

red eléctrica

Una empresa de Redeia

Requisitos de los modelos EMT

Versión 1

Dirección de Desarrollo del Sistema
Departamento de Fiabilidad del Sistema Eléctrico
Junio 2023

Índice

1	Introducción	1
2	Requisitos de los modelos EMT.....	1
2.1	Requisitos al nivel de detalle del modelo	1
2.2	Requisitos al funcionamiento del modelo	5
2.3	Requisitos a la flexibilidad del modelo	7
3	Condiciones de validación y aceptación de los modelos EMT	8
3.1	Entrega del modelo EMT. Memoria descriptiva.....	8
3.2	Propuesta de informe de validación del modelo EMT	8
3.2.1	Validación del modelo EMT frente a pruebas.....	8
3.2.2	Simulaciones del modelo EMT	9



1 Introducción

El cambio de tecnologías que se conectan a la red ha creado la necesidad de que el operador del sistema tenga una comprensión más profunda de todos los equipos que se conectan a la red y pueden afectar la seguridad y fiabilidad del sistema de eléctrico. Por esta razón, el operador del sistema tendrá la potestad de requerir, conforme a lo estipulado en el procedimiento de operación 9, los modelos de transitorios electromagnéticos (EMT) e información más específica de las instalaciones para analizar el impacto de sus sistemas de control y sistemas de protección en la seguridad del sistema eléctrico en más detalle.

El titular de una instalación eólica, fotovoltaica, de almacenamiento, sistemas HVDC y de todas aquellas instalaciones que no utilicen generadores síncronos directamente conectados a la red deberán proporcionar, en caso de que el operador del sistema lo requiriera, un modelo para simulación dinámica de tipo electromagnético (EMT) que represente el comportamiento dinámico de la instalación frente a perturbaciones en el sistema eléctrico.

Los estudios que se podrían realizar son análisis de estabilidad transitoria, de interacción subsíncrona, de armónicos y de transitorios de alta frecuencia, tal y como se describen en el apartado 2.1. En el caso de que sean necesario realizar otro tipo de estudios, el operador del sistema justificará y definirá las características de dichos estudios.

2 Requisitos de los modelos EMT

Los requisitos propuestos a los modelos EMT se incluyen a continuación y se han categorizado según el nivel de detalle del modelo, el funcionamiento del modelo y la flexibilidad del modelo.

2.1 Requisitos al nivel de detalle del modelo

Los requisitos al nivel de detalle del modelo EMT incluyen aquellos requisitos que especifican los componentes que son necesarios modelar ya que forman parte de la instalación:

- Si la instalación de generación consta de varias unidades de generación idénticas, el modelo EMT debe representar cada tipo de unidad de generación con el número de unidades de generación idénticas agregadas. Si se trata de una instalación híbrida, se entregará el modelo EMT donde se incluirá cada módulo de generación de electricidad o equipamiento de almacenamiento que constituya la instalación híbrida. Si la instalación HVDC consta de varias unidades de convertidores, el modelo EMT debe representar cada convertidor por separado.
- El modelo EMT debe representar todos los componentes de red y otros equipos que formen parte de la infraestructura de la instalación hasta bornas de central (cables, líneas aéreas, transformadores, filtros, reactores, banco de condensadores, equipos de compensación dinámica de reactiva, etc), sistemas de control (tanto a nivel de generador o convertidor como de planta) y sistemas de protección (protección de sobretensión, protección de subtensión, protección de sobrefrecuencia, protección de subfrecuencia, protección de ROCOF, protección de tensión del bus DC, protección de sobrecorriente, etc.). Si la instalación de generación consta de varios componentes de red y otros equipos de características similares, estos elementos podrán ser representados en el modelo EMT de forma agregada. Los cables y líneas aéreas han de ser representados con modelos dependientes de la frecuencia, aunque se admitirán modelos Bergeron si representa de forma precisa la respuesta durante el tipo de estudio a realizar. Los transformadores han de ser representados con su saturación. Para la agregación de circuitos colectores se admitirá la metodología definida por NREL en “Method of Equivalencing for a Large Wind Power Plant with Multiple Turbine Representation”, conjuntamente con la metodología “Trafo Multiplicador” incluida en PSCAD para la agregación de equipos de generación. El proveedor del modelo podrá utilizar la metodología de agregación adicional a la mencionada siempre que justifique que dicha metodología utilizada no afecte a las capacidades técnicas de la instalación exigidas en normativa.

- Para instalaciones de generación con un tren de transmisión mecánico, el modelo EMT debe incluir un modelo de masas de oscilación del mecanismo mecánico del tren de transmisión de la instalación de generación. Se incluirá en la documentación constantes de inercia, frecuencias naturales, así como constantes de amortiguamiento y elasticidad, si esto es relevante para la representación de las propiedades estáticas y dinámicas de la instalación de generación.
- Para instalaciones de generación o instalaciones HVDC con un convertidor conectado a la red, se recomienda modelar en detalle las conmutaciones de los convertidores (por ejemplo, a nivel de tiristor o IGBT) para una representación adecuada en estudios transitorios. También se recomienda evitar los modelos de fuente de corriente, ya que pueden crear inestabilidad numérica.
- El modelo EMT debe representar todos los controladores de nivel de planta tal y como se implementan en los controles reales. Se deben representar todos los retrasos entre los elementos de la planta (por ejemplo, SCADA, PLC del control y retrasos de comunicación del controlador de planta) que tienen un impacto en el rendimiento de la instalación.
- El modelo EMT debe representar los lazos de control interno y externos de la planta, Phase Locked Loop (PLL), tal como se implementan en el equipo real.
- Los controles del modelo EMT debe contener las componentes de secuencias positiva, negativa y homopolar, en su caso, para representar correctamente las respuestas de la instalación ante perturbación. El modelo EMT debe ser capaz de representar el comportamiento de la instalación ante faltas equilibradas y desequilibradas en el sistema, así como en el punto de conexión.
- Si la instalación tiene funciones de control especiales habilitadas, por ejemplo, control grid forming, control para una red débil, emulación de inercia, Power Oscillation Damping (POD), etc., estas funciones deben incluirse en el modelo EMT. Además, se ha de incluir la capacidad de habilitar y deshabilitar estas funciones especiales, si corresponde. Una descripción suficiente de las funciones especiales y sus restricciones deben incluirse en la guía de usuario del modelo EMT.
- Si la instalación tiene mitigación y/o protección de oscilaciones subsíncronas (SSO) habilitadas, ésta debe ser representada en el modelo EMT. Además, se ha de incluir la capacidad de habilitar y deshabilitar la mitigación/protección de SSO, si corresponde. Una descripción relevante de la mitigación/protección de SSO y sus restricciones deben incluirse en la guía de usuario del modelo EMT.
- El modelo EMT debe representar la instalación en su actual modo de operación e incluir los mismos parámetros que se encuentren en ese momento en funcionamiento en campo. A solicitud del operador del sistema, el propietario de la instalación será responsable de remitir la nueva versión actualizada del modelo al operador del sistema, adecuada a la configuración vigente de la instalación.
- Para el caso de instalaciones donde no se disponga de toda la información técnica, con el nivel de detalle exigido en este documento, se admitirá el uso de modelos genéricos de librería parametrizados de forma que representen lo más fielmente posible el comportamiento de la instalación y acorde con el tipo de estudio necesario sin obviar lo indicado en el siguiente párrafo.

Dependiendo de la naturaleza del incidente a analizar y tipología de estudio, el operador del sistema aceptará el nivel de detalle del modelo EMT según se establece en las siguientes tablas. Aunque el operador del sistema podrá solicitar de forma justificada más detalle en el modelo EMT del indicado en las tablas si lo considera necesario para representar de forma precisa el incidente. El fabricante determinará si los elementos marcados con asterisco (*) son necesarios ser incluidos en el modelo EMT para representar de forma precisa la respuesta durante el tipo de estudio a analizar.

Tipo de estudio	Estabilidad transitoria
Turbina eólica	Aerodynamics*, pitch controller*, mechanical drive train*, torsional damping*, electrical generator, dynamic breaking resistor / chopper, DC link, unit transformer, internal filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, high voltage ride-through, low voltage right through, multiple fault ride through, protection.
Inversor solar	Solar Cells*, DC-DC converter, DC link, unit transformer, internal filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, high voltage ride through, low voltage ride through, multiple fault ride-through limitations, protection.
Convertidor en almacenamiento	Energy storage (battery, super capacitor)*, DC-DC converter, DC link, unit transformer, internal filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, high voltage ride through, low voltage ride through, multiple fault ride-through limitations, protection.
Power Plant Controller	Power plant controller, other coordinated control systems, reticulation network, static reactive support plant, dynamic reactive support plant, connection point transformers, transformer onload tap changer controllers.
Sistema HVDC	HVDC cable/line, IGBT switches/thyristors, PWM switching/firing pulses, AC and DC filters, link transformer, static reactive support plant, dynamic reactive support plant, transformer onload tap changer controllers, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, high voltage ride through, low voltage ride through, other coordinated control systems, multiple fault ride-through limitations, protection.
SVCs, STATCOM, ...	DC link componentry*, unit transformer, internal filters, external shunt devices and filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, power oscillation damping control, high voltage ride through, low voltage ride through, multiple fault ride-through limitations, protection.

Tipo de estudio	Estudios de interacción subsíncrona
Turbina eólica	Aerodynamics*, pitch controller*, mechanical drive train, torsional damping, electrical generator, dynamic breaking resistor / chopper, DC link, unit transformer, internal filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, high voltage ride-through, low voltage right through, multiple fault ride through, protection.
Inversor solar	DC-DC converter, DC link, unit transformer, internal filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, high voltage ride through, low voltage ride through, protection.
Convertidor en almacenamiento	DC-DC converter, DC link, unit transformer, internal filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, high voltage ride through, low voltage ride through, protection.
Power Plant Controller	Power plant controller, other coordinated control systems, reticulation network, static reactive support plant, dynamic reactive support plant, connection point transformers.
Sistema HVDC	HVDC cable/line, AC and DC filters, link transformer, static reactive support plant, dynamic reactive support plant, inner loop converter control, outer loop converter

control, phase locked loop, frequency control, high voltage ride through, low voltage ride through, other coordinated control systems, protection.

SVCs, STATCOM, ...	Unit transformer, internal filters, external shunt devices and filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, power oscillation damping control, high voltage ride through, low voltage ride through, protection.
--------------------	---

Tipo de estudio	Estudios de armónicos
Turbina eólica	Aerodynamics*, pitch controller*, mechanical drive train*, torsional damping*, electrical generator, dynamic breaking resistor / chopper, DC link, IGBT switches and PWM switching, unit transformer, internal filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control.
Inversor solar	DC-DC converter, DC link, IGBT switches, PWM switching, unit transformer, internal filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control.
Convertidor en almacenamiento	DC-DC converter, DC link, IGBT switches, PWM switching, unit transformer, internal filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control.
Power Plant Controller	Power plant controller*, other coordinated control systems*, reticulation network, static reactive support plant, dynamic reactive support plant, connection point transformers.
Sistema HVDC	HVDC cable/line, IGBT switches/thyristors, PWM switching/firing pulses, AC and DC filters, link transformer, static reactive support plant, dynamic reactive support plant, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, other coordinated control systems*.
SVCs, STATCOM, ...	Thyristor/IGBT switches, PWM switching/firing control, unit transformer, internal filters, external shunt devices and filters, inner loop converter control, outer loop converter control, phase locked loop, frequency control, power oscillation damping control.

Tipo de estudio	Estudios de transitorios de alta frecuencia
Turbina eólica	Electrical generator, DC link*, IGBT switches and PWM switching, unit transformer, internal filters, inner loop converter control*, outer loop converter control*, phase locked loop*, high voltage ride-through, protection.
Inversor solar	DC-DC converter*, DC link*, IGBT switches, PWM switching, unit transformer, internal filters, inner loop converter control*, outer loop converter control*, phase locked loop*, high voltage ride through, protection.
Convertidor en almacenamiento	DC-DC converter*, DC link*, IGBT switches, PWM switching, unit transformer, internal filters, inner loop converter control*, outer loop converter control*, phase locked loop*, high voltage ride through, protection.
Power Plant Controller	Reticulation network, static reactive support plant, dynamic reactive support plant, connection point transformers.

Sistema HVDC	HVDC cable/line, IGBT switches/thyristors*, PWM switching/firing pulses*, AC and DC filters, link transformer, static reactive support plant, dynamic reactive support plant, inner loop converter control*, outer loop converter control*, phase locked loop*, high voltage ride through, protection.
SVCs, STATCOM, ...	Thyristor/IGBT switches, PWM switching/firing control, unit transformer, internal filters, external shunt devices and filters, inner loop converter control*, outer loop converter control*, phase locked loop*, power oscillation damping control, high voltage ride through, protection.

2.2 Requisitos al funcionamiento del modelo

Los requisitos al funcionamiento del modelo EMT incluyen aquellos requisitos que son necesarios para que el modelo funcione de forma correcta cuando el operador del sistema realice estudios de seguridad del sistema:

- El modelo EMT ha de tener las opciones de control pertinentes accesibles para el usuario (umbrales de protección ajustables, rampas de recuperación de energía reales, etc). Además, los indicadores de diagnóstico (por ejemplo, indicadores para mostrar cambios en el modo de control o qué protección se ha activado) deben ser accesibles para facilitar el análisis y se deben identificar claramente, a través de la escritura de mensajes durante la ejecución de la simulación, las causas por las que se produce “un disparo” del modelo durante las simulaciones.
- El modelo EMT debe permitir establecer antes de la ejecución de la simulación la activación de los sistemas de protección de la instalación. El modelo ha de permitir habilitar y deshabilitar el modelo de protecciones, aunque el comportamiento del modelo con las protecciones deshabilitadas puede que no se corresponda con las capacidades reales de la instalación.
- El modelo EMT ha de aceptar valores de referencia externos que pueden ser valores de referencia de potencia activa, reactiva (para modos de control de Q), factor de potencia (para modos de control de factor de potencia) o valores de referencia de tensión (para modos de control de V). El modelo ha de permitir habilitar y deshabilitar los diferentes modos de control de tensión conforme a la normativa que a la instalación le sea de aplicación.
- Todas las señales eléctricas, mecánicas, de control y protección relevantes para los análisis EMT en el punto de conexión a la red deben estar disponible en el modelo EMT. Todos los ajustes del sistema de control de la instalación que sean relevantes para el análisis EMT y que puedan cambiar de forma local o remota deben aparecer como parámetros accesibles en el modelo de simulación, al menos dentro de los rangos establecidos en la normativa que le sea de aplicación.
- Los modelos EMT deben permitir el acceso a las siguientes variables y parámetros como mínimo, que deben ser ajustables antes de la ejecución de la simulación, conforme a la normativa que le sea de aplicación:
 - todos los puntos de ajuste aplicables de la instalación: potencia activa, potencia reactiva, tensión, factor de potencia y frecuencia, que deben ser ajustables además durante la simulación;
 - banda muerta, estatismo, retrasos (incluidos los retrasos en la comunicación) y control externo lento para cualquier sistema de control aplicable, como control de frecuencia y tensión;
 - rampas para cambios en la potencia activa;
 - configuraciones de protección de tensión y frecuencia, como protección de sobretensión y subtensión y protección de sobrefrecuencia y subfrecuencia;
 - umbrales de activación y desactivación de funcionamiento por falta, incluyendo cualquier límite de operación por falta múltiple y niveles de histéresis;
 - ajustes de absorción e inyección de corriente activa y reactiva durante una falta;

- número de unidades de generación en servicio y planta de soporte de reactiva;
- Si hubiese necesidad de modificar alguna variable o parámetro en los rangos de funcionamiento establecidos en normativa siempre se hará en coordinación con el titular de la instalación y fabricante.
- Las salidas del modelo EMT han de ser, al menos, las siguientes variables:
 - Valor instantáneo y eficaz de la corriente en terminales y en barras de central.
 - Valor instantáneo y eficaz de la tensión en terminales y en barras de central.
 - Potencia activa en terminales y en barras de central.
 - Potencia reactiva en terminales y en barras de central.
 - Corriente activa y reactiva en terminales y en barras de central.
 - Tensión en secuencia negativa en terminales y en barras de central.
 - Corriente de secuencia negativa en terminales y en barras de central.
 - Magnitud de tensión en terminales y en barras de central.
 - Ángulo de tensión en terminales y en barras de central.
 - Frecuencia en terminales, en barras de central y a la salida del controlador de planta.
 - Salida de la phase lock loop (PLL), ángulo y frecuencia, en su caso, medida donde la PLL sea implementada.
- En función de la naturaleza del incidente el operador del sistema podrá requerir salidas del modelo EMT adicionales.
- El modelo EMT ha de ser válido para el rango de frecuencia de 0,2Hz a 2500 Hz.
- El modelo EMT debe inicializar en un máximo de 5 segundos de tiempo de simulación.
- El modelo EMT no debe presentar transitorios significativos para todas las variables eléctricas y/o mecánicas relevantes durante la inicialización para así favorecer la integración del modelo EMT.
- El modelo EMT ha de ser numéricamente estable en todo el rango de valores de SCR (short circuit ratio que se define como la relación entre la potencia de cortocircuito en MVA en el punto de conexión de la instalación y la capacidad máxima en MW) y X/R en el punto de conexión en el que la instalación pueda operar de manera estable.
- El modelo EMT ha de ser capaz de funcionar con precisión con un paso de integración igual o superior a 10 μ s. Idealmente este valor ha de ser coherente con la frecuencia de conmutación de la planta. El modelo EMT ha de ser capaz de funcionar en un caso donde se utilicen diferentes pasos de integración en varios modelos, con el componente de la librería "intermediate" de PSCAD "Multi Rate".
- El modelo EMT debe crearse en PSCAD/EMTDC versión 5 o superior. La versión debe ser confirmada por el operador del sistema. Se recomienda que el modelo no dependa de una versión específica de PSCAD para ejecutarse.
- El modelo debe estar compilado con el compilador Intel Fortran versión 15 Update 4 o superior, y Microsoft Visual Studio 2015 o posterior, y debe ser compatible con 32 bits y 64 bits. Además, debe ser capaz de ejecutarse con otra versión del compilador Intel Fortran ya que el modelo no debería depender de una versión específica de Fortran para ejecutarse. Los modelos EMT compilados que requieran exclusivamente GNU FORTRAN para su ejecución no serán aceptados por el operador del sistema.
- El modelo EMT puede comprender partes pre-compiladas y encriptadas. Por motivos de confidencialidad de la información, el operador del sistema aceptará, durante toda la vida útil de la instalación, la remisión de modelos EMT y su documentación por parte de un tercero designado por el titular de la instalación (por ejemplo, un fabricante). Las actualizaciones del modelo y documentación no podrán suponer un coste al operador del sistema y se remitirán en un plazo inferior a 3 meses desde la solicitud del operador del sistema. El operador del sistema aceptará un plazo de entrega superior, acordado entre las partes, si se identifica que, por la naturaleza del estudio, es necesario más detalle del establecido en las tablas de tipología de estudio en el subapartado 2.1.1. o si existe un problema identificado y justificado por parte

del proveedor del modelo. El plazo de 2 meses mencionado en este párrafo aplica a partir del 1 de enero de 2025, en el periodo transitorio hasta la fecha el plazo de entrega se acordará entre las partes.

- Los modelos EMT no deben tener dependencias de otro software externo, es decir, el modelo durante su ejecución no hará llamadas a un software externo que genere datos o ficheros que sean usados por el modelo EMT en PSCAD. Los archivos .dll usados en PSCAD no se consideran software externo. Además, se permitirán la utilización de librerías compatibles con PSCAD que son de uso libre (por ejemplo, E-TRAN), de forma justificada siempre y cuando sea compatible con la versión específica de PSCAD requerida por el operador del sistema.
- Los modelos deben poder integrarse en simulaciones del sistema eléctrico. En caso de que resulten problemáticos para integrarse en estos casos de estudio, el responsable de la instalación, o en su caso el tercero (por ejemplo, un fabricante) propietario del modelo, debe comprometerse a rectificar el modelo para garantizar su correcta operabilidad en los estudios de sistema, si esto es requerido por el operador del sistema.
- El modelo EMT no debe mostrar una respuesta oscilatoria en el valor eficaz de la tensión superior a 0,1% en régimen permanente, tras la fase de inicialización, medido en barras de central.
- El modelo EMT debe ir acompañado de documentación de detalle que explique todas las funcionalidades, diagramas de control e información relevante para su uso e incorporación a los estudios de seguridad del sistema realizados por el operador del sistema.

2.3 Requisitos a la flexibilidad del modelo

Los requisitos a la flexibilidad del modelo EMT incluyen aquellos requisitos que son necesarios para que el modelo tenga la flexibilidad suficiente para que el operador del sistema pueda incorporarlos en sus estudios de seguridad:

- El modelo EMT debe permitir la parametrización de las principales variables de control y debe poder inicializarse en cualquier punto de operación de potencia activa, potencia reactiva y tensión en el que pueda funcionar la instalación.
- El modelo debe de ser capaz de inicializar en cualquier punto de operación e incluir reserva a subir, es decir, la potencia generada puede no corresponderse con la potencia disponible, sino que está será limitada a un valor de despacho.
- Las salidas del modelo EMT deben proporcionarse en unidades físicas, a menos que se acuerde lo contrario con el operador del sistema.
- El modelo EMT debe poder implementarse funcionalmente varias veces en el mismo archivo de simulación de PSCAD sin necesidad de realizar cambios significativos. Por lo tanto, debe ser posible utilizar el modelo EMT como varias "definiciones" o "instancias". Se recomienda tener todos los modelos de sistemas de control y planta contenidos en un solo caso de EMT, tener dependencias a un número mínimo de archivos externos y si el modelo tuviera dependencia de archivos externos los nombre de ser configurables.
- El modelo EMT ha de ser capaz de coexistir y funcionar correctamente en un caso donde el operador del sistema incorporará modelos de diferentes fabricantes. Los modelos no deben interferir con otras variables de otros modelos que se usen en el mismo caso de estudio. Este aspecto será evaluado por el operador del sistema, y si se identifica algún problema de este tipo será necesaria su resolución de la manera que disponga el operador del sistema (reunión o correo electrónico) siempre respetando la confidencialidad de la información y los modelos.
- El modelo EMT debe admitir el uso de la función "snapshot" de PSCAD, es decir, es imprescindible que el modelo dé la misma respuesta con y sin el uso de la función de snapshot.

3 Condiciones de validación y aceptación de los modelos EMT

Las condiciones de validación y aceptación recogidas en este epígrafe aplican a los modelos EMT entregados al operador del sistema a requerimiento de la normativa vigente sobre intercambio de información con el operador del sistema. Por motivos de confidencialidad de la información, el operador del sistema aceptará la remisión de los modelos y de la información adjunta por parte de un tercero, designado por el titular de la instalación (por ejemplo, un fabricante, una ingeniería, etc).

3.1 Entrega del modelo EMT. Memoria descriptiva

El modelo EMT entregado deberá ir acompañado de una memoria descriptiva del modelo que contenga:

- Lista de verificación (checklist) que indique que se cumplen las condiciones descritas en los epígrafes anteriores sobre requisitos de los modelos EMT.
- Lista de los archivos entregados necesarios para la ejecución del modelo EMT con una descripción breve.
- Diagramas de bloques donde se puedan identificar los parámetros del modelo para entender el funcionamiento de los controles del modelo y los ajustes implicados en los estudios a realizar.
- Especificación de los parámetros del modelo mostrando los valores por defecto y el rango en el que pueden variar, proporcionando un valor máximo y mínimo orientativos para cada uno de los parámetros donde sea posible definir un rango. Esta lista deberá incluir la referencia a la versión de software implementado en la instalación real.
- Guía descriptiva de cómo usar el modelo y de cómo el modelo de la instalación puede ser incluido en la red de estudio del operador del sistema, incluyendo una guía de interpretación de mensajes de error y resolución de problemas, y explicación en detalle las limitaciones del modelo EMT. La documentación debe indicar el rango de paso de integración para el que el modelo EMT es válido, así como el valor mínimo de diseño de corriente de cortocircuito para el que el modelo EMT y la instalación pueden funcionar de manera estable, proporcionando el valor como “short circuit ratio” (SCR).
- Se aportará un informe de validación del modelo EMT frente a las pruebas que se describen en subapartado 3.2.1 y además este informe mostrará las simulaciones del modelo EMT donde se muestren gráficamente en el dominio del tiempo, la evolución de las principales variables eléctricas obtenidas de la respuesta a simulaciones en PSCAD para modelos EMT como se detalla en el subapartado 3.2.2.
- El modelo EMT será aceptado una vez el operador del sistema haya comprobado la documentación entregada y su correcto funcionamiento en el entorno de PSCAD.

3.2 Propuesta de informe de validación del modelo EMT

La siguiente propuesta de informe de validación del modelo EMT tiene como objetivo tanto comprobar la representatividad del comportamiento de la instalación, considerando su precisión (validación), como la robustez (informe de simulaciones) de los modelos para diferentes puntos de operación, que serán usados para el análisis de seguridad y fiabilidad del sistema eléctrico por el operador del sistema.

3.2.1 Validación del modelo EMT frente a pruebas

El informe de validación del modelo EMT frente a pruebas se podrá realizar para toda la instalación de generación o HVDC donde se admitirán las pruebas en campo realizadas o las realizadas en instalaciones HIL (hardware in the loop) definidas según la norma IEC 61400-21 considerando los parámetros de la instalación en campo. También, se admitirá que la validación la realice el fabricante a nivel de modelo de equipo o a nivel de instalación genérica donde se muestren los ensayos descritos en este epígrafe. Y se admitirán las

validaciones que hayan sido realizadas siguiendo los procedimientos descritos por los operadores del sistema de Australia y Texas.

Las siguientes variables eléctricas han de ser proporcionadas en el informe de validación para así evaluar las respuestas obtenidas con PSCAD frente a resultados de pruebas:

- Potencia activa en terminales y en barras de central.
- Potencia reactiva en terminales y en barras de central.
- Corriente activa y reactiva en terminales y en barras de central.
- Corriente de secuencia negativa en terminales y en barras de central.
- Tensión en terminales y en barras de central.
- Ángulo de tensión en terminales y en barras de central.
- Frecuencia en terminales y en barras de central.

Las simulaciones que se requieren en el informe de validación frente a pruebas son las siguientes:

- Una comparación para un hueco de tensión.
 - Falta trifásica a tierra con una duración de falta de 100 ms y tensión residual de 0,1 pu en el punto de conexión de la instalación.
 - Falta trifásica a tierra con una duración de falta de 500 ms y tensión residual de 0,7 pu en el punto de conexión de la instalación.
 - El operador del sistema podrá admitir las simulaciones y pruebas de huecos de tensión que puedan ser diferentes a las anteriores pero que se hayan realizado siguiendo los procedimientos nacionales, aunque se modifique la duración de la falta y la tensión residual, siempre que no se desvirtúe el objetivo de la validación del modelo EMT.
- Una comparación para una perturbación de frecuencia, emulando la frecuencia de la red.
 - Prueba de respuesta frente a rampas de frecuencia en el punto de conexión de ± 2 Hz/s.
- Una comparación para una perturbación tensión.
 - Prueba de respuesta frente a escalones de cambio de consigna en la magnitud de tensión de red en el punto de conexión de $\pm 10\%$.

3.2.2 Simulaciones del modelo EMT

El informe de simulaciones del modelo EMT mostrará gráficamente en el dominio del tiempo, la evolución de las principales variables eléctricas obtenidas de la respuesta a simulaciones en PSCAD para modelos EMT. La representación gráfica en el dominio del tiempo de la evolución de las variables eléctricas deberá abarcar una ventana temporal que muestre que se alcanza el régimen permanente tras la perturbación.

Además, esta parte del informe de simulación del modelo EMT permite asegurar que el modelo cumple con los requisitos desarrollados en el apartado 2 y permitirá al operador del sistema realizar los análisis de seguridad y fiabilidad del sistema eléctrico.

El banco de ensayo para realizar todas las simulaciones es el mostrado en la Figura 1.

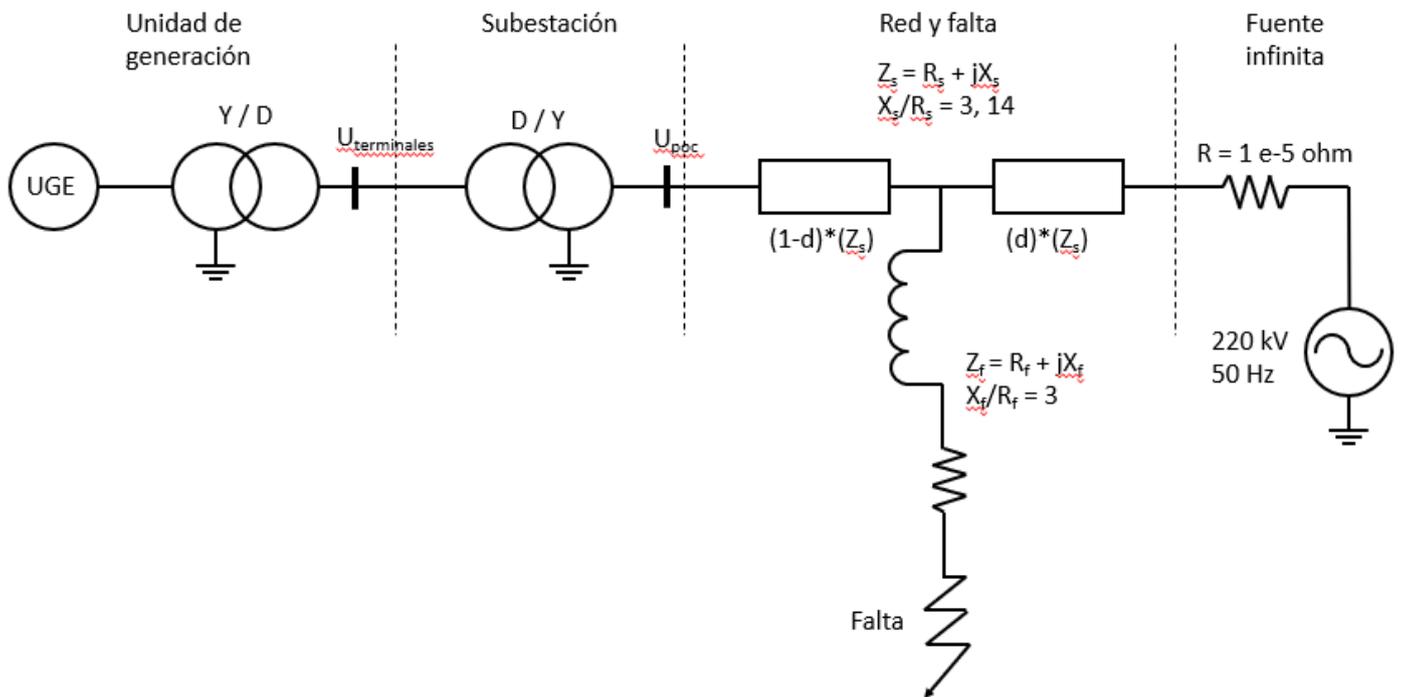


Figura 1. Banco de pruebas.

La tensión residual, U_{dip} , puede calcularse en función de la impedancia de falta, Z_f , de la impedancia del sistema, Z_s , y de la tensión de la fuente, V_s , como:

$$U_{dip} = V_s \cdot \frac{Z_f}{d \cdot Z_s + Z_f}$$

Asumiendo $V_s = 1 \text{ pu}$ y $d = 1$, se puede calcular la impedancia de falta, Z_f , como:

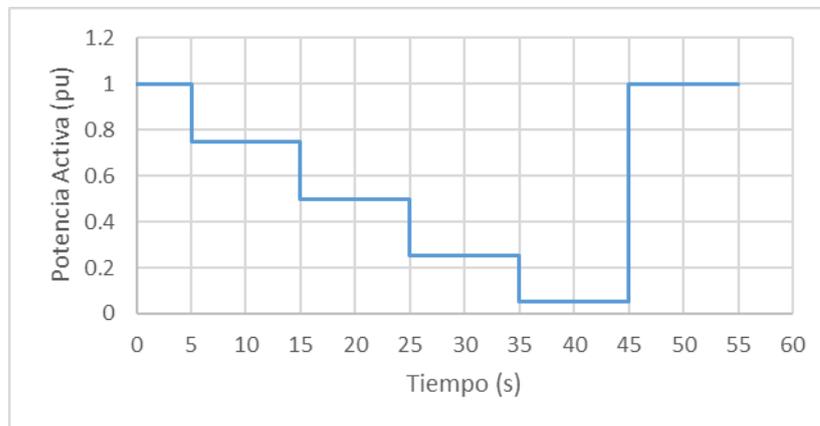
$$Z_f = Z_s \cdot \frac{U_{dip}}{1 - U_{dip}}$$

Las siguientes variables eléctricas han de ser proporcionadas en el informe de simulaciones del modelo EMT para así evaluar las respuestas obtenidas:

- Potencia activa en terminales y en el punto de conexión de la instalación.
- Potencia reactiva en terminales y en el punto de conexión de la instalación.
- Corriente activa y reactiva en terminales y en el punto de conexión de la instalación.
- Tensión en secuencia negativa en terminales y en el punto de conexión de la instalación.
- Corriente de secuencia negativa en terminales y en el punto de conexión de la instalación.
- Magnitud de tensión en terminales y en el punto de conexión de la instalación.
- Ángulo de tensión en terminales y en el punto de conexión de la instalación.
- Frecuencia en terminales, en el punto de conexión de la instalación y a la salida del controlador de planta.
- Puntos de operación aplicables en el que se realiza cada prueba.
- Salida de la phase lock loop (PLL), ángulo y frecuencia, en su caso, medida donde la PLL sea implementada.

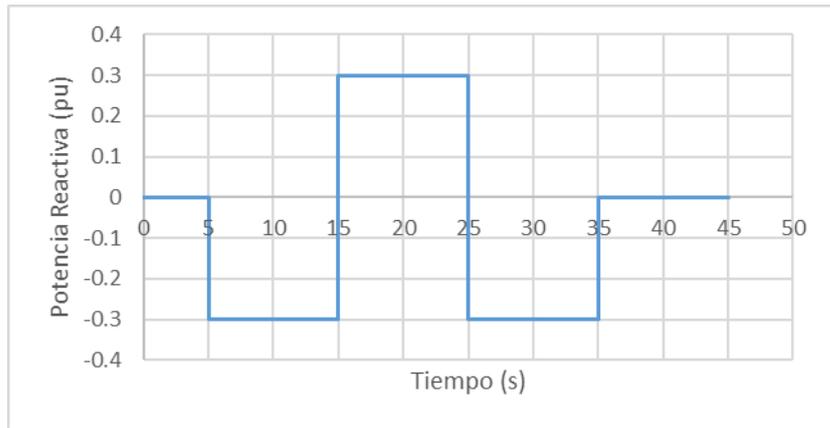
Las simulaciones al modelo que se piden realizar en el informe de simulaciones del modelo EMT son las siguientes:

- Simulaciones de faltas:
 - Falta trifásica a tierra con una duración de falta de 100 ms y tensión residual de 0 pu en el punto de conexión de la instalación.
 - Falta trifásica a tierra con una duración de falta de 500 ms y tensión residual de 0,7 pu en el punto de conexión de la instalación.
 - Falta monofásica a tierra con una duración de falta de 100 ms y tensión residual de 0 pu en el punto de conexión de la instalación.
 - Falta monofásica a tierra con una duración de falta de 700 ms y tensión residual de 0,7 pu en el punto de conexión de la instalación.
 - Falta bifásica a tierra con una duración de falta de 100 ms y tensión residual de 0 pu en el punto de conexión de la instalación.
 - Falta bifásica a tierra con una duración de falta de 500 ms y tensión residual de 0,7 pu en el punto de conexión de la instalación.
 - Falta bifásica sin tierra con una duración de falta de 2 s y tensión residual de 0 pu en el punto de conexión de la instalación.
 - Finalmente, se requiere una prueba de operación estable con el valor de SCR mínimo declarado en la memoria descriptiva (subapartado 3.1). De todas las simulaciones de faltas indicadas en la lista anterior, se seleccionará una falta trifásica y otra desequilibrada (monofásica o bifásica) para verificar el funcionamiento estable requerido.
- Simulaciones de perturbaciones¹ sin aplicación de falta:
 - Prueba de inicialización plana.
 - Prueba de respuesta ante escalones de cambio de consigna de potencia activa.

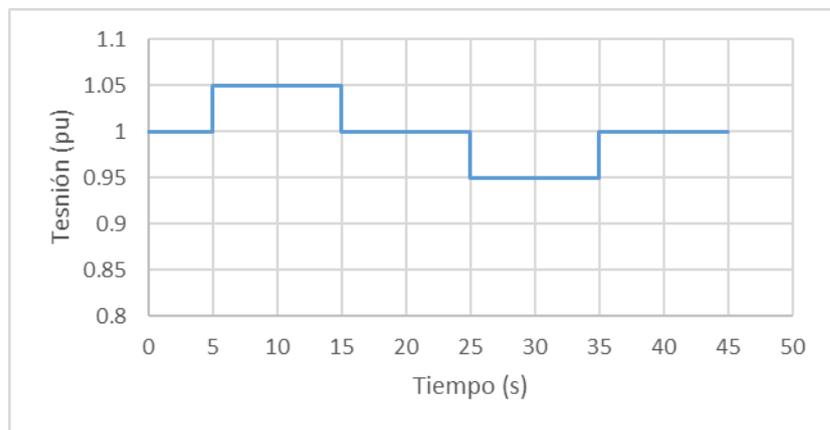


- Prueba de respuesta ante escalones de cambio de consigna de potencia reactiva y/o factor de potencia.

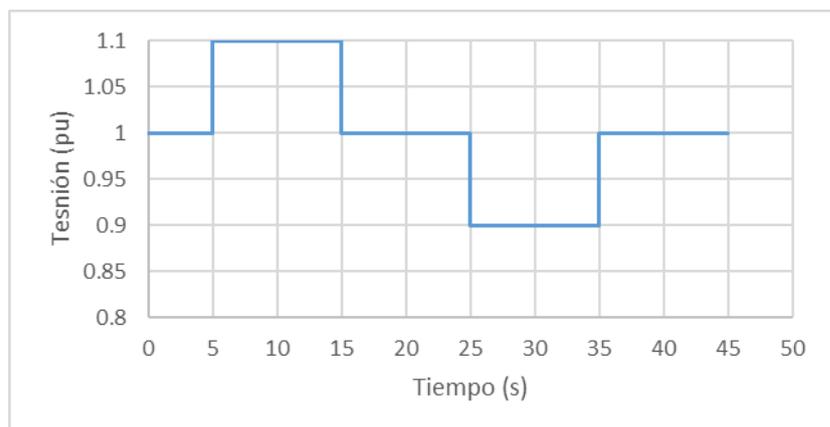
¹ Los tiempos en los que se produce el cambio de consigna pueden ser modificados en cada estudio, ya que el cambio de consigna sólo se realizará tras alcanzar el régimen permanente y no antes.



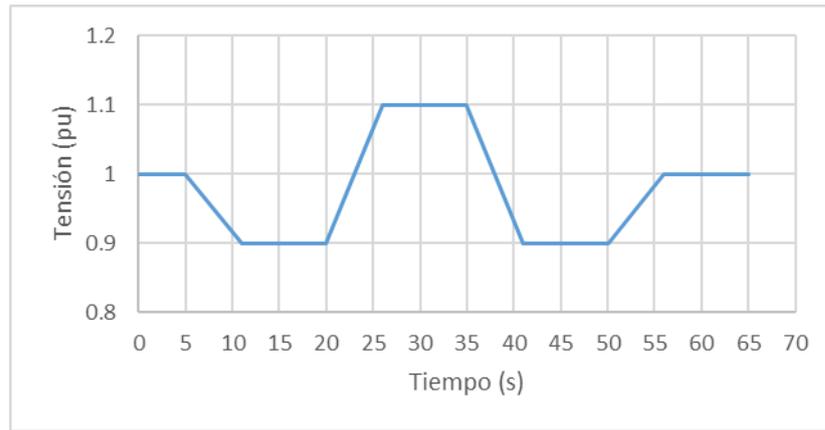
- Prueba de respuesta frente a escalones de cambio de consigna de tensión de 5%.



- Prueba de respuesta frente a escalones en la magnitud de tensión de red en el punto de conexión de 10%.



- Prueba de respuesta frente a rampas de la magnitud de tensión de red en el punto de conexión, la rampa se realiza sobre 6 segundos.



- Prueba de respuesta frente a rampas crecientes y decrecientes de frecuencia desde 50Hz en el punto de conexión del valor máximo establecido en la normativa que le es de aplicación en Hz/s.
- Prueba de respuesta frente a escalones crecientes y decrecientes en el ángulo de tensión de red desde 0° en el punto de conexión del valor máximo establecido en la normativa que le es de aplicación en °.

Las simulaciones deben realizarse con un paso de integración de 10 μ s en PSCAD. Si se utiliza pasos de integración inferiores a este, el paso de integración debe ser justificado y mostrar evidencia de porqué otro intervalo superior al deseado no muestra el mismo nivel de precisión.

Las simulaciones se realizarán para valores de potencia activa de 1 pu y 0,05 pu. En el caso de que el mínimo técnico de la instalación sea superior a la potencia activa de 0,05 pu, las simulaciones correspondientes a la potencia activa de 0,05 pu se realizarán para el valor del mínimo técnico. En el caso de las simulaciones de faltas los valores de potencia reactiva tomarán los siguientes valores -0,3 pu, 0 pu y 0,3 pu, y en el caso de simulaciones de perturbaciones sin falta se realizarán para valores de potencia reactiva de 0 pu. En el caso de la prueba de inicialización plana se realizará para un valor de potencia activa de 1 pu y potencia reactiva de 0 pu.

Las simulaciones se realizarán para valores de SCR = 10 y el valor mínimo declarado y valores de X/R = 14 y 3, y las posibles combinaciones entre ellos.

Se aclara que la realización de las simulaciones requeridas como parte del informe de simulaciones del modelo EMT no supondrán exigencias de capacidades técnicas más allá de los requisitos de conexión aplicables a la instalación según la normativa que les aplique.

En el informe de simulaciones del modelo EMT se justificará de forma razonada posibles disparos que se hayan producido en la simulación, relacionados con condiciones simuladas más allá de las capacidades exigibles en los requisitos de conexión de la instalación.

red eléctrica
Una empresa de Redeia