrafes siguientes.

3. Características a representar en el modelo

El modelo debe describir el comportamiento dinámico de la instalación de generación en su conjunto con todos los elementos que la compone y que participan en la respuesta dinámica de la misma.

En este sentido, este documento aplica no sólo a instalaciones exclusivas de generación o exclusivas de almacenamiento (reversibles) sino también a instalaciones que siendo de generación y, por tanto, no reversibles, puedan tener cierta capacidad de almacenamiento interno de la energía primaria y producir total o parcialmente, directamente desde el almacenamiento a través de los convertidores electrónicos de las unidades generadoras.

El modelo del equipo de generación/almacenamiento principal individual (generador asíncrono, doblemente alimentado, de conversión total de potencia conocido en inglés como «full converter», inversor, etc.) o el de la instalación completa (representada con uno o varios modelos agregados de generadores individuales de una misma tecnología), debe describir el comportamiento dinámico de la instalación desde el punto de vista del sistema eléctrico al que se conecta ante cualquier perturbación en el mismo.

El modelado del comportamiento dinámico de cada unidad de generación/almacenamiento, susceptible de ser agregada, considerará al menos los siguientes elementos:

- a) Generador, inversor, etc.: deberá proporcionar la respuesta dinámica de al menos las siguientes variables: la potencia activa y reactiva, la tensión compleja en bornas de máquina (módulo y ángulo).



- b) Turbina y tren mecánico en su caso, considerando como mínimo un modelo de dos masas (inercia de la turbina, inercia del generador y un eje caracterizado por su amortiguamiento y su rigidez). Deberá proporcionar la respuesta dinámica de la potencia mecánica y la velocidad angular del tren mecánico.
- c) Controles eléctricos y/o mecánicos que consideren las relaciones físicas entre la fuente de energía primaria y la variable que controla su aprovechamiento dinámico. Por ejemplo, en el caso de eólicos sería el control de paso de pala que establece la relación velocidad de la punta de la pala y ángulo de ésta.
- d) Los controles y reguladores en general que actúen sobre las variables eléctricas en función de tensión y/o de la frecuencia (corriente activa y reactiva, potencia activa y reactiva) tanto durante el régimen perturbado como en el régimen cuasi estacionario durante la estabilización al final de la perturbación, así como los sistemas de control de la electrónica de potencia en su caso que, de acuerdo a la normativa de aplicación le corresponda cumplir. Por ejemplo, en el caso de aplicación de los requisitos técnicos del Reglamento (UE) 631/2016 o del P.O. 12.2 SENP, deberá modelizar los correspondientes controles potencia-frecuencia (MRPFL-O y, en su caso, el MRPFL-U y el MRPF), control de tensión, control de inyección rápida de corriente, bloqueos de la electrónica de potencia, etc. de forma compatible con lo requerido en la citada normativa.

En general, los modelos deberán considerar todas las dinámicas implicadas (mecánicas y eléctricas) de los elementos arriba indicados, u otros no indicados, con influencia en el sistema eléctrico, en concreto, se considerarán todas aquellas dinámicas cuyas constantes de tiempo sean mayores de 5 ms. Los procesos internos sin ningún tipo de influencia en el sistema eléctrico pueden simplificarse y, en particular, se despreciarán aquellos procesos con una constante de tiempo igual o inferior a 5 ms. Consecuentemente, todas las constantes de tiempo del modelo deben ser superiores a 5 ms.

En el caso de que la instalación no disponga de controles de nivel jerárquico superior que regulen aspectos del comportamiento dinámico de la instalación a nivel de planta gestionando las respuestas de las diferentes unidades de generación/almacenamiento constituyentes, el modelado a presentar cumplirá con lo siguiente:

- Alternativamente:
 - Se podrá entregar un único modelo agregado de todas las unidades de generación/almacenamiento constituyentes que contemple todos los controles requeridos.
 - Se podrá entregar por separado el modelo agregado de las unidades de generación/almacenamiento y el modelo agregado de los controles potencia-frecuencia, tensión, etc.
- Si existen unidades de almacenamiento con convertidores independientes de los de las unidades de generación, se aportará un modelo agregado independiente para el almacenamiento.
- Se aportará un modelo independiente, en su caso, de las compensaciones dinámicas de energía reactiva o de cualquier otra naturaleza que altere las respuestas de la instalación en su conjunto independientemente de que se ubiquen en bornes de máquina o a nivel de la instalación en su conjunto. En este caso, si la instalación dispone de un FACTS para esta aplicación, se aportará el modelo del FACTS de forma segregada cumpliendo con los requisitos contenidos en el documento al efecto publicado por el operador del sistema.
- Se tendrá en consideración que el transformador de evacuación y/o resto de instalaciones de enlace hasta el punto de conexión a la red, así como las compensaciones estáticas de potencia reactiva serán modelados por el operador del sistema a partir de la información estructural entregada en cumplimiento de la normativa vigente sobre intercambio de información con el operador del sistema, por lo que no se incluirán en el modelado de la instalación de generación.

En caso contrario, es decir, si la instalación de generación dispone de controles de nivel jerárquico superior a nivel de planta, el modelado deberá contemplar los controles y dinámicas a nivel de planta. Para este cometido, se otorga la flexibilidad de poder ser considerados en uno o varios modelos separados, (por ejemplo, en su caso, regulación potencia-frecuencia y/o regulación de tensión, etc.). Adicionalmente, se cumplirá lo siguiente:

- Si un control jerárquico superior gestiona cambiadores de tomas en carga y/o elementos de compensación estática, su modelo deberá contemplar dichas dinámicas identificando convenientemente en el correspondiente fichero de datos dinámicos el transformador o transformadores así como las compensaciones estáticas que gestione. En este sentido se tendrá en consideración que el transformador de evacuación y/o resto de instalaciones de enlace hasta el punto de conexión a la red así como las compensaciones estáticas de potencia reactiva serán modelados por el operador del sistema a partir de la información estructural entregada en cumplimiento



de la normativa vigente sobre intercambio de información con el operador del sistema, por lo que no se incluirán en el modelado de la instalación de generación.

- Alternativamente:
 - El resto de los controles y dinámicas a nivel de unidad de generación/almacenamiento se podrán modelar en un único modelo agregado de todas las unidades de generación/almacenamiento constituyentes.
 - Se podrá entregar por separado el modelo agregado de las unidades de generación/almacenamiento y el modelo agregado de los controles potencia-frecuencia, tensión, etc. que, en su caso, no estén considerados en los controles de nivel jerárquico superior.
- Si existen unidades de almacenamiento con convertidores independientes de los de las unidades de generación, se aportará un modelo agregado independiente para el almacenamiento.
- Se aportará un modelo independiente, en su caso, de las compensaciones dinámicas de energía reactiva o de cualquier otra naturaleza que altere las respuestas de la instalación en su conjunto independientemente de que se ubiquen en bornes de máquina o a nivel de la instalación en su conjunto. En este caso, si la instalación dispone de un FACTS para esta aplicación, se aportará el modelo del FACTS de forma segregada cumpliendo con los requisitos contenidos en el documento al efecto publicado por el operador del sistema.
- El modelo o modelos de los controles a nivel de planta en su caso, deberá gestionar convenientemente la respuesta correspondiente del modelo agregado de las unidades de generación/almacenamiento constituyentes incluyendo al modelo almacenamiento independiente y/o del FACTS en su caso.

En el apartado 6 de este documento, se incluye un anexo se muestran unos esquemas gráficos de las diferentes alternativas de modelado con el objeto de facilitar su comprensión.

Adicionalmente, se deberán modelar los relés de protección cuya actuación pueda desconectar la instalación, total o parcialmente, o pueda modificar su comportamiento desde el punto de vista del sistema eléctrico durante las perturbaciones. Para tal cometido, se utilizarán modelos de la lista de modelos admitidos por el operador del sistema. En los casos justificados en los que las protecciones no queden bien representadas por modelos de dicha lista, se otorga la posibilidad de integrarlos en alguno de los modelos del generador/almacenamiento, FACTS y/o controles antes descritos o la posibilidad de remitir modelos de usuario independientes estando la aceptación final de esta opción sujeta a la debida justificación técnica. En tal caso, dichos modelos de usuario de protecciones estarán sujetos a los requisitos de software y condiciones de aceptación indicadas en los apartados siguientes. En el caso de que se haya optado por incorporar las protecciones dentro del modelo del generador/almacenamiento, FACTS y/o dentro de los modelos de los controles antes descritos, se deberán hacer accesibles al usuario todos sus ajustes mediante parámetros a través del correspondiente fichero de datos dinámicos incorporando un parámetro adicional que permita habilitar/deshabilitar el uso de dichas protecciones.

En general, deberán ser accesibles y modificables, a través del correspondiente fichero de datos dinámicos, todos los parámetros de los controles que pueden ser ajustados por el operador del sistema dentro de los rangos establecidos por la normativa que le sea de aplicación y que establezca las capacidades técnicas requeridas para la conexión a la red. Lógicamente, de no cumplirse este requisito, un cambio de un estatismo, pendiente de control, velocidad de respuesta, etc. invalidaría el modelo al dejar de representar el comportamiento real de la planta. Esto permite al operador del sistema tener la autonomía suficiente para modificar el ajuste en el modelo alargando la utilidad de este sin comprometer al propietario con la necesidad de remitir un nuevo modelo acorde al nuevo comportamiento dinámico derivado de los cambios de ajustes de dichos parámetros.

4. Requisitos del software

El principal objetivo es que el modelo de la instalación de generación tenga la misma flexibilidad y tratamiento que cualquier otro modelo estándar de la librería del software PSS/E. Para lograrlo, los modelos de usuario deben cumplir una serie de requisitos:

- Antes de realizar simulaciones dinámicas, el escenario (representado por un caso de PSS/E tanto en su parte estática como dinámica, que incluye a todos los modelos dinámicos considerados) debe estar correctamente



inicializado con el fin de asegurar el comportamiento adecuado de todos los modelos dinámicos que participan en el caso y tener un inicio plano de todas las variables (derivadas temporales nulas). Los datos necesarios para la inicialización de los modelos serán los correspondientes al estado eléctrico inicial del nudo de PSS/E donde la instalación esté modelada: la potencia activa y reactiva suministrada por la instalación y la tensión compleja del nudo de PSS/E. Estos datos serán suficientes para inicializar todas las variables del modelo dinámico de modo que:

- La tensión de consigna o el factor de potencia se tomará directamente del escenario de régimen permanente inicial (representado por un caso de PSS/E). No se permitirá, por tanto, la ejecución de macros previas. Para elegir el tipo de control de tensión (consigna de tensión, de potencia reactiva o de factor de potencia) la opción más idónea es el uso de parámetros lógicos en el archivo de entrada de datos dinámicos.
- Del mismo modo, la potencia activa se tomará directamente del régimen permanente inicial (representado por un caso de PSS/E). No se permitirá, por tanto, la ejecución de macros previas.
- Todas las variables de estado del modelo estarán correctamente inicializadas (con sus respectivas derivadas temporales nulas) antes de empezar la simulación. Por lo tanto, no se acepta la obligación de ejecutar la simulación durante un periodo de tiempo específico previo a la simulación de la perturbación para lograr la inicialización del modelo.
- Ningún modelo generará llamadas en las rutinas de conexión CONET/CONET de PSS/E, para lo cual se podrá hacer uso del formato de modelo CCT de PSS/E que resuelve esta problemática en su caso.
- La utilización del modelo debe ser independiente del nivel de tensión donde se ubique. Por tanto, es necesario que el modelo se programe en valores unitarios.
- Cada modelo aportará las variables de entrada y salida en las unidades correspondientes utilizadas por defecto en el software PSS/E.
- La utilización del modelo debe ser independiente del código del bus (nudo de PSS/E) donde se ubique y del identificador de máquina que se le asigne.
- La utilización del modelo debe ser independiente del resto de elementos que se modelen en un caso de PSS/E, en consecuencia, no se aceptarán modelos que, por ejemplo, requieran parámetros dependientes de las asignaciones de índices de matrices ICON, CONS, VAR, o STATES dado que variarán en función de los elementos acoplados y/o modelados en un caso de PSS/E.
- El modelado deberá estar capacitado para escribir mensajes estándar de PSS/E en el fichero de salida de la simulación. Como mínimo se utilizarán los mensajes que proporciona la instrucción **GENTRP**, como en este ejemplo:

"MACHINE 1 AT BUS 999 [BUS_Name 20.000] TRIPPED AT TIME = 0.2760"

- Dicha instrucción **GENTRP** se utilizará cuando un modelo ordene la desconexión de la instalación de generación. Además, al utilizar la instrucción **GENTRP** se facilitará un mensaje adicional con el fin de informar sobre la causa de dicha desconexión (mínima tensión, pérdida de estabilidad, sobre frecuencia, etc.). En el caso de que se haya ordenado la desconexión de la instalación de generación/almacenamiento, se deberá actuar consecuentemente deteniendo las salidas de los diferentes modelos de controles segregados en su caso.
- Las operaciones de lectura/escritura en el disco duro durante el proceso de simulación no están permitidas. Sólo se aceptarán durante el proceso de inicialización. Esto es necesario para no aumentar el tiempo de ejecución en caso de simulaciones masivas con una gran cantidad de modelos dinámicos.
- El modelo debe estar completamente documentado. La documentación debe describir con detalle la estructura del modelo, las entradas y salidas, así como especificar cómo se debe preparar y usar el modelo. Adicionalmente, la documentación deberá incluir el diagrama de bloques y la tabla de parámetros con el mismo estilo y formato que el utilizado por los modelos estándar de librería de PSS/E.
- En caso de que el modelado aportado actualice alguno de los modelos suministrados anteriormente para otras instalaciones, se proporcionará la actualización de los parámetros correspondientes a las instalaciones que utilicen versiones obsoletas de dicho modelo, en la medida de lo posible.



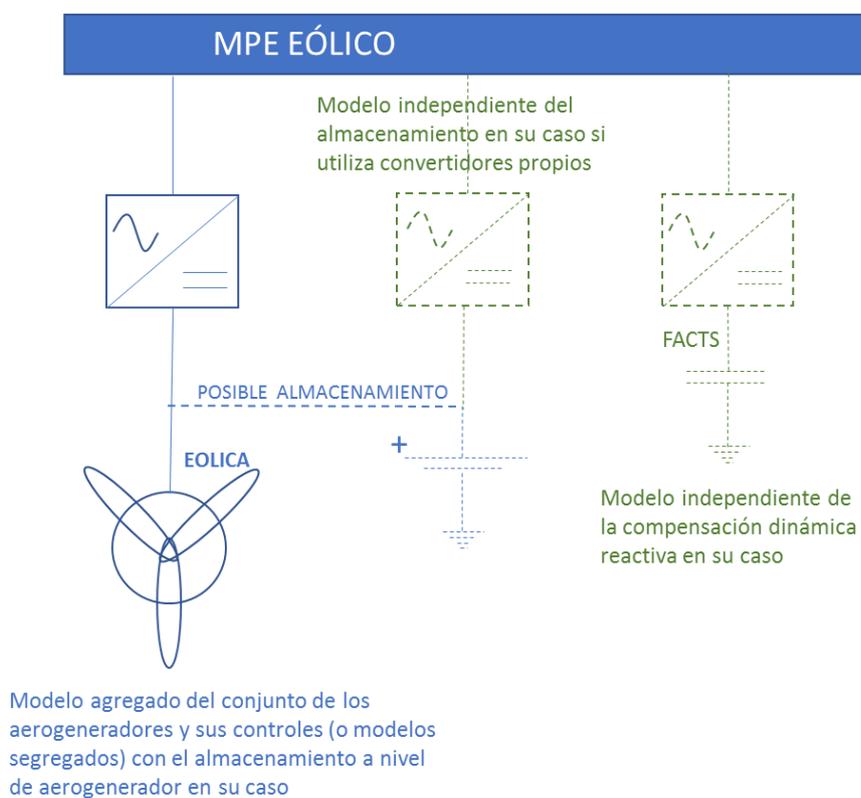
5. Aceptación del modelo

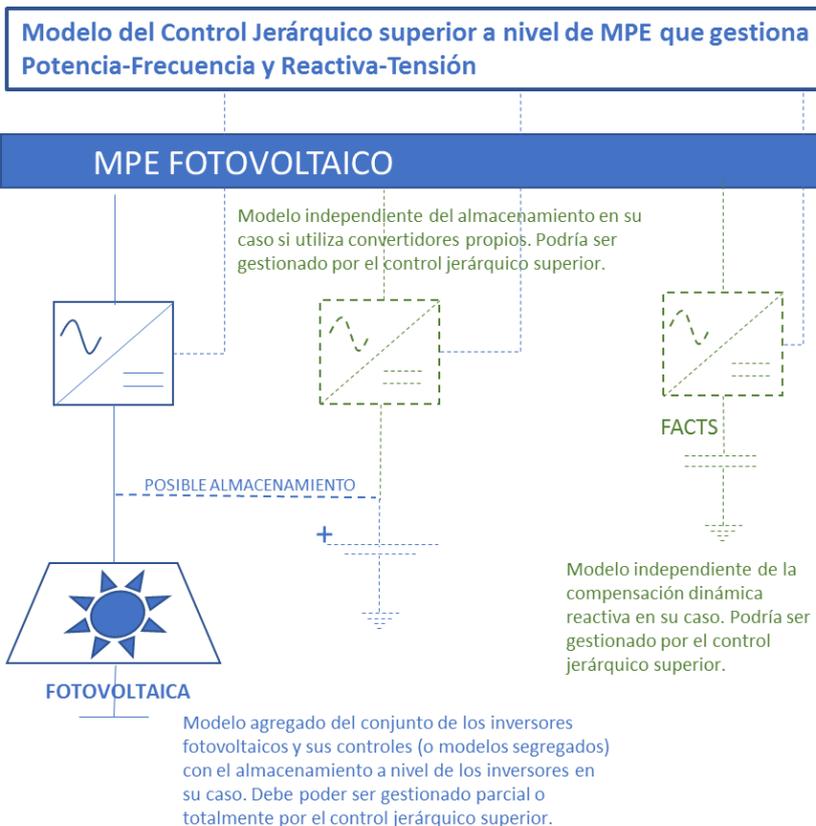
Las condiciones de validación y aceptación del modelo se encuentran redactadas en el documento al efecto denominado "Condiciones de validación y aceptación de los modelos" editado por el operador del sistema a requerimiento de la normativa vigente en materia de intercambio de información con el operador del sistema.

6. Anexo: esquemas gráficos explicativos del modelado

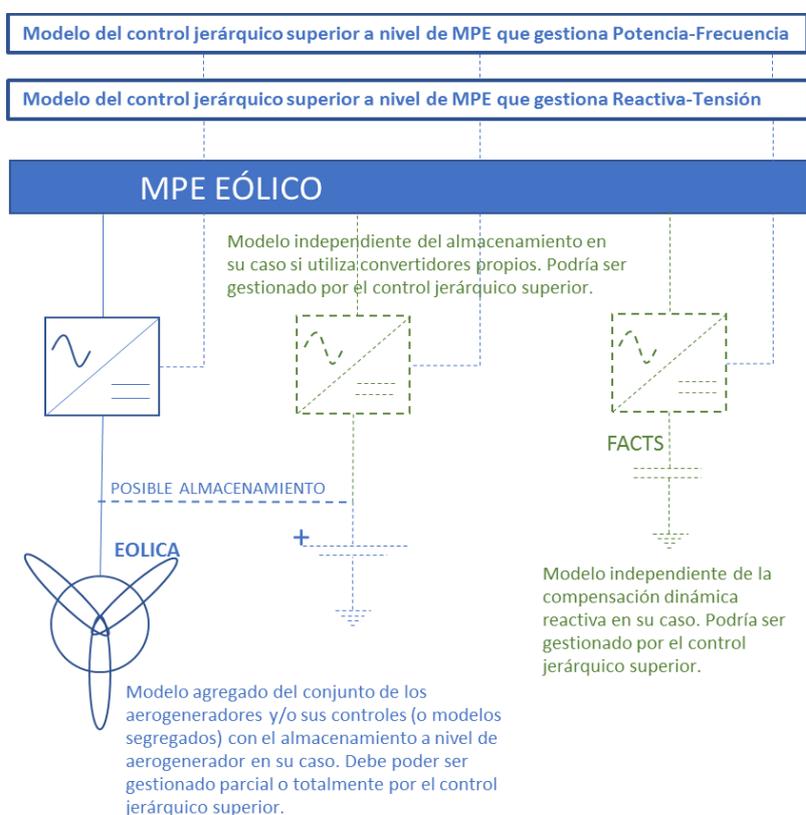
A continuación, se muestran diferentes esquemas gráficos de posibilidades de modelado a entregar al OS con el objeto de facilitar su comprensión:

- Si el módulo de parque eléctrico (MPE) no dispone de controles de nivel jerárquico superior:





- Si el MPE dispone de controles de nivel jerárquico superior segregados:







Paseo del Conde de los Gaitanes, 177
28109 Alcobendas (Madrid)

Tel. 91 650 85 00 / 20 12

www.ree.es