

**PROCEDIMIENTOS DE VERIFICACIÓN, VALIDACIÓN Y  
CERTIFICACIÓN PARA LOS REQUISITOS DEL P.O. 12.3 Y  
P.O.12.2 SENP SOBRE LA RESPUESTA DE LAS  
INSTALACIONES EÓLICAS Y FOTOVOLTAICAS ANTE HUECOS  
DE TENSIÓN**

**Versión 12**

**18 de Septiembre de 2024**

## ÍNDICE

1. OBJETO .....	4
2. CAMPO DE APLICACIÓN .....	4
3. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS .....	5
4. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN .....	11
4.1. PROCESO GENERAL DE VERIFICACIÓN .....	13
4.2. PROCESO PARTICULAR DE VERIFICACIÓN .....	14
4.3. AEROGENERADOR TIPO .....	14
4.4. PARQUE EÓLICO TIPO.....	16
4.5. PARQUES MIXTOS.....	18
5. ENTIDADES DE VERIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN .....	19
5.1. EL COMITÉ TECNICO DE VERIFICACIÓN .....	19
5.2. EL CERTIFICADOR ACREDITADO: FUNCIONES.....	19
6. PROCESO DE ENSAYO.....	21
6.1. EQUIPO DE ENSAYO .....	21
6.2. ENSAYO DE AEROGENERADORES .....	23
6.2.1. Condiciones del ensayo para validación de modelo .....	24
6.2.2. Condiciones de ensayo para cumplimiento directo del P.O.12.3. Proceso Particular.....	25
6.3. ENSAYO DE FACTS .....	27
7. PROCESO DE VALIDACIÓN DE MODELOS .....	30
7.1. MODELO DE AEROGENERADOR .....	30
7.2. MODELO DE FACTS .....	31
7.3. CRITERIOS DE VALIDACIÓN .....	31
8. PROCESO DE SIMULACIÓN DE PARQUES EÓLICOS .....	33
8.1. TOPOLOGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO .....	33
8.1.1. Parque eólico y dispositivos FACTS.....	33
8.1.2. Transformador MT/AT.....	34
8.1.3. Línea de evacuación .....	34
8.2. RED ELÉCTRICA EQUIVALENTE PENINSULAR .....	35
8.2.1. Datos de los nudos y elementos pasivos del equivalente de red .....	36
8.2.2. Datos de los generadores síncronos y su sistema de excitación .....	37
8.2.3. Potencias de carga .....	38
8.2.4. Reactancia de falta.....	39
8.3. EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA ANTE HUECOS DE TENSIÓN PARA SIMULACIÓN .....	41
9. TÉCNICAS DE MEDIDA .....	45
9.1. CARACTERIZACIÓN DE ZONAS DURANTE EL HUECO .....	45
9.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE POTENCIAS .....	46
10. REFERENCIAS .....	50

ANEXO I: MODELO DE INFORME .....	51
ANEXO II: VALORES TÍPICOS DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN GENERADOR ASÍNCRONO DE JAULA DE ARDILLA DE POTENCIA DEL ORDEN DEL MEGAVATIO .....	56
ANEXO III: INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS .....	58
1 INTRODUCCIÓN.....	58
2 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS ESPECÍFICAS .....	58
3 ESTRUCTURA DE CERTIFICACIÓN .....	59
4 PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN .....	59
4.1 PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN PARA SCFV DEL TIPO INVERSOR .....	60
4.2 PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN PARA SCFV QUE INCLUYAN FACTS.....	61
5 PROCESO DE ENSAYOS .....	62
5.1 CIRCUITO DE ENSAYO.....	62
5.1.1 Requerimientos de la alimentación DC .....	62
5.1.2 Requerimientos del generador de huecos de tensión.....	62
5.2 ENSAYO DE SCFV ANTE HUECOS DE TENSIÓN.....	63
5.3 CRITERIOS DE VALIDACIÓN DE ENSAYO .....	65
6 MODELO DE INFORME DE ENSAYOS .....	67
7 MODELO DE INFORME DE INSPECCIÓN DE LA INSTALACIÓN .....	72
ANEXO IV: PROCEDIMIENTO DE CERTIFICACIÓN REQUISITOS P.O.12.2 SENP .....	73
1. REQUERIMIENTOS DE CUMPLIMIENTO DEL PO 12.2 SENP .....	73
2. CONDICIONES DE ENSAYO PARA CUMPLIMIENTO DIRECTO DEL P.O.12.2. SENP. PROCESO PARTICULAR. ....	76
3. ENSAYO DE FACTS .....	78
4. RED ELECTRICA EQUIVALENTE SISTEMAS ELECTRICOS NO PENINSULARES.....	81
4.1. Datos de los nudos y elementos pasivos del equivalente de red .....	82
4.2. Generación a probar mediante simulación .....	86
4.3. Flujo de cargas inicial.....	86
4.4. Inicialización de la simulación dinámica.....	87
4.5. Simulación dinámica .....	88

## 1. OBJETO

El objeto de este documento es proporcionar un procedimiento de medida y evaluación de la respuesta de las instalaciones eólicas y fotovoltaicas ante huecos de tensión. Este procedimiento debe asegurar la uniformidad de los ensayos y simulaciones, la precisión en las medidas y la evaluación de la respuesta de los parques eólicos y fotovoltaicos ante huecos de tensión. Los requisitos de respuesta ante huecos son los especificados en el Procedimiento de Operación 12.3 y el Procedimiento de Operación 12.2 SENP<sup>1</sup>.

## 2. CAMPO DE APLICACIÓN

Los huecos de tensión son caídas bruscas de la tensión causadas fundamentalmente por faltas en la red. Los huecos de tensión son sucesos de naturaleza aleatoria y pueden caracterizarse por la magnitud de la tensión durante el hueco y por su duración. Una falta, además, puede provocar un salto de fase en la onda de tensión. Por tanto, pueden especificarse diferentes tipos de huecos para evaluar la respuesta de una instalación eólica.

Este documento comprende:

- Los procesos de ensayo y medida de la respuesta individual de un aerogenerador o dispositivo FACTS ante huecos de tensión.
- Los procesos de validación de modelos informáticos de aerogeneradores o dispositivos FACTS en base a las medidas registradas en los ensayos en campo.
- Los procesos de verificación de la conformidad de las instalaciones eólicas y fotovoltaicas con los requisitos de respuesta indicados en el Procedimiento de Operación 12.3 y el Procedimiento de Operación 12.2 SENP.

Los informes correspondientes a cada uno de los procesos indicados anteriormente, sólo podrán ser emitidos por laboratorios acreditados conforme a la norma ISO/IEC 17025 o entidades de certificación acreditadas conforme a la norma UNE-EN ISO/IEC 17065.

Estos informes verificados serán la base técnica que permitirá al Ministerio de Industria, Energía y Turismo, o cualquier entidad en la que delegue, decidir si el propietario de una instalación eólica y/o fotovoltaica puede percibir la correspondiente autorización del punto de conexión al certificar el cumplimiento relativo a la continuidad de suministro frente a huecos de tensión.

Con objeto de supervisar y seguir el cumplimiento de este Procedimiento se propone la creación de un Comité Técnico de Verificación (CTV) cuyas funciones específicas se indican en punto 5.1 de este documento.

---

<sup>1</sup> PO 12.2 Sistemas Eléctricos No Peninsulares. 16 de Febrero 2018

En lo que respecta a la compatibilidad del procedimiento de verificación, validación y certificación establecido en este documento con las vigentes normas técnicas de supervisión (NTS V2.1 y NTS SENP V1.1), asociadas al Reglamento UE 2016/631, a la Orden TED 749/2020 y al RD 647/2020, o versiones posteriores de estas normas técnicas de supervisión sin afcción sobre el apartado 5.11 de las mismas, para todas aquellas instalaciones a las que no les sea de aplicación normativamente la certificación conforme a lo establecido en las normas técnicas de supervisión, a todos los efectos, el CTV acuerda que,

- Aquellas máquinas e inversores a las que sea de aplicación el Procedimiento de Operación 12.3, en lugar de realizar la certificación del hueco de tensión por el procedimiento establecido en este documento, pueden optar por la certificación de hueco de tensión de la UGE (unidad de generación de electricidad) establecida en el apartado 5.11 de la NTS, en el caso de Módulos de Parque Eléctrico conectados en el sistema eléctrico peninsular español, y por la certificación del hueco de tensión de la UGE establecida en el apartado 5.11 de la NTS SENP, en el caso de Módulos de Parque Eléctrico conectados en los sistemas eléctricos de los territorios no peninsulares.
- Aquellas máquinas e inversores a las que sea de aplicación el Procedimiento de Operación 12.2 SENP (sistemas eléctricos de los territorios no peninsulares) en lugar de realizar la certificación del hueco de tensión por el procedimiento establecido en este documento, pueden optar por la certificación del hueco de tensión de la UGE establecida en el apartado 5.11 de la NTS SENP.

El certificador autorizado verificará que las UGE se instalen con un firmware que garantice el cumplimiento con el hueco de tensión correspondiente al certificado.

### 3. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

En este documento se aplican las siguientes definiciones aplicables a eólica y generales, las relativas a la fotovoltaica se encuentran en el Anexo III donde se abordan los requisitos para esta tecnología

**Aerogenerador:** sistema de conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica.

Nota – el aerogenerador incluye la turbina eólica, el sistema de transmisión mecánica, el generador eléctrico, el sistema de control y todos los sistemas de potencia de que conste (que puede incluir convertidores electrónicos, sistemas de compensación de reactiva, transformador, etc.).

**Bornes del aerogenerador:** punto del aerogenerador identificado por el suministrador como el punto para conectar el aerogenerador al sistema colector de potencia (IEC 61400-21).

**Certificador acreditado:** entidad pública o privada, con personalidad jurídica propia, que disponga de acreditación concedida por una entidad acreditadora que forme parte de un acuerdo de reconocimiento al efecto de acuerdo a la norma UNE-EN ISO/IEC 17065, para la certificación de la conformidad de instalaciones eólicas con los requisitos de respuesta indicados en el Procedimiento de Operación 12.3 y/o el Procedimiento de Operación 12.2 SENP.

**Comité técnico de verificación:** agrupación de representantes de los diferentes agentes que participan en la ejecución y operación de proyectos eólicos y cuya misión es supervisar y seguir el cumplimiento del presente procedimiento.

**Componente fundamental:** componente cuya frecuencia es la fundamental (IEC 61000-4-30).

**Configuración de parque:** características eléctricas del parque que definen su comportamiento dentro de la red. Se incluyen los aerogeneradores, las líneas (aéreas o subterráneas), los transformadores y cualquier otro elemento que tenga influencia sobre el comportamiento eléctrico del parque.

**Continuidad de suministro de un aerogenerador durante un hueco de tensión:** capacidad de un aerogenerador de permanecer acoplado al Sistema Eléctrico durante un hueco de tensión, cumpliendo el Procedimiento de Operación 12.3 y/o el Procedimiento de Operación 12.2 SENP.

**Corriente nominal de un aerogenerador ( $I_n$ ):** corriente de línea del aerogenerador cuando funciona a la potencia nominal con tensión y frecuencia nominal.

**Corriente reactiva de un aerogenerador:** corriente reactiva neta ( $I_r$ ) obtenida cada periodo como:

$$I_r = I^+ \cdot \text{sen}(\varphi)$$

Donde:

$I^+$  es el módulo de la componente fundamental de secuencia positiva de la corriente

$\varphi$  ángulo existente entre la componente fundamental de secuencia positiva de la tensión y de corriente

**Corriente total:** corriente neta  $I_{tot}$  obtenida cada periodo como:

$$I_{tot} = I^+$$

donde:

$I^+$  es el módulo de la componente fundamental de secuencia positiva de la corriente

**Dispositivo FACTS (Flexible AC Transmission Systems):**

Sistema basado en dispositivos de electrónica de potencia y otros dispositivos estáticos cuya finalidad es mejorar el control de los sistemas eléctricos de transporte en corriente alterna y mejorar su capacidad de transmisión de potencia. Este dispositivo puede emplearse para compensar los efectos de los huecos de tensión en las instalaciones eléctricas. En este documento se emplea este término para designar un equipo electrónico instalado en un aerogenerador, parque, o en el punto de la conexión a la red de un parque.

Nota – para este fin pueden encontrarse en el mercado diferentes soluciones, como por ejemplo, restauradores dinámicos de tensión (DVR), compensadores síncronos estáticos (STATCOM), compensadores de potencia reactiva estáticos (SVC), etc.

**Duración de hueco:** en un sistema trifásico un hueco comienza cuando la tensión  $U_{ef(1/4)}$  de una de las fases cae por debajo del umbral de hueco y se termina cuando la tensión  $U_{ef(1/4)}$  en todos los canales medidos es igual o superior al umbral de hueco (IEC 61000-4-30).

**Energía activa neta:** energía activa obtenida a partir de la integración numérica de la potencia activa en un período de tiempo dado

**Energía reactiva neta:** energía reactiva obtenida a partir de la integración numérica de la potencia reactiva en un período de tiempo dado

**Hueco de tensión:** reducción temporal de la tensión en un punto de la red de energía eléctrica por debajo del umbral de hueco (IEC 61000-4-30).

Nota 1: Típicamente, un hueco está asociado a la ocurrencia y terminación de un cortocircuito en la red.

Nota 2: Un hueco de tensión es una perturbación electromagnética caracterizada por dos parámetros, la tensión y duración del hueco. Además, una falta puede producir un salto de fase en la onda de tensión, pero su caracterización es más compleja porque depende de la relación entre el ángulo de la impedancia de red y el ángulo de la impedancia de la falta.

**Laboratorio acreditado:** entidad que disponga de acreditación de acuerdo a la norma UNE EN ISO/IEC 17025, para la realización de ensayos en campo de aerogeneradores y/o FACTS, o para la validación de modelos informáticos de aerogeneradores o dispositivos FACTS en base a las medidas registradas en los ensayos en campo, concedida por ENAC o por cualquier otro acreditador con el que ENAC tenga firmado un acuerdo de reconocimiento mutuo.

**Laboratorio avalado:** institución que cumple con los requisitos fijados por el certificador acreditado para la realización únicamente de simulaciones de parques eólicos requeridas en este documento y recibe el correspondiente aval por parte de este certificador acreditado.

**Módulo de parque eléctrico:** una unidad o un conjunto de unidades que genera electricidad, que está conectado de forma no síncrona a la red, o que está conectado mediante electrónica de potencia, y que además dispone de un solo punto de conexión a una red de transporte, una red de distribución, incluidas las redes de distribución cerradas, o un sistema HVDC;

**Parque eólico:** agrupación de uno o varios aerogeneradores en un emplazamiento determinado con un solo punto de conexión a la red eléctrica que disponga de autorización de puesta en servicio.

Nota – un parque eólico está constituido por aerogeneradores, las líneas eléctricas que los interconectan y la subestación transformadora para la conexión del parque eólico a una red de transporte o distribución de energía eléctrica, con todos los sistemas de potencia de que conste hasta el punto de conexión a red (transformadores, sistemas de compensación de reactiva, FACTS, etc.).

**Potencia activa neta fundamental:** potencia activa obtenida cada periodo como:

$$P = 3 \cdot U^+ \cdot I^+ \cdot \cos(\varphi)$$

donde:

$U^+$  es el módulo de la componente fundamental de secuencia positiva de la tensión

$I^+$  es el módulo de la componente fundamental de secuencia positiva de la corriente

$\varphi$  ángulo existente entre la componente fundamental de secuencia positiva de la tensión y de corriente

**Potencia aparente nominal de un aerogenerador:** potencia aparente de un aerogenerador, cuando funciona a la potencia nominal con tensión y frecuencia nominal. (IEC 61400-21)

**Potencia reactiva nominal de un aerogenerador:** potencia reactiva trifásica ( $Q_n$ ) cuando funciona a la potencia asignada con tensión y frecuencia nominal.

**Potencia reactiva neta fundamental:** potencia reactiva obtenida cada periodo como:

$$Q = 3 \cdot U^+ \cdot I^+ \cdot \sen(\varphi)$$

donde:

$U^+$  es el módulo de la componente fundamental de secuencia positiva de la tensión

$I^+$  es el módulo de la componente fundamental de secuencia positiva de la corriente

$\varphi$  ángulo existente entre la componente fundamental de secuencia positiva de la tensión y de corriente



**Potencia nominal registrada de un aerogenerador:** potencia activa declarada ( $P_n$ ) que el aerogenerador puede suministrar en sus bornes en condiciones normales de funcionamiento.

**Promotor o empresa generadora:** será la entidad jurídica propietaria de una instalación eólica, o en quien delegue, que será sometida al proceso de verificación.,

**Punto de conexión a red:** nudo de la Red de Transporte o de la Red de Distribución donde se evacua la producción de la instalación de generación.

**Punto de ensayo:** cualquier punto entre los bornes del elemento a ensayar y el punto de conexión a la red, y que incluya el mismo o menor número de elementos equivalentes a los contenidos en un parque eólico (transformador de subestación, transformador elevador del elemento a ensayar, líneas de media y alta tensión)

**Sistema colector de potencia de un aerogenerador:** sistema eléctrico que toma la energía producida por un aerogenerador y la suministra a una red de transporte o distribución de energía eléctrica (IEC 61400-21).

**Tensión de referencia ( $U_{ref}$ ):** umbral de tolerancia de  $U_{res}+3\%$ , para garantizar que no existen solapamientos entre las zonas definidas en el P.O.12.3 y/o P.O.12.2 SENP, permitiendo determinar los consumos de potencia activa y reactiva.

**Tensión eficaz actualizada cada cuarto de período ( $U_{ef(1/4)}$ ):** valor de la tensión eficaz medida en un período, y actualizada cada cuarto de ciclo (IEC 61000-4-30).

**Tensión nominal de un aerogenerador ( $U_n$ ):** tensión entre fases del aerogenerador en los bornes por la que se designa o identifica (IEC 61000-4-30).

**Tensión residual de hueco  $U_{res}$**  valor mínimo de la tensión  $U_{ef(1/4)}$  registrado durante el hueco (IEC 61000-4-30).

**Umbral de hueco:** valor de tensión especificado para detectar el comienzo y final de hueco (IEC 61000-4-30). En este documento se especifica 0.85 p.u. como umbral de hueco.

## ABREVIATURAS

AEG	Aerogenerador
AT, BT, MT	Alta Tensión, Baja Tensión, Media Tensión
CNMC	Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
CTV	Comité Técnico de Verificación
PCC	Punto de Conexión a Red
PE	Punto de Ensayo

PO	Procedimiento de Operación
PVVC	Procedimiento de Verificación Validación y Certificación
REE	Red Eléctrica de España
SC	Sistema Colector de Energía
3 $\phi$ , 2 $\phi$	Trifásico, Bifásico
MINETUR	Ministerio de Industria, Energía y Turismo

#### **4. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN**

El fin último de este procedimiento de verificación de las instalaciones eólicas y fotovoltaicas frente a huecos de tensión es confirmar el cumplimiento de las mismas con los requisitos de respuesta especificados en el PO 12.3 y/o P.O.12.2 SENP del Sistema Eléctrico.

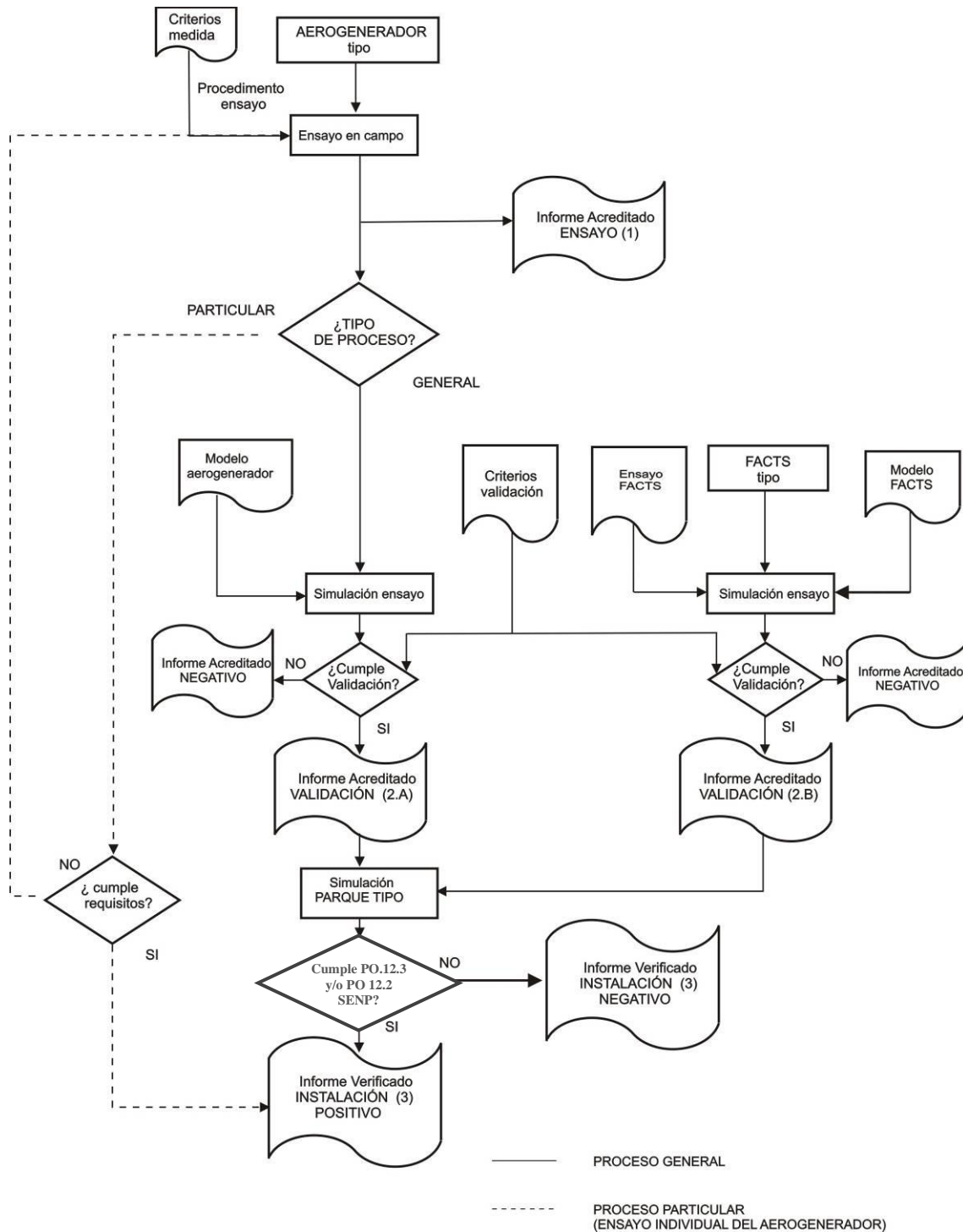
De forma general, durante el procedimiento se realizan las siguientes verificaciones de los requisitos especificados:

- Verificación de que las instalaciones eólicas no se desconectan como consecuencia de huecos de tensión en el punto de conexión a red asociados a cortocircuitos correctamente despejados según la curva tensión tiempo indicada en el PO 12.3 y/o P.O.12.2 SENP.
- Verificación de que los consumos de potencia y energía (activa y reactiva) en el punto de conexión a red, para faltas equilibradas y desequilibradas, son iguales o inferiores a los niveles marcados en el PO 12.3 y/o P.O.12.2 SENP.

Verificación de los niveles de inyección de corriente reactiva y activa en el punto de conexión a red, para faltas equilibradas y desequilibradas, si procede en los PO 12.3 y/o P.O.12.2 SENP.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo del procedimiento de verificación, el cual puede ser completado mediante la ejecución de dos procesos opcionales:

- Proceso General.
- Proceso Particular.



**Figura 1 Diagrama de flujo de las etapas del procedimiento de verificación.**

El propietario del parque eólico a verificar podrá optar por el proceso general o el particular y en el caso que sea necesario seguir el proceso general el fabricante está obligado a suministrar el modelo, tanto para parque nuevo como existente.

## **4.1. PROCESO GENERAL DE VERIFICACIÓN**

El proceso general de verificación consiste en verificar la no desconexión de la instalación eólica y el cumplimiento de los requisitos establecidos en el PO 12.3 y/o P.O.12.2 SENP, mediante la realización de las siguientes acciones:

1. Ensayo del Aerogenerador y/o FACTS.
2. Simulación del Aerogenerador y/o FACTS
3. Simulación del Parque Eólico.

Como resultado de la ejecución satisfactoria de estas acciones se obtendrán los siguientes informes:

### (1) INFORME ACREDITADO DE VERIFICACIÓN DE ENSAYO

Incluye el ensayo en campo y las medidas correspondientes que permitan verificar la respuesta de los aerogeneradores y FACTS durante un hueco de tensión.

Para el caso de FACTS podrían aceptarse ensayos en laboratorio, si el fabricante demuestra que las condiciones son similares a las que puedan presentarse en campo, siempre y cuando no exista la opinión contraria por parte del organismo de certificación. En caso de que el FACTS esté incorporado dentro del propio aerogenerador, los ensayos que se realizarán serán los del propio aerogenerador.

Al finalizar esta etapa, se efectuará una verificación de los ensayos realizados y se emitirá EL INFORME ACREDITADO DE VERIFICACIÓN DE ENSAYO (1) por parte del laboratorio acreditado con el formato que se incluye en el ANEXO I. Para FACTS y en el caso de ensayos en laboratorio, los resultados deberán ser asimismo, verificados y aceptados por un laboratorio acreditado.

### (2) INFORME ACREDITADO DE VALIDACIÓN DE MODELOS

De acuerdo a los criterios de validación que se establecen posteriormente en este documento, se procederá a la validación de un modelo de simulación cuya validez sea confirmada por las medidas registradas y acreditadas en los ensayos. Los criterios de validación se establecen comparando estas medidas con los resultados obtenidos de reproducir el ensayo mediante simulación. Los criterios de validación se indican en el apartado 7 de este documento. Al finalizar esta etapa se emitirá un INFORME ACREDITADO DE VALIDACIÓN DE MODELOS por parte del laboratorio acreditado, que podrá ser el mismo o diferente del que realizó los ensayos en campo.

Los informes acreditados de validación de modelos se clasifican en los dos tipos siguientes:

- tipo 2.A para aerogeneradores
- tipo 2.B para FACTS

### (3) INFORME VERIFICADO DE LA INSTALACIÓN EÓLICA

Los modelos de simulación de elementos dinámicos de la instalación (aerogeneradores y/o FACTS), una vez hayan sido obtenidos sus informes de validación, serán integrados dentro de un modelo de simulación de parque eólico. Utilizando este modelo se realizará la simulación de parque eólico evaluando la respuesta de la instalación en el punto de conexión a red según se describe en el apartado 8. Al finalizar esta etapa se emitirá un INFORME VERIFICADO DE LA INSTALACION EÓLICA (3) por parte del laboratorio avalado.

## **4.2. PROCESO PARTICULAR DE VERIFICACIÓN**

Como alternativa al proceso general, será posible acceder a la verificación directa del parque eólico, únicamente mediante la realización de los ensayos de los elementos dinámicos del parque eólico y sin necesidad de realizar simulaciones informáticas. En este caso las condiciones de ensayo en campo serán más severas que las que soportaría en caso de un hueco de tensión en el punto de conexión a red conforme se indica en el P.O.12.3. y/o P.O.12.2 SENP tal y como se requiere en el Proceso General de Verificación.

Los requisitos que debe cumplir el aerogenerador durante el ensayo en campo para este proceso particular se indican en el apartado 6.2.2 de este documento, para el caso del P.O.12.3 y en el Anexo IV para el caso del P.O.12.2 SENP.

## **4.3. AEROGENERADOR TIPO**

Se define AEROGENERADOR TIPO como aquel que dispone del INFORME ACREDITADO DE ENSAYOS, tras los pertinentes ensayos.

Con el objeto de no tener que repetir los ensayos en campo, de aerogeneradores del mismo fabricante, de características y componentes similares se define AEROGENERADOR ASIMILADO A UN TIPO, como aquél que cumpla los siguientes requisitos:

- Generador eléctrico con las mismas especificaciones de diseño:
  - Potencia nominal  $\pm 25\%$ .
  - Misma tipología
  - Misma tensión de conexión estator (solo generadores asíncronos)

- Relación de transformación  $\pm 20\%$  (solo generadores asíncronos)
  - Mismo número de polos.
- Convertidor(es) electrónico(s), en caso de que existan, con el mismo hardware y especificaciones para soportar huecos de tensión.
  - Tensión de cortocircuito porcentual del transformador, referida a la base de la potencia nominal del aerogenerador, comprendida en un intervalo del  $\pm 20\%$  del valor correspondiente al aerogenerador ensayado. Este punto no será de aplicación en el caso de aerogeneradores sin transformador de conexión al circuito de media tensión.
  - Sistema de compensación de las mismas características y tecnología, y cuya potencia reactiva nominal sea igual o superior al del aerogenerador ensayado.
  - Potencia nominal registrada del aerogenerador ( $P_n$ ) comprendida en un intervalo del  $\pm 25\%$  del valor correspondiente al aerogenerador ensayado.
  - Software específico para cumplimiento de requisitos de continuidad de suministro y huecos de tensión, incluido protecciones y control. Este software estará avalado por el fabricante del aerogenerador.

En el caso de producirse alguna actualización en el software, que pueda afectar a la respuesta ante huecos de tensión, el fabricante declarará dichas modificaciones y verificará que las modificaciones realizadas no afectan al cumplimiento de la solución ante huecos de tensión, debiendo aportar las simulaciones e información adicional que considere oportuna. El certificador acreditado emitirá el informe correspondiente sobre la adecuación del cambio propuesto al aerogenerador.

El INFORME ACREDITADO DEL ENSAYO (1) y el INFORME ACREDITADO DE VALIDACION DE MODELOS (2.A) serán válidos para cualquier otro aerogenerador asimilado a un aerogenerador tipo.

En aquellos casos en los que un grupo de turbinas compartan un mismo centro de transformación MT-BT, será posible realizar un ensayo conjunto de dicho grupo de turbinas, que se tratarían como una única unidad. Para ello, será condición necesaria que, en el momento del ensayo, todas las turbinas cumplan individualmente los requisitos de la Tabla I en cuanto a puntos de operación.

Cada grupo de turbinas podrá tratarse como una unidad a efectos de validación de un modelo equivalente (apartado 6.2.1) o bien ensayo según procedimiento particular del cumplimiento del PO 12.3 (apartado 6.2.2) y/o el P.O.12.2 SENP (Anexo IV).

#### 4.4. PARQUE EÓLICO TIPO

La respuesta ante huecos de tensión de una buena parte de las instalaciones eólicas conectadas en el Sistema Eléctrico Español es similar cuando éstas las componen aerogeneradores de igual tecnología y las características eléctricas hasta el punto de conexión cumplen una serie de requisitos comunes.

Se considera que una instalación eólica tiene la categoría de **parque eólico tipo** si dispone del INFORME VERIFICADO DE LA INSTALACION EOLICA (apartado 4.1 (3)) mediante el proceso general tras los pertinentes ensayos y simulaciones.

Con objeto de no tener que simular de forma innecesaria instalaciones similares a un determinado **parque eólico tipo**, se aceptará como válida (y por tanto con INFORME VERIFICADO DE LA INSTALACION EOLICA) toda instalación que se pueda declarar como **asimilada a un determinado parque eólico tipo**. La recepción de este informe, por esta vía, no habilita a dicha instalación eólica como **parque eólico tipo**, dado que no se han realizado los pertinentes ensayos y simulaciones.

La definición de instalación eólica **asimilada a un determinado parque eólico tipo** se efectuará a propuesta del titular de las instalaciones eólicas que se quieran verificar, aceptada previamente por el certificador acreditado, y deberá incluir al menos los siguientes datos:

- La impedancia de cortocircuito en valor normalizado<sup>2</sup> de todos los elementos eléctricos (transformadores y líneas) que se encuentren entre el lado de media tensión de la instalación eólica y el punto de conexión a red.
- Grupo de conexión de los transformadores y régimen de neutro del sistema eléctrico entre el lado de media tensión de la instalación eólica y el punto de conexión a red.
- Potencia nominal de los sistemas de compensación de reactiva en relación a la potencia registrada de la instalación eólica.
- Aerogeneradores que componen el parque eólico tipo.

Los criterios de variación de los parámetros anteriores para los cuales una instalación eólica pueda considerarse como **asimilada a un parque eólico tipo**, son los siguientes:

---

<sup>2</sup> Se tomará como valores base la potencia nominal de la instalación eólica y el nivel de tensión del punto de conexión a red



- La impedancia de cortocircuito en valor normalizado<sup>3</sup> del parque en un margen del  $\pm 20\%$  del valor definido para el parque tipo.
- Grupo de conexión de los transformadores y régimen de neutro: el parque debe tener iguales grupos de conexión y regímenes de neutro que los definidos en el parque tipo.
- Potencia nominal de los sistemas de compensación de reactiva en relación a la potencia registrada mayor o igual que la del parque tipo.
- Las cantidades relativas<sup>4</sup> de **aerogeneradores del mismo tipo**, o asimilados a este tipo, deben ser idénticas a las del **parque tipo**.

Será el certificador acreditado el encargado de verificar que cada nuevo parque del mismo propietario entra dentro de alguna de las configuraciones de **parque eólico tipo** definidas por el mismo

El INFORME VERIFICADO DE LA INSTALACION EOLICA (3), en la categoría de **parque eólico tipo**, sólo será válido para instalaciones que cumplan los siguientes requisitos:

- Los aerogeneradores y/o FACTS dispondrán de INFORME ACREDITADO DE ENSAYO (1). Asimismo, será necesario que los aerogeneradores dispongan de informe acreditado de validación de modelo (2.A). Los dispositivos FACTS deberán disponer de informe acreditado de validación de modelo (2.B.)
- Las características eléctricas están dentro de las tolerancias y especificaciones indicadas en la definición de **parque eólico tipo**.

La simulación del **parque eólico tipo** se realizará una sola vez y se efectuará con las características y topología indicadas por el titular de las instalaciones que se quieran verificar utilizando los modelos validados de todos los elementos dinámicos de la instalación (aerogeneradores y/o FACTS).

Todas aquellas instalaciones que cumplan los requisitos anteriores dispondrán directamente de un informe verificado de simulación de parque sin necesidad de simulaciones adicionales. Aquellas instalaciones que no se encuentren dentro de ninguna categoría de **parque eólico tipo** deberán realizar en cada caso una simulación particular de la instalación eólica.

---

<sup>3</sup> Se tomará como valores base la potencia nominal de la instalación eólica y el nivel de tensión del punto de conexión a red

<sup>4</sup> Se entenderá por cantidad relativa el cociente entre el número de aerogeneradores de mismo tipo (o asimilados a tipo) con respecto al número de aerogeneradores totales del parque eólico,

## 4.5. PARQUES MIXTOS

En este apartado, se contempla el caso de los parques eólicos compuestos por varios modelos de aerogeneradores adecuables y no adecuables para los que la potencia no adecuada es superior al 5 % de la potencia total del parque.

Las soluciones a aplicar en estos parques mixtos pueden ser para aerogeneradores individuales o para el parque en su conjunto, y la certificación puede realizarse por el procedimiento general o por el procedimiento particular. La reglamentación a seguir en ambos casos será:

- Certificación por el procedimiento general de verificación. En este caso se admitirá una adecuación parcial, aceptando que las máquinas no adecuables puedan disparar durante la simulación. La certificación de la parte del parque adecuado se realizará acorde al procedimiento general de verificación definido en el apartado 4.1. A las máquinas no adecuables se les podrá dotar de dispositivos de disparo, u otros dispositivos, que favorezcan el cumplimiento de los requisitos exigidos por el procedimiento general de verificación para la parte adecuada. El certificado se emitirá por la parte del parque adecuado indicando claramente las máquinas del parque a las que aplica.
- Certificación por el procedimiento particular. En este caso la solución deberá ser a nivel de máquina con informe acreditado para los aerogeneradores que lo tengan y un relé de disparo (ajustado a 100 ms) para las máquinas no adecuables. El relé de disparo de las máquinas no adecuables se instalará para evitar que los consumos de potencia activa y reactiva de las máquinas no adecuables puedan provocar el disparo de las máquinas adecuadas.”

En aquellos casos en que todos los aerogeneradores del parque eólico cumplan los requisitos, a excepción de alguno que pueda ser considerado como no adaptable y siempre que la potencia sin adaptar no supere el 5% de la potencia nominal total del parque, se considerará la instalación completa como verificada. Para los aerogeneradores que permanezcan sin adaptar, el promotor deberá garantizar que estén provistos de un sistema que asegure su desconexión en menos de 100 ms cuando se produzca un hueco de tensión.

## **5. ENTIDADES DE VERIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN**

### **5.1. EL COMITÉ TECNICO DE VERIFICACIÓN**

Se creará una entidad específica, denominada COMITÉ TECNICO DE VERIFICACIÓN (CTV), que supervisará el cumplimiento de este PVVC y tomará decisiones y propondrá mecanismos correctores adecuados, en aquellos temas específicos que se mencionan en el mismo. Con carácter general el CTV se constituirá y regirá por los estatutos que existen a tal efecto

En él participarán los representantes del sector eólico y fotovoltaico: Operador del Sistema eléctrico, REE; fabricantes de aerogeneradores, inversores y FACTS, promotores de instalaciones eólicas/fotovoltaicas y laboratorios de ensayo.

De forma general, las funciones de este CTV serán al menos las siguientes:

- Seguir la correcta aplicación de este PVVC
- Arbitrar en caso de discrepancias y en base a informes elaborados específicamente.

Estas se concretan en:

- (1) Proponer los criterios para la validación de los laboratorios que emiten los INFORMES VERIFICADOS DE LA INSTALACIÓN EÓLICA (3).
- (2) Incluir las modificaciones pertinentes del presente PVVC de acuerdo a los resultados obtenidos. Una vez modificado deberá ser remitido a la Subdirección General de Energía Eléctrica del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- (3) Asistir a los Certificadores acreditados en el desarrollo de las funciones del mismo y de forma más concreta, dirimir discrepancias en base a informes (en la medida de lo posible anónimos y confidenciales), sobre modificaciones a tipos establecidos de aerogeneradores, FACTS y parques.

Los estatutos para el funcionamiento específico de este CTV determinan con mayor precisión la operativa interna, la emisión de informes y la elección de los representantes.

### **5.2. EL CERTIFICADOR ACREDITADO: FUNCIONES**

El certificador acreditado tiene la tarea de comprobar que los documentos anteriormente mencionados para verificar y validar el cumplimiento por parte de una instalación eólica de los requisitos de los P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP, cumplen con lo establecido en este documento y en ese caso certificarlo. En caso contrario deberá emitir un informe especificando las razones por las cuales el parque no cumple los requisitos.

El certificador acreditado firmará un acuerdo con el peticionario en el que se establecerán las contraprestaciones económicas, calendario y compromisos de las partes.

El certificador acreditado deberá, asimismo, avalar los laboratorios de simulación de parques eólicos a partir de los correspondientes informes acreditados de ensayo y de validación de modelo, en base a los criterios definidos por el CTV.

El certificador acreditado deberá además en caso de variaciones sobre tipos establecidos:

- (1) Aprobar que las modificaciones propuestas por los fabricantes encajan dentro de los aerogeneradores tipo ya certificados, al no afectar a los requerimientos previstos en el PO 12.3 y/o P.O.12.2 SENP.
- (2) Aprobar los cambios en el tipo o configuración de los FACTS de tal forma que los mismos no afecten al tipo que disponga del INFORME ACREDITADO DE VALIDACION DE MODELOS (2B)
- (3) Aprobar la tipología de parque eólico propuesta por el promotor y determinar si los parques eólicos a validar encajan dentro de esta tipología.

El Certificador acreditado realizará comprobaciones periódicas, en caso de necesidad, de cómo afectan los cambios de configuración al certificado inicialmente emitido. En caso de observar diferencias, elaborará el informe correspondiente que hará llegar a la Subdirección General de Energía Eléctrica que procederá en consecuencia.

El proceso de certificación será el siguiente:

- Recepción de la petición de la certificación correspondiente que deberá ir acompañada de la documentación que se especifica en este PVVC. El peticionario deberá identificar a la persona de contacto para las ulteriores gestiones.
- Se comprobará la documentación y expedirá el correspondiente acuse de recibo.
- Si la información es conforme a este PVVC, se procederá a abrir el expediente, asignarle el código correspondiente e iniciar el proceso de tramitación.
- Se emitirá la factura a la que hubiera lugar.
- En base a la documentación presentada y los controles que se considere necesarios, elaborará los pertinentes informes confidenciales previos a la certificación.
- Se solicitará al peticionario cualquier información adicional que considere necesaria para completar la certificación, así como cualquier plan de acciones correctivas adecuadas para cumplir con los requisitos de este PVVC.

Los aspectos no abordados en este PVVC, se regularán por los reglamentos específicos de cada certificador acreditado.

## 6. PROCESO DE ENSAYO

En este apartado se especifican las condiciones y criterios de validez del ensayo en campo, así como la definición de los equipos necesarios para realizar esta prueba. Asimismo, se precisan las medidas requeridas a efectuar para determinar los parámetros característicos de la respuesta ante huecos del aerogenerador o dispositivo FACTS que se va a evaluar.

Los procesos descritos en este apartado son válidos para aerogeneradores y dispositivos FACTS de cualquier potencia con una conexión trifásica a una red eléctrica.

Las medidas se utilizarán para verificar los parámetros característicos de la respuesta ante huecos de tensión en todo el intervalo de funcionamiento del aerogenerador o dispositivo FACTS ensayado.

Las características medidas son únicamente válidas para cada AEROGENERADOR TIPO. Variaciones en la configuración que pudieran afectar a su respuesta frente a huecos de tensión cambiarían la consideración de tipo y requerirán otro ensayo.

### 6.1. EQUIPO DE ENSAYO

Se recomienda la utilización de un equipo de ensayo formado por un generador de huecos mediante divisor inductivo (Figura 6.1). Esta figura muestra un esquema unifilar de la ubicación del generador de huecos entre el sistema colector SC y el equipo a ensayar (aerogenerador o FACTS)

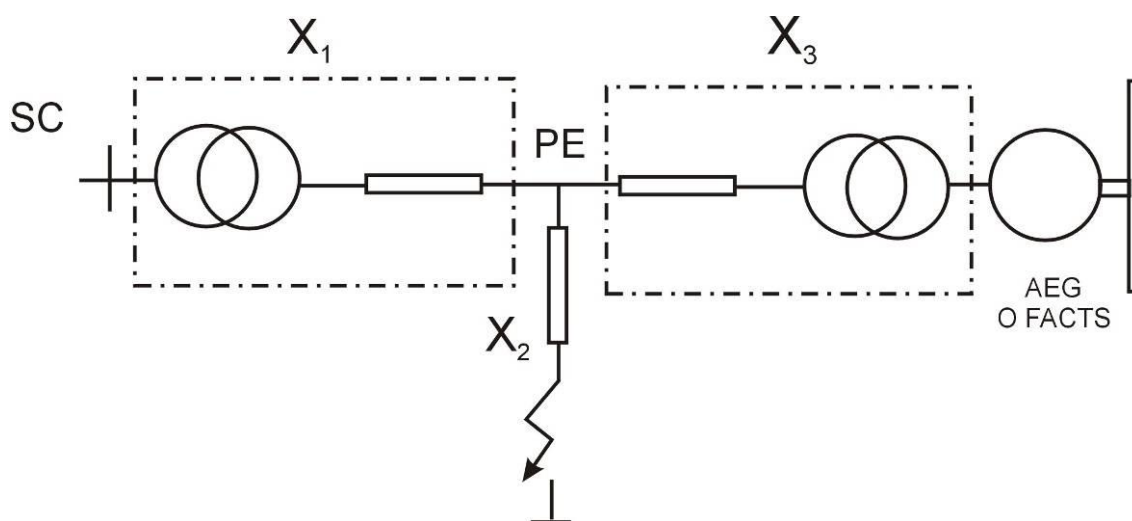


Figura 6-1 Equipo generador de huecos.

Este generador de huecos deberá cumplir, al menos, los siguientes requisitos:

- La impedancia  $X_1$ , tiene como función limitar la corriente de cortocircuito aportada por la red eléctrica en la que se realiza el ensayo, podrá representar una combinación de reactancias y/o transformadores y será de un valor tal que la potencia de cortocircuito en el punto de ensayo, PE, sea igual o superior a 5 veces la potencia registrada del aerogenerador o FACTS a ensayar. En caso de no ser viable realizar un ensayo con una potencia de cortocircuito superior a 5 veces la potencia registrada del aerogenerador o FACTS a ensayar, se permitirá realizar los ensayos con una potencia inferior, siempre y cuando se cumplan los requisitos de los apartados 6.2 y 6.3.
- La impedancia  $X_2$ , se ajustará de tal forma que la tensión residual en el punto PE sea el correspondiente a los valores definidos en los fallos trifásicos y bifásicos. (ver apartado 6.2)
- En la rama donde se ubica la impedancia  $X_2$  debe existir un interruptor que debe operarse de tal forma que sea posible generar huecos trifásicos y bifásicos aislados.
- La impedancia  $X_3$  deberá ser un transformador o una combinación de reactancias y transformadores. El valor que tomará  $X_3$  es el siguiente:
  - Si el aerogenerador no dispone de transformador elevador:  $X_3 = 0$
  - Si el aerogenerador dispone de transformador elevador se pueden dar dos casos:
    - a)  $X_3$  tomará el valor de la impedancia de cortocircuito del transformador elevador.
    - b)  $X_3$  tomará un valor con una tolerancia  $\pm 20\%$  del valor de la impedancia de cortocircuito del transformador elevador en valor normalizado,
- En el caso de emplear transformadores adicionales en la posición de la reactancia  $X_3$ , éstos podrán tener cualquier relación de transformación y deberán tener el mismo grupo de conexión que el transformador elevador del aerogenerador o FACTS (si es que existe).

En el caso de generadores de huecos que no se correspondan con el divisor inductivo se verificarán que las tensiones residuales en módulo y argumento en las tres fases son similares a las que resultan de simular o ensayar con divisor inductivo cortocircuitos trifásicos y bifásicos según se define en este documento.

Los equipos que se han detallado en este apartado son de aplicación para el ensayo en campo de aerogeneradores.

## 6.2. ENSAYO DE AEROGENERADORES

La definición y condiciones en las que se realizará el ensayo de aerogeneradores dependerán del objetivo que se pretenda con la prueba. Así pues, los ensayos podrán ser

- Ensayos para la validación de modelo de simulación (proceso general de verificación).
- Ensayos para cumplimiento directo del PO 12.3 y/o P.O.12.2 SENP (proceso particular de verificación)

A continuación se indican las características comunes a ambos ensayos.

En cualquiera de los dos casos el aerogenerador completo debe ser ensayado en campo y se efectuará considerando los siguientes puntos de operación (Tabla I)

**Tabla I Puntos de operación previo al ensayo.**

	Potencia activa registrada	Factor de potencia
<b>CARGA PARCIAL</b>	10%-30% Pn	0,90 inductivo -0.95 capacitivo
<b>PLENA CARGA</b>	>80% Pn	0,90 inductivo -0.95 capacitivo

El laboratorio acreditado deberá confirmar que en los ensayos no se ha buscado un instante concreto de ocurrencia y despeje del cortocircuito, ni tampoco un factor de potencia tal que fueren especialmente favorables a la permanencia del aerogenerador acoplado durante el hueco de tensión.

El ensayo se realizará aplicando con el generador de huecos una falta trifásica y una falta bifásica aislada que provoque un hueco de tensión en las fases afectadas cuyas características, se especifican a continuación. Las características especificadas del hueco de tensión han de ser independientes de la respuesta del aerogenerador ensayado. Dependiendo de la potencia de cortocircuito existente en el punto de ensayo (PE), se ha de diferenciar la manera de obtener el perfil de hueco de tensión a aplicar:

- Si la potencia de cortocircuito en el PE es igual o superior a 5 veces la potencia registrada del aerogenerador a ensayar, se ha de obtener el hueco mediante un ensayo con el aerogenerador desacoplado del generador de huecos (en adelante “ensayo de vacío”). En el ensayo en carga (con el aerogenerador acoplado) el ajuste de las impedancias del equipo generador de huecos debe ser el mismo que el realizado en el ensayo en vacío.

- Si la potencia de cortocircuito en el PE es inferior a 5 veces la potencia registrada del aerogenerador a ensayar, obligatoriamente se ha de obtener el perfil de hueco mediante el ensayo en carga.

En el proceso se realizarán cuatro categorías de ensayo (Tabla II)

**Tabla II Categorías de ensayo.**

CATEGORÍA	PUNTO DE OPERACIÓN	TIPO HUECO
1	CARGA PARCIAL	TRIFÁSICO
2	PLENA CARGA	TRIFÁSICO
3	CARGA PARCIAL	BIFÁSICO AISLADO
4	PLENA CARGA	BIFÁSICO AISLADO

Como resultado del ensayo se completará el INFORME ACREDITADO DE ENSAYO (1) de acuerdo con el formato que se incluye en el ANEXO I.

### 6.2.1. Condiciones del ensayo para validación de modelo

Las condiciones de ensayo del aerogenerador para la validación del modelo son las siguientes:

- **Punto de medida:** para el caso de validación del modelo de aerogenerador o FACTS el punto de medida podrá coincidir o no con el punto de ensayo. El modelo que se validará comprenderá a todos los elementos aguas abajo del punto de medida. Por ejemplo en el caso que se opte por un ensayo con el punto de ensayo y medida en MT se estará validando el comportamiento dinámico del aerogenerador más el transformador elevador. Sin embargo, si el ensayo se realiza en MT y el punto de medida está en BT se validará sólo el modelo del aerogenerador.
- **Características del ensayo:**

Se ha de diferenciar dependiendo de la potencia de cortocircuito existente en el punto de ensayo (PE):

- Si la potencia de cortocircuito en el PE es igual o superior a 5 veces la potencia registrada del aerogenerador a ensayar, para cada una de las cuatro categorías de ensayo, descritas en la Tabla II, se ha de comprobar que la tensión  $U_{res}$  registrada durante el periodo de duración del hueco en el ensayo en vacío de las fases en falta es inferior al 90%. Posteriormente y sin modificar la configuración del generador de huecos se procederá a realizar el ensayo en carga donde se registrarán las tensiones e intensidades en el punto de medida.
- Si la potencia de cortocircuito en el PE es inferior a 5 veces la potencia registrada del aerogenerador a ensayar, para cada una de las cuatro categorías de ensayo, descritas en



la Tabla II, se ha de comprobar que la tensión  $U_{ef(1/4)}$  registrada durante el periodo de duración del hueco en el ensayo en carga de las fases en falta es inferior al 90%, registrándose las tensiones e intensidades en el punto de medida.

La validez del ensayo se realizará posteriormente en el apartado 7.3 donde se comprobará que los niveles de tensión e intensidad en el punto de medida son más severos en el ensayo en campo que durante el proceso de simulación del parque.

En el caso particular de generadores asíncronos, sin compensación dinámica (o dispositivos FACTS que actúen durante el hueco), el CTV decidirá la necesidad o no de realizar el ensayo en campo de este tipo de aerogeneradores en función de la información aportada relativa a los parámetros eléctricos y características dinámicas de la parte mecánica que influyen en el comportamiento de esta máquina durante el hueco de tensión.

### **6.2.2. Condiciones de ensayo para cumplimiento directo del P.O.12.3. Proceso Particular.**

Se aceptará como válido el ensayo de aerogeneradores para cumplimiento directo del PO 12.3 según se indica en el apartado 4.2 de este documento (proceso particular de verificación) cuando para cada una de las cuatro categorías de ensayo indicadas en la Tabla II se cumpla lo siguiente:

(1) Garantía de continuidad de suministro:

No se produce desconexión del aerogenerador durante la aplicación del hueco de tensión en tres ensayos consecutivos correspondientes a la misma categoría (ver Tabla II). En el caso que se produzca al menos una desconexión en esta secuencia de ensayos (3 primeros ensayos consecutivos), se considerará válida la condición de continuidad de suministro sólo cuando en los 4 siguientes ensayos, correspondientes a la misma categoría, no se produce desconexión del aerogenerador. En el caso que se produzcan en esta última serie de ensayos alguna desconexión se dará como no válido el ensayo.

(2) Punto de operación

Para cada categoría de ensayo es condición necesaria que la potencia activa y reactiva registradas previa a la realización del hueco de tensión (ver Tabla I) esté dentro del intervalo que define carga parcial y plena carga.

(3) Nivel de tensión residual y tiempo durante el ensayo

Para cada una de las categorías (ver Tabla II), los requisitos a cumplir por los ensayos, diferenciados en función de la potencia de cortocircuito existente en el punto de ensayo (PE), para la península se indican en la Tabla III

Para el caso en el que la potencia de cortocircuito en el PE sea igual o superior a 5 veces la potencia registrada del aerogenerador a ensayar, la evaluación se ha de realizar mediante ensayos de vacío, mientras que para el caso en el que este valor sea inferior a 5, la evaluación se ha de realizar mediante ensayos de carga.

**Tabla III Características del hueco de tensión para ensayos de aerogeneradores.**

Potencia de cortocircuito en PE	Tipo de hueco	Tensión de hueco	Tolerancia tensión ( $U_{TOL}$ )	Tiempo hueco (ms)	Tolerancia tiempo ( $T_{TOL}$ ) (ms)
$\geq 5xP_n$	TRIFÁSICO (VACÍO)	$U_{res} \leq (20\% + U_{TOL})$	+3%	$\geq (500 - T_{TOL})$	50
	BIFÁSICO AISLADO (VACÍO)	$U_{res} \leq (60\% + U_{TOL})$	+10%	$\geq (500 - T_{TOL})$	50
$< 5xP_n$	TRIFÁSICO (CARGA)	$U_{ef(1/4)} \leq (20\% + U_{TOL})^*$	+3%	$\geq (500 - T_{TOL})$	50
	BIFÁSICO AISLADO (CARGA)	$U_{ef(1/4)} \leq (60\% + U_{TOL})^*$	+10%	$\geq (500 - T_{TOL})$	50

\* Durante todo instante de tiempo que dure el fondo de hueco, es decir, desde  $T_2$  a  $T_3$  (ver caracterización de zonas durante el hueco, Apartado 9.1). En la tabla que especifique las características del hueco de tensión que ha de constar en el informe elaborado por el laboratorio, se mostrará el valor máximo de  $U_{ef(1/4)}$  comprendido en el periodo entre  $T_2$  y  $T_3$ .

#### (4) Condiciones de intercambio de potencia y energía en el punto de ensayo

Las medidas de tensión y corriente necesarias para el cálculo posterior de potencia y energía (activa y reactiva) según se indica en el P.O.12.3, se registrarán en el punto de ensayo PE.

En el caso que los aerogeneradores utilizados en un parque sean capaces de cumplir lo establecido en el P.O.12.3 para huecos bifásicos, con las condiciones de ensayo definidas en este apartado 6.2.2., no será necesario realizar la simulación del cortocircuito bifásico en el punto de conexión a red.

Asimismo, en el caso que los aerogeneradores utilizados en un parque eólico sean capaces de cumplir lo establecido en el P.O.12.3, (con consumos de potencia reactiva más reducidos) con las condiciones de ensayo definidas en este apartado 6.2.2., no será necesario realizar la simulación del cortocircuito trifásico en el punto de conexión a red.

Para utilizar este método particular para huecos trifásicos:

- El consumo de potencia reactiva en la zona A (ver caracterización de zonas durante el hueco, apartado 9.1.) no deberá exceder el 15% de la  $P_n$  cada 20ms, en la zona B no deberá exceder el 5% de la  $P_n$  cada 20 ms.
- En la zona comprendida entre en instante de despeje de la falta ( $T_3$ , ver apartado 9) y  $T_3+150$  milisegundos se deberá verificar que el consumo neto de intensidad reactiva en el punto de ensayo cada ciclo (20 ms) no deberá ser superior a 1,5 veces la intensidad correspondiente a su potencia nominal registrada, aun cuando la tensión haya superado 0,85 p.u. en ese tiempo.

Para verificar el cumplimiento del requisito sobre la relación entre la componente reactiva de la corriente aportada durante el defecto y la corriente total (apartado 4.1 del P.O.12.3), se considerará el valor medio de las medidas de corriente efectuadas en la zona B del hueco de tensión definido en el apartado 9.1.

### **6.3. ENSAYO DE FACTS**

El ensayo del dispositivo FACTS tiene por finalidad determinar su respuesta dinámica y permitir validar y verificar un modelo de simulación. El ensayo, en ningún caso, se efectúa para comprobar la continuidad de suministro del dispositivo.

Con carácter general, el dispositivo FACTS a escala real, o bien un módulo escalable, se ensayará en el laboratorio e incluirá todos los elementos de control y potencia asociados. Las características y validez del ensayo serán las siguientes:

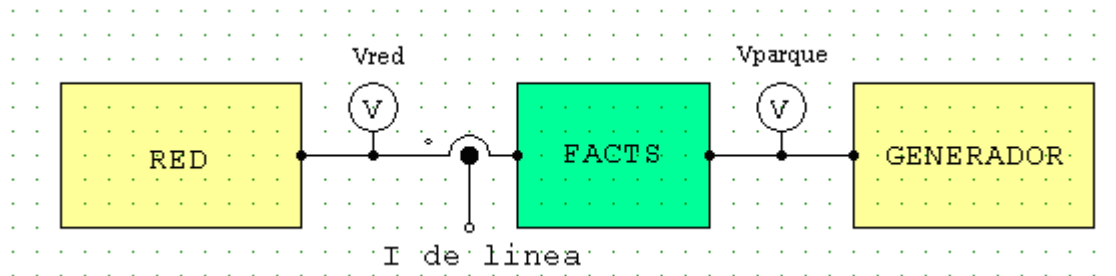
Se ha de diferenciar dependiendo de la potencia de cortocircuito existente en el punto de ensayo (PE):

- Si la potencia de cortocircuito en el PE es igual o superior a 5 veces la potencia registrada del FACTS a ensayar, sólo serán necesarias dos categorías de ensayo: TRIFÁSICO Y BIFÁSICO AISLADO. En cada uno de ellos se ha de comprobar la capacidad de sobrecarga del dispositivo durante el hueco, el grado de carga inicial del dispositivo no se considera relevante para la prueba. Para cada una de estas categorías de ensayo, se ha de comprobar que la tensión  $U_{res}$  registrada durante el periodo de duración del hueco en el ensayo en vacío de las fases en falta es inferior al 90%.
- Si la potencia de cortocircuito en el PE es inferior a 5 veces la potencia registrada del FACTS a ensayar, sólo serán necesarias dos categorías de ensayo: TRIFÁSICO Y BIFÁSICO AISLADO. En cada uno de ellos se ha de comprobar la capacidad de sobrecarga del dispositivo durante el hueco, el grado de carga inicial del dispositivo no se considera relevante para la prueba. Para cada una de estas categorías de ensayo, se ha

de comprobar que la tensión  $U_{ef(1/4)}$  registrada durante el periodo de duración del hueco en el ensayo en carga de las fases en falta es inferior al 90%.

En el caso de dispositivos FACTS conectados en serie, se procederá de la siguiente forma:

En el ensayo se medirán las tensiones a ambos extremos del equipo FACTS y la intensidad que lo atraviesa.



Ensayos a realizar: Hueco bifásico y trifásico. En el caso de un FACTS de potencia inferior a 1,5 MW debe utilizarse un generador del mercado cuya potencia sea de al menos de un tercio de la potencia controlada por el FACTS o el módulo a utilizar. En caso de que el equipo FACTS o el módulo sea de potencia superior a 1.5 MW el generador de mercado deberá tener una potencia de al menos 500KW. Los huecos a ensayar se harán en dos puntos de funcionamiento distintos, uno de ellos por encima del 80% y otro por debajo del 40% de la potencia nominal del generador.

**Tabla IV Características del hueco de tensión para ensayos de FACTS.**

Potencia de cortocircuito en PE	Hueco de tensión	Tensión de hueco	Tiempo hueco (ms)	Punto de operación del generador
$\geq 5xP_n$	Trifásico aislado (vacío)	$U_{res} \leq 23\%$	$\geq 300$	$\geq 80\% P_{nominal\ generador}$
				$< 40\% P_{nominal\ generador}$
	Bifásico aislado (vacío)	$U_{res} \leq 70\%$	$\geq 300$	$\geq 80\% P_{nominal\ generador}$
				$< 40\% P_{nominal\ generador}$
$< 5xP_n$	Trifásico aislado (carga)	$U_{ef(1/4)} \leq 23\%^*$	$\geq 300$	$\geq 80\% P_{nominal\ generador}$
				$< 40\% P_{nominal\ generador}$
	Bifásico aislado (carga)	$U_{ef(1/4)} \leq 70\%^*$	$\geq 300$	$\geq 80\% P_{nominal\ generador}$
				$< 40\% P_{nominal\ generador}$

\* Durante todo instante de tiempo que dure el fondo de hueco, es decir, desde  $T_2$  a  $T_3$  (ver caracterización de zonas durante el hueco, Apartado 9.1). En la tabla que especifique las

*características del hueco de tensión que ha de constar en el informe elaborado por el laboratorio, se mostrará el valor máximo de  $U_{ef(1/4)}$  comprendido en el periodo entre  $T_2$  y  $T_3$ .*

Al menos uno de los ensayos deberá tener una duración superior a los 450 ms.

En el caso de que un FACTS no haya sido ensayado en toda su potencia o en su caso un módulo escalable, como ha sido indicado al comienzo de esta sección, deberá ser aprobado por el CTV.

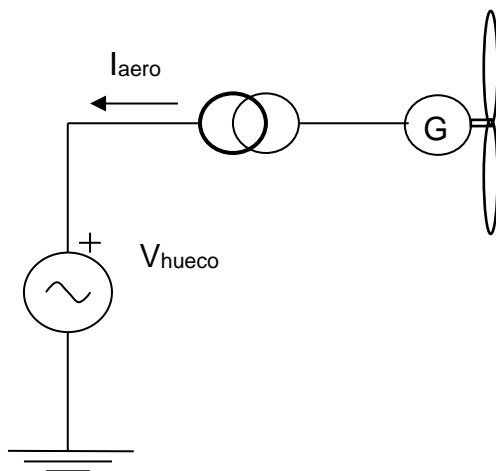
## 7. PROCESO DE VALIDACIÓN DE MODELOS

### 7.1. MODELO DE AEROGENERADOR

Para proceder a la validación del modelo de aerogenerador se realizarán los siguientes pasos:

1.- Se recopilarán los valores instantáneos de tensión e intensidad de cada fase en el punto de medida y se determinarán los valores eficaces de armónico fundamental de estas variables, así como el valor de la potencia activa y reactiva según el procedimiento de cálculo descrito en el apartado 9.2 de este documento. Esto se efectuará para cada una de las tres series de datos registradas en las cuatro categorías de ensayo que se especifican en este PVVC, (fallo trifásico y bifásico a carga parcial y a plena carga). La duración de la ventana de comparación será de un segundo, con un tiempo inicial 100 ms anterior al instante de inicio de hueco ( $T_1$ ). Esto será aplicable solo en el Procedimiento General.

2.- El modelo de aerogenerador del fabricante lo utilizará el laboratorio acreditado para reproducir en la plataforma informática cada uno de los ensayos efectuados en campo, para ello se modelará el banco de ensayos como una fuente de tensión, de forma que ésta se fije como una serie temporal de los valores medidos en el ensayo experimental, entregando por tanto exactamente la misma tensión que durante dicho ensayo.



Para poder comparar las medidas del ensayo en campo con los resultados del modelo de la simulación es conveniente que éste sea, por una parte lo más detallado posible y por otra parte lo suficientemente manejable para que se pueda integrar en programas de simulación de sistemas eléctricos. Se utilizará el mismo modelo informático para la comparación en las cuatro categorías de ensayos.

3.- Los resultados del modelo de simulación serán las mismas variables instantáneas que las registradas en cada uno de los cuatro ensayos en campo. El paso de integración será igual o inferior al intervalo de tiempo correspondiente a la frecuencia de muestreo de las medidas

registradas en los ensayos en campo. A partir de los valores obtenidos en las simulaciones de tensión y corriente en cada fase se determinarán los valores eficaces de armónico fundamental de estas variables, así como el valor de la potencia activa y reactiva según se indica en el punto 1 de este apartado.

El cumplimiento de los criterios de validación dará lugar a la emisión de un INFORME ACREDITADO DE VALIDACIÓN DE MODELO TIPO 2.A por parte del laboratorio acreditado.

## 7.2. MODELO DE FACTS

El proceso de validación de los dispositivos FACTS que se encuentren en la instalación eólica (excepto los incluidos en el aerogenerador, que se ensayarán conjuntamente con éste) será el mismo que el indicado en los puntos anteriores del apartado 7.1, aplicable también a los ensayos en laboratorio descritos en la sección 6.3. El cumplimiento de los criterios de validación dará lugar a la emisión de un INFORME ACREDITADO DE VALIDACIÓN DE MODELO TIPO 2.B por parte del laboratorio acreditado.

## 7.3. CRITERIOS DE VALIDACIÓN

Se considerará validado un modelo de aerogenerador o FACTS cuando para el 85% de cada una de las series de datos correspondientes al primer bloque de ensayos consecutivos sin desconexión (apartado 6.2.1), la diferencia en valores absolutos entre los valores medidos en el ensayo y los obtenidos en la simulación de las siguientes variables ( $x$  de forma genérica) no supere un 10%:

- Potencia activa trifásica.
- Potencia reactiva trifásica.

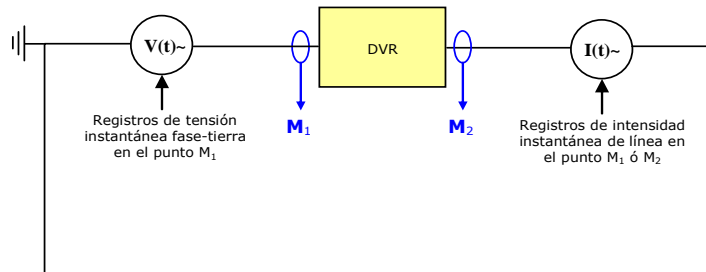
El cálculo de este índice,  $\Delta x(\%)$ , se entiende como el cociente entre el valor absoluto de la diferencia de las medidas registradas en campo,  $x_{med}$ , y las obtenidas de la plataforma informática,  $x_{sim}$ , respecto al valor nominal, multiplicado por 100. Se compararán valores eficaces calculados en un intervalo igual o inferior a cada cuarto de ciclo con una ventana de integración de un ciclo.

$$\Delta x(\%) = \left| \frac{x_{med} - x_{sim}}{x_{nom}} \right| \cdot 100 \leq 10\% \quad (1)$$

Una vez verificado el modelo de simulación el laboratorio acreditado proporcionará al interesado el modelo de simulación en un soporte físico con el sello acreditado, las características del aerogenerador ensayado (Tabla II.1 del ANEXO I) y las características de las herramientas informáticas que permiten su utilización. El modelo almacenado en este soporte físico podrá ser utilizado en cuantas simulaciones de parque eólico sea necesario, con cualquier laboratorio acreditado.

Estos criterios podrán ser propuestos para modificación por el CTV de acuerdo con los resultados obtenidos.

En la simulación para validación del modelo a utilizar, en el caso de un dispositivo FACTS en serie, el banco de ensayos se podrá modelar como una fuente de tensión y otra de corriente, de forma que entreguen exactamente la misma tensión y corriente que durante el ensayo.



El valor de la tensión en el lado del "parque" (fuente de corriente) del equipo FACTS se utilizará para validar el modelo mediante la comparación entre el resultado de la simulación y el obtenido durante el ensayo, siguiendo los criterios matemáticos de este apartado.



## 8. PROCESO DE SIMULACIÓN DE PARQUES EÓLICOS

Para la realización del estudio de simulación de parques es preciso hacer uso de una herramienta que permita el modelado por fase de los componentes del sistema eléctrico, ya que se realizarán estudios dinámicos ante fallos equilibrados y desequilibrados. Dicha herramienta debe ser capaz de utilizar el modelo de aerogenerador validado sin necesidad de realizar ninguna transformación del mismo.

### 8.1. TOPOLOGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Para realizar las simulaciones del parque eólico se hará uso de una configuración eléctrica como la que se describe en la Figura 8-1, que estará constituida, al menos por los siguientes elementos:

- Parque eólico y dispositivos FACTS
- Transformador elevador MT/AT
- Línea de evacuación (AT-PCC)
- Equivalente de red

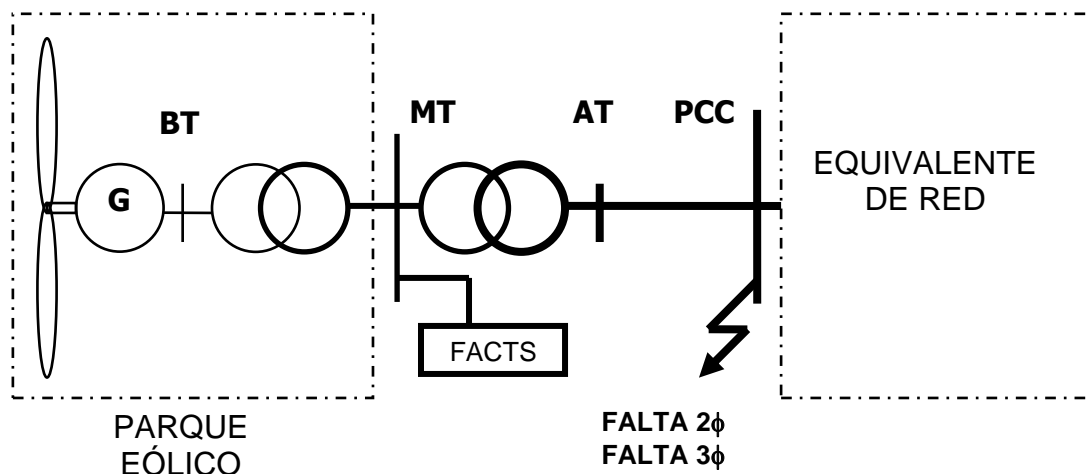


Figura 8-1 Esquema unifilar de la topología del sistema eléctrico.

En el punto de media tensión, MT, se conectarán todas las agrupaciones de aerogeneradores que se hallen conectados a través de circuitos eléctricos de potencia. En el caso que entre el punto de alta tensión, AT, y el punto de conexión a red, PCC, existan conectadas cargas adicionales u otras instalaciones eólicas se eliminarán dichas instalaciones de la simulación, siempre evitando modificar las instalaciones de conexión al PCC (transformadores y líneas).

#### 8.1.1. Parque eólico y dispositivos FACTS

En el proceso de simulación de parques eólicos se emplearán modelos validados de aerogeneradores y/o FACTS. En la Figura 8-1, se ha considerado una conexión paralelo del FACTS en el nudo de media tensión, MT, sin embargo es posible conexiones tipo serie aunque no se hayan representado.

Con carácter general, el parque eólico incluirá la totalidad de aerogeneradores, FACTS y sistemas de compensación de potencia reactiva existentes, cables, transformadores elevadores (BT/MT) y líneas internas de la instalación. La topología interna de la instalación utilizada en la simulación se aceptará como válida para verificar otras instalaciones incluidas dentro de la categoría de tipo (apartado 4.4).

Con carácter particular se podrá optar por representar el parque eólico por un sólo aerogenerador equivalente, siempre y cuando la totalidad de los aerogeneradores que componen la instalación sean del mismo tipo. En el caso de existir aerogeneradores de distinto tipo dentro de la instalación, se aceptará la agregación siempre que cada aerogenerador equivalente represente a una agrupación de máquinas conectadas, en la instalación real, en el mismo circuito eléctrico de potencia y este dentro de la configuración de PARQUE EOLICO TIPO seleccionado por el propietario.

### **8.1.2. Transformador MT/AT**

Las características eléctricas del transformador MT/AT que se considerarán para el proceso de simulación de parque eólico son las siguientes:

- Relación de tensiones MT (kV) / AT (kV)
- Potencia aparente nominal  $S_n$ (MVA)
- Grupo de conexión
- Potencia de pérdidas (ensayo de cortocircuito)  $P_{cc}$ (kW)
- Potencia de pérdidas (ensayo de vacío)  $P_0$ (kW)
- Tensión de cortocircuito en  $U_{cc}$ (%)
- Intensidad de vacío  $I_0$ (%)

### **8.1.3. Línea de evacuación**

Las características eléctricas de la línea de evacuación desde el punto AT hasta el punto de conexión a red, PCC, que se considerarán para el proceso de simulación de parque eólico son las siguientes:

- Nivel de tensión (kV)
- Capacidad de transmisión de potencia (MW)
- Sección de conductores
- Resistencia  $R_{AC}$  (50 Hz-20 °C) ( $\Omega$ /Km)

- Reactancia  $X_{AC}$  (50 Hz) ( $\Omega/\text{Km}$ )
- Susceptancia ( $\mu\text{S}/\text{Km}$ )
- Longitud y número de circuitos de la línea

## 8.2. RED ELÉCTRICA EQUIVALENTE PENINSULAR

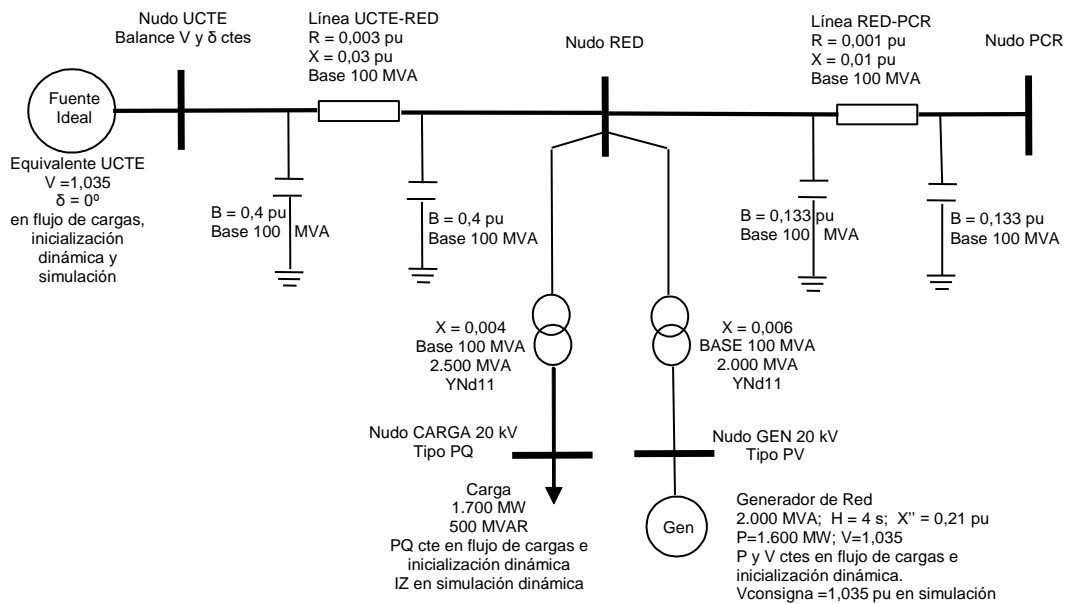
El resto de la red eléctrica que no pertenezca a la instalación eólica motivo de estudio se modelará de tal forma que el despeje de la falta en el punto de conexión a red reproduzca el perfil de tensión habitual en el Sistema Eléctrico Español, para el caso de los requisitos descritos en el Procedimiento de Operación P.O.12.3, esto es; una subida brusca en el despeje de la falta y una recuperación lenta posterior. Dicho perfil se considerará fijo e independiente de la ubicación geográfica de la instalación eólica en estudio.

Para simular la red eléctrica equivalente se considerará un sistema dinámico formado por un nudo en el que se modela el equivalente dinámico de la ENTSOE (nudo ENTSOE), otro nudo en el que se modela un equivalente que refleja las características dinámicas debidas a la hipotética red más cercana (nudo RED) y un tercero que representa al punto de conexión a la red (nudo PCC). Dichos nudos están separados por impedancias de valores predeterminados, de modo que siempre se reproduzca el mismo perfil de tensión habitual en el Sistema Eléctrico Peninsular. De esta forma, se garantiza que todas las instalaciones eólicas se ensayarán, mediante simulación, frente a un cortocircuito de las mismas características.

El equivalente del sistema ENTSOE incorpora un generador síncrono (Generador 1) de una potencia aparente que refleja un valor realista de la potencia aparente acoplada y, por consiguiente, de la inercia del sistema ENTSOE. Dicho generador se modela en barras de 20 KV con un transformador de máquina. La demanda del sistema ENTSOE se modela como carga en el nudo equivalente de dicho sistema.

Para considerar la parte dinámica del equivalente de la red cercana se ha incluido un generador síncrono (Generador 2) y una demanda, El generador (Generador 2) se modela en barras de 20 KV con un transformador elevador de máquina, y la demanda se modela como carga en barras de 20 kV conectada al nudo de red mediante un transformador.

Las características de la red eléctrica equivalente deberán incluir los siguientes elementos que se representan en la Figura 8-2:



**Figura 8-2 Modelo de red eléctrica equivalente (esquema unifilar).**

**Nota: ENTSO-E es la asociación actual que sustituye a UCTE (referencia incluida en el modelo de Red Eléctrica equivalente)**

### 8.2.1. Datos de los nudos y elementos pasivos del equivalente de red

De acuerdo a la nomenclatura considerada en la Figura 8-2, se considerarán los siguientes datos:

#### Nudos:

Para el nudo PCC se considerará como base de tensión la tensión nominal de la red a la que pertenece, en la realidad, el nudo de conexión a la red correspondiente.

Tanto para el nudo ENTSOE, como para el nudo RED se tomará la misma base de tensión que la asignada al nudo PCC.

#### Líneas:

Se utilizarán modelos en “ $\pi$ ” con las características fijas indicadas en la Figura 8-2. Dichas características de resistencia, reactancia y susceptancia, están expresadas en valores por unidad con base de potencias de 100 MVA. Adicionalmente, se considerará que los valores correspondientes, indicados en la Figura 8-2, ya están expresados en la base de tensión de los nudos extremos, independientemente de la tensión nominal de los mismos. Esto garantizará que

el hueco de tensión y el perfil de recuperación, siempre sea el mismo, independientemente de la tensión real del nudo PCC.

### Transformadores:

Se utilizarán simples reactancias con las características fijas indicadas en la Figura 8-2. Dichas reactancias están expresadas en valores por unidad con base de potencias de 100MVA y base de tensión 20 KV. Todos los transformadores se considerarán con el grupo de conexión YNd11.

### 8.2.2. Datos de los generadores síncronos y su sistema de excitación

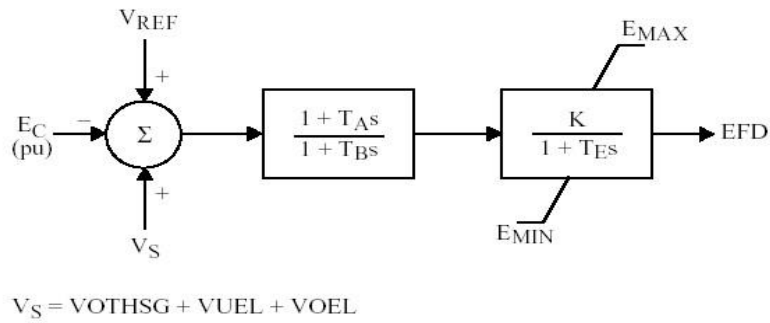
Los generadores 1 y 2 deben tener los valores de producción activa y reactiva indicado en la figura 8-2.

Los datos que se precisan para modelar tanto el generador síncrono 1 del equivalente ENTSOE, como el generador síncrono 2 del equivalente de red cercana, son iguales a excepción de la constante de inercia. Dichos valores se indican en la tabla V, en por unidad con base máquina y con valores de características no saturados. Adicionalmente, el modelo a utilizar no debe contemplar saturación magnética.

**Tabla V Datos de los generadores.**

$S_n$ (generador 1)	400.000 MVA	Potencia aparente nominal del generador (MVA)
$S_n$ (generador 2)	2.000 MVA	Potencia aparente nominal del generador (MVA)
$U_n$	20	Tensión nominal entre fases (kV)
$T'_{do}$	5,0 s	Constante de tiempo transitoria a circuito abierto eje directo (s)
$T''_{do}$	0,038 s	Constante de tiempo sub-transitoria a circuito abierto eje directo (s)
$T'_{qo}$	0,65 s	Constante de tiempo transitoria a circuito abierto eje cuadratura (s)
$T''_{qo}$	0,075 s	Constante de tiempo sub-transitoria a circuito abierto eje cuadratura (s)
$X_d$	2,1 p.u.	Reactancia síncrona de eje directo (p.u)
$X_q$	2,0 p.u.	Reactancia síncrona de eje cuadratura (p.u)
$X'_d$	0,25 p.u.	Reactancia transitoria de eje directo (p.u)
$X'_q$	0,45 p.u.	Reactancia transitoria de eje cuadratura (p.u)
$X''_d = X''_q$	0,21 p.u.	Reactancia sub-transitoria de eje directo y de cuadratura (p.u)
$X_l$	0,16 p.u.	Reactancia de dispersión (p.u.)
H (generador 1)	4,5 s	constante de Inercia en segundos (p.u.)
H (generador 2)	3,0 s	constante de Inercia en segundos (p.u.)

Asimismo los datos que se precisan del sistema de excitación de ambos generadores síncronos son los que se indican en la Tabla VI (ver Figura 8-3)



**Figura 8-3 Sistema de excitación del generador síncrono.**

**Tabla VI Datos del sistema de excitación.**

$T_E$	0,1 s	Constante de tiempo del regulador de excitación
$K$	40	Ganancia del regulador de excitación
$E_{min}$	0 p.u.	Límite inferior de la tensión de excitación (p.u)
$E_{max}$	5 p.u.	Límite superior de la tensión de excitación (p.u)
$T_A$	0,5 s	Constante de tiempo (1) de la red adelanto-atraso
$T_B$	10 s	Constante de tiempo (2) de la red adelanto-atraso

Se supondrá que los generadores están sometidos a un par mecánico constante en todo momento, por lo que no es necesario modelar los reguladores de velocidad ni las respectivas turbinas.

### 8.2.3. Potencias de carga

En lo referente a la carga, independientemente para cada una, la parte activa  $P$  se debe modelar con característica de intensidad constante ( $P(v)=P_1 \cdot V$ ) y la parte reactiva  $Q$  como impedancia constante ( $Q(v)=Q_1 V^2$ ).

Donde  $P_1$  y  $Q_1$  son los valores de la carga correspondientes a una tensión de 1 pu. Dichos valores se calculan a partir de los valores iniciales de la carga  $P_0$  y  $Q_0$  correspondientes a la tensión inicial del nudo  $V_0$ . Si  $V_0$  se expresa en pu entonces:

$$P_1 = \frac{P_0}{V_0} \cdot (p.u) \quad (2)$$

$$Q_1 = \frac{Q_0}{V_0^2} \cdot (p.u)$$

Los valores  $V_0$  de los nudos del modelo variarán ligeramente en función de que el parque se modele en el nudo PCC (punto de conexión a la red) así como del régimen de funcionamiento considerado. Por consiguiente, será necesario realizar un reparto de cargas considerando a los efectos exclusivos del mismo:

- El nudo de generación “Generador 1” será nudo balance ( $V, \delta$ ) con los datos:
  - $V=1,042$  p.u. (consigna del generador 1)
  - $\delta = 0^\circ$  (referencia de ángulos)
- El nudo de generación “Generador 2” se considerará como nudo PV con los datos:
  - $P=1.600$  MW (potencia generada)
  - $V=1,042$  p.u. (tensión de consigna del generador2)
- El resto de nudos se considerarán del tipo PQ donde las cargas se tomarán como potencia constante, tanto en su parte activa como reactiva.

Una vez realizado el reparto de cargas, la potencia reactiva de los generadores podría variar ligeramente, no obstante, lo importante es que las barras de generación (20 kV) mantengan la tensión de consigna.

#### **8.2.4. Reactancia de falta**

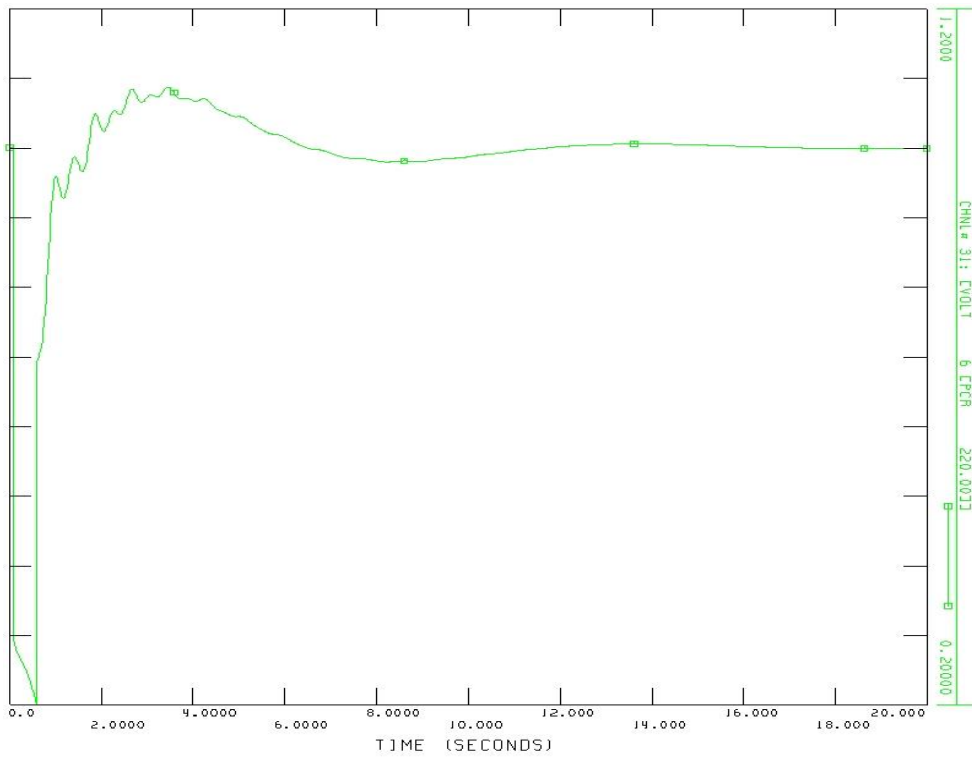
Para la simulación dinámica de falta equilibrada, se simulará una falta trifásica en el nudo de conexión a la red (PCC), con una reactancia a tierra de  $8,4034 \times 10^{-3}$  p.u. en base 100 MVA. Dicho valor de reactancia es tal que la tensión en el nudo PCC baja justo hasta 0,2 p.u. en el momento en que se despeja la falta (500 ms)

Para la simulación dinámica de falta desequilibrada, se simulará una falta bifásica aislada de tierra en el nudo de conexión a la red (PCC), con una reactancia entre fases tal que la tensión fase-tierra, de las fases en falta, en el nudo PCC baje hasta 0,6 p.u. en el momento en que se despeja la falta (500 ms).

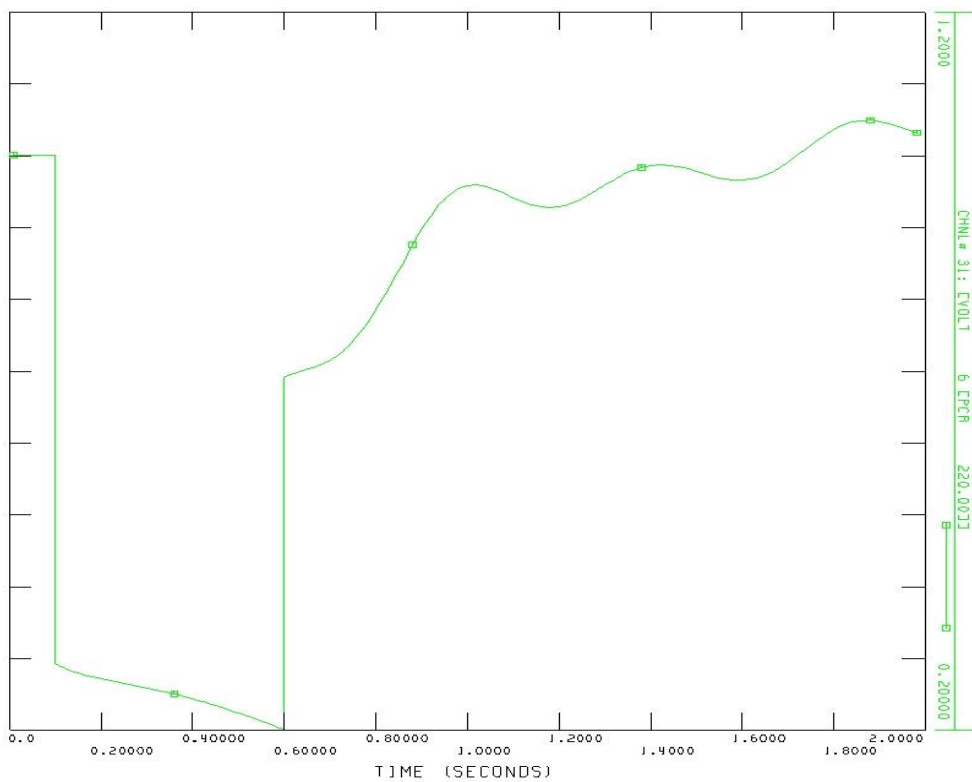
La tensión en el nudo de conexión durante la falta equilibrada y recuperación posterior se puede observar en las figuras siguientes:

En el caso de simulación de falta trifásica equilibrada la falta se aplicará cuando la tensión de una de las fases sea máxima.

En el caso de simulación de falta bifásica aislada de tierra la falta se aplicará cuando coincidan las tensiones de las fases en las que se va a simular la falta. La falta se despejará mediante un interruptor automático que abre en paso por cero de la corriente



**Figura 8-4 Tensión en el nudo de conexión durante la falta equilibrada y recuperación de la falta.**



**Figura 8-5 Tensión en el nudo de conexión durante la falta equilibrada y recuperación de la falta (detalle de los primeros 2 s).**



### **8.3. EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA ANTE HUECOS DE TENSIÓN PARA SIMULACIÓN**

La parte final del proceso de simulación consiste en la evaluación de la respuesta del parque eólico ante huecos de tensión. Una vez definido el sistema eléctrico, los elementos dinámicos asociados a él y las condiciones iniciales previas a la simulación se procederá a aplicar una falta en el punto de conexión a red correspondientes a las cuatro categorías de ensayo (ver apartado 6.2).

Como condiciones iniciales previas a la simulación se considerarán las indicadas en el apartado 8.2.5 una vez que, en bornes de los aerogeneradores, se ajusten las condiciones iniciales para que la potencia activa generada sea la correspondiente al caso de carga parcial o plena carga y la potencia reactiva, en ese punto, tome valor nulo.

Una vez realizadas las simulaciones se comprobará para cada categoría de ensayos la conformidad con los requisitos de:

#### **(1) Continuidad de suministro:**

En la simulación se comprobará que el parque eólico soporte sin desconexión los huecos especificados en el proceso de ensayo. Para realizar estas simulaciones es preciso que el modelo de simulación contenga internamente las protecciones que determinen el disparo del aerogenerador ante huecos de tensión y devuelvan una señal de desconexión del mismo.

En el caso que se simule el parque eólico completo (sin agregación) se admitirá que la instalación simulada garantiza la continuidad de suministro si permanecen conectados durante el hueco un número de máquinas tal que la pérdida de potencia activa generada no supera el 5% de la potencia previa a la falta. En el caso de utilizar un parque eólico equivalente (con agregación) el disparo del aerogenerador marcará la continuidad de suministro de la instalación completa.

#### **(2) Niveles de tensión e intensidad en bornes del aerogenerador**

Una vez comprobado el nivel de tensión exigido, se han de medir y registrar los valores de tensión e intensidad en cada fase para las cuatro categorías (ver Tabla II) durante los ensayos en carga (aerogenerador conectado durante el cortocircuito).

Se considerará válido el ensayo en campo para validación de modelos cuando durante el proceso de simulación de cortocircuitos en el PCC del parque eólico se compruebe:

- El nivel de tensión residual calculado en el punto de medida  $V_{RES\_PE\_SIM}$  (en bornes del aerogenerador o del transformador elevador si este se incluyó en el ensayo) es igual o

superior al registrado en el ensayo en campo  $V_{RES\_PE\_TEST}$  restado a éste último una tolerancia del 2 %.

$$V_{RES\_PE\_SIM}(p.u) \geq (V_{RES\_PE\_TEST}(p.u) - 0.02) \quad (3)$$

- Los niveles de intensidad calculados en el punto de medida (bornes del aerogenerador o del transformador elevador si este se incluyó en el ensayo) para cada fase son inferiores a los registrados en el ensayo en campo. La comprobación de este requisito se efectuará para los valores máximos registrados en la zona A y C (ver definición de zonas en el apartado 9.1)

**(3) Intercambios de potencia activa y reactiva** según se indica en el PO 12.3 que se calculará según la metodología de cálculo del apartado 9.2 de este documento. Para verificar el cumplimiento del requisito sobre la relación entre la componente reactiva de la corriente aportada durante el defecto y la corriente total (apartado 4.1 del P.O.12.3), se considerará el valor medio de las medidas de corriente efectuadas en la zona B del hueco de tensión definido en el apartado 9.1

En la simulación del parque eólico se confirmará que no se ha buscado un instante de ocurrencia y despeje del cortocircuito, ni un factor de potencia de los aerogeneradores que sean especialmente favorables al cumplimiento del P.O.12.3 y P.O.12.2 SENP.

Para los parques existentes, si durante la simulación la tensión eficaz en el aerogenerador permanece, en todo momento, por encima del 85% de la tensión nominal del aerogenerador se podrán representar los aerogeneradores mediante un modelo no validado según el ensayo descrito en el apartado 6.2.1. Se deberán incluir las protecciones de sobrevelocidad y sobreintensidad que puedan desconectar la máquina.

Los modelos que se emplearán en las simulaciones atendiendo a su tecnología son:

- Generadores asíncronos de jaula de ardilla y asíncronos con inserción de resistencias rotóricas conmutadas. Se utilizará un modelo de quinto orden:
  - o Con los parámetros suministrados por el fabricante se comprobará que se obtiene las características de funcionamiento nominal de placa con un margen de 10%, para P y Q.
  - o Sin parámetros suministrados por el fabricante, se tomarán los datos de la tabla del anexo II, y se calcularán el resto para obtener las características nominales.
  - o Para la inercia, si no se tiene los datos del fabricante, se tomará un valor de  $H=4s$  constante.

- Generador asíncrono de doble alimentación: Se partirá de un modelo simplificado que considere, al menos, la dinámica eléctrica del rotor para poder determinar el disparo de la máquina por sobrecorriente.
- Generador síncrono con convertidor total: Se modelará como una fuente de corriente constante.

En el caso especial de generadores asíncronos de jaula de ardilla, se podrá emplear un modelo no validado incluso si la tensión del aerogenerador baja del 85% de la tensión nominal, con la salvedad de que los parámetros del modelo deben ser suministrados por el fabricante. En el caso de disponer de los valores contrastados con una tolerancia, la simulación se debe realizar en el caso más desfavorable (se debe de realizar un análisis de sensibilidad con objeto de definir esto). El modelo mecánico empleado será de doble masa.

Para los parques existentes, los aerogeneradores que dispongan de informe acreditado de ensayo se admitirá el empleo de los modelos simplificados siguientes:

- Modelo general para aerogeneradores con informe acreditado. Este modelo estará compuesto de una fuente de corriente/tensión y unas protecciones que cumplan exactamente los límites impuestos para la obtención del informe de acreditación (véase apartado 6.2.2):
  - Se disparará el aerogenerador por mínima tensión, en el sistema peninsular, obedeciendo a los valores de tensión y tiempo que vienen reflejados en la siguiente tabla:

Tensión (pu)	Tiempo(s)
0,19	Instantáneo
0,3	0,58
0,5	0,75
0,7	0,9
0,8	1

- El consumo de potencia reactiva en la zona A (ver caracterización de zonas durante el hueco, apartado 9.1) será superior o igual al 15% de su potencia nominal y en la zona B será superior o igual al 5% de su potencia nominal.
- El valor de potencia activa generada por la máquina en la zona A será tal que se cumpla que el módulo de la corriente entregada por el aerogenerador sea el mismo que el que existía antes de que se produjera la falta.
- El consumo de potencia activa en la zona B será superior o igual al 10% de su potencia nominal.
- En la zona comprendida entre el instante de despeje de la falta ( $T_3$ , ver apartado 9) y  $T_3 + 150$  ms el consumo será igual o superior a 1,5 veces la intensidad correspondiente a su potencia nominal registrada, aun cuando la tensión haya

superado 0,85 p.u. en ese tiempo. Asimismo, la corriente activa será nula durante este periodo de tiempo.

- Modelo particular para este aerogenerador tipo. Este modelo será similar al anterior pero empleando los valores obtenidos en los ensayos para los ajustes del disparo por mínima tensión y los consumos de potencia/ intensidad reactiva. Se deberán emplear los valores más elevados que se hayan medido en los ensayos realizados.

## 9. TÉCNICAS DE MEDIDA

Tanto en los ensayos en campo como en el proceso de simulación todos los registros de tensión y corriente muestreados para cada fase se realizarán con una frecuencia de muestreo (o paso de integración equivalente) de al menos 5 KHz. En cada ensayo, el registro de los valores instantáneos de tensión y corriente deberá incluir al menos los 10 segundos previos al inicio del hueco de tensión y al menos los 5 segundos posteriores a  $T_4$ . En los registros previos se determinará la frecuencia que se utilizará como dato de partida para determinar inicialmente la tensión eficaz  $U_{ef(1/4)}$ .

### 9.1. CARACTERIZACIÓN DE ZONAS DURANTE EL HUECO

El PO 12.3 y P.O.12.2 SENP, define tres zonas durante el hueco de tensión, ilustradas en la Figura 9-1 que se caracterizan en función del umbral de hueco y de la tensión residual de hueco:

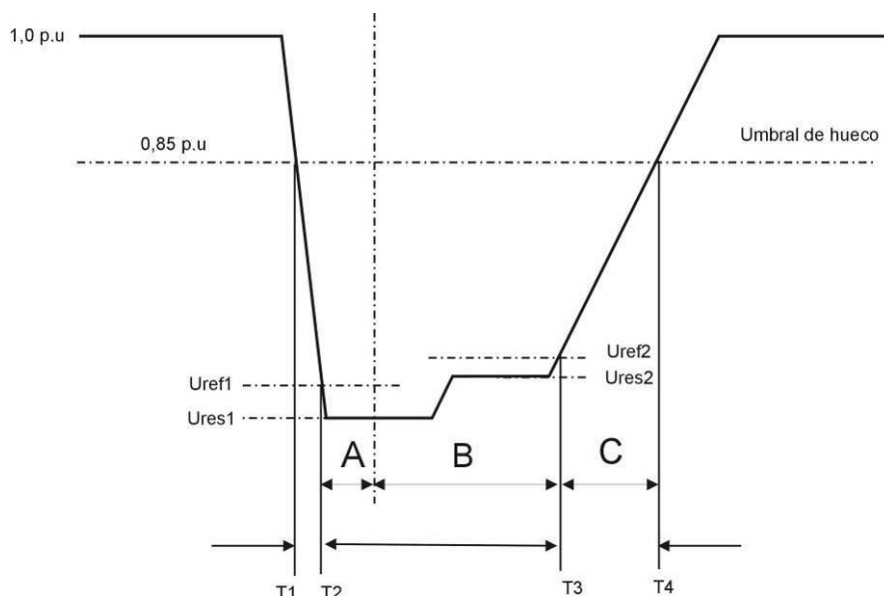


Figura 9-1 Caracterización del hueco de tensión en el ensayo en campo.

La determinación de puntos característicos sobre la tensión  $U_{ef(1/4)}$  se efectuará de la siguiente manera:

- Instante de inicio de hueco ( $T_1$ ): instante en que la tensión  $U_{ef(1/4)}$  de una de las fases cae por debajo del umbral de hueco (IEC 61000-4-30).
- Instante de fin de hueco ( $T_4$ ): tensión  $U_{ef(1/4)}$  en todos los canales medidos es igual o superior al umbral de hueco (IEC 61000-4-30)
- Instante de inicio y fin de fondo de hueco ( $T_2$  y  $T_3$ ): Los instantes  $T_2$  y  $T_3$  se determinan a partir de los valores de tensión  $U_{ef(1/4)}$  medidos.

Debido a que durante el periodo de hueco la tensión residual se puede ver modificada por intercambios de potencia reactiva se distinguirá entre el cálculo del instante  $T_2$  (inicio de fondo de hueco) y  $T_3$  (fin de fondo de hueco).

La determinación del punto  $T_2$  se apoya en el cálculo de una tensión de referencia  $U_{ref1}$ , como se ilustra en la Figura 9-1, de tal forma que en todo momento el valor de  $U_{ref1}$  no difiera en más del 3% de la tensión alcanzada al principio del fondo de hueco,  $U_{res1}$ .

De forma análoga, el punto  $T_3$  se calcula a partir de una tensión de referencia  $U_{ref2}$  (ver Figura 9-1), de tal forma que en todo momento el valor de  $U_{ref2}$  no difiera en más del 3% de la tensión alcanzada al final del fondo de hueco,  $U_{res2}$ .

El cálculo de  $U_{ref1}$  y  $U_{ref2}$  se determinarán a partir de un algoritmo robusto que detecte los cambios de pendiente de la tensión  $U_{ef(1/4)}$  medida de forma muy precisa para determinar correctamente las zonas durante el hueco.

Una vez obtenido el valor de  $U_{ref1}$  y  $U_{ref2}$ , así como los tiempos asociados  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  y  $T_4$ , se consideran las zonas A , B y C como:

- Zona A: Todos los valores de tensión  $U_{ef(1/4)}$  comprendidos entre el instante  $T_2$  y  $T_2+150ms$
- Zona B: Todos los valores de tensión  $U_{ef(1/4)}$  comprendidos entre el instante  $T_2+150ms$  y  $T_3$
- Zona C: Todos los valores de tensión  $U_{ef(1/4)}$  comprendidos entre el instante  $T_3$  y el menor de los siguientes valores  $T_4$  ó  $T_3+150 ms$ .

Una vez obtenidas las zonas, se procederá al cálculo de los siguientes valores actualizados cada periodo. Para obtener las medidas se utilizarán equipos de medida según la norma IEC 61400-21.

A efectos de cálculo se considerará que el primer ciclo a partir del cual se calcularán los valores anteriores lo marcará el primer valor de  $U_{ef(1/4)}$  posterior al umbral de inicio de hueco.

## **9.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE POTENCIAS**

En este apartado se propone la metodología de cálculo de la potencia activa, potencia reactiva, intensidad reactiva y valor eficaz de tensión que se empleará para determinar el requisito de conformidad de la respuesta ante huecos de tensión según se especifica en el PO 12.3 y que también es aplicable en los sistemas eléctricos no peninsulares. Esta metodología será de

aplicación tanto para los ensayos en campo como para las simulaciones a las que se hace referencia en este documento.

El método de medida de los valores instantáneos de tensión, corriente y frecuencia se efectuarán conforme a la norma IEC 61000-4-30: Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-30: Técnicas de ensayo y de medida. Métodos de medida de la calidad de suministro.

1.- Se recomienda que la frecuencia determinada sobre los 10 ciclos previos al hueco, se utilice para el cálculo de fasores durante el hueco. El valor de la frecuencia calculada por fase,  $f$ (Hz), permitirá determinar el periodo de la ventana de cálculo  $T$ (s), ( $T=1/f$ ), y se mantendrá constante durante todo el ensayo o simulación.

2.- Tomando una frecuencia de muestreo  $f_s$  (Hz), constante y superior a 5 KHz, se determinará el número de muestras  $N$ , por ventana de cálculo como: el número par y entero más próximo al producto del periodo de la ventana por la frecuencia de muestreo,  $T \cdot f_s$ .

3.- A partir de las  $N$  muestras de los valores instantáneos de tensión de fase  $u(n)$ , y de corriente de fase  $i(n)$ , se determinan los valores complejos de estas magnitudes para el armónico fundamental haciendo uso de las siguientes expresiones

$$\underline{U}_1 = \frac{\sqrt{2}}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \cdot e^{-j \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{N}\right)} \quad \underline{I}_1 = \frac{\sqrt{2}}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} i(n) \cdot e^{-j \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{N}\right)} \quad (4)$$

4.- El valor de la potencia activa  $P$ , y reactiva  $Q$ , trifásica se calcula haciendo uso del módulo y argumento de los valores complejos de la expresión (4) para cada una de las tres fases. En el proceso de cálculo de la potencia activa y reactiva se considerará exclusivamente la componente de secuencia positiva de la tensión ( $\underline{U}^+$ ) y la intensidad ( $\underline{I}^+$ ) cuyo valor se determina a partir de los valores de fase según la expresión (5)

$$\underline{U}^+ = \frac{1}{3} \cdot (\underline{U}_{1A} + \underline{U}_{1B} \cdot e^{+j \frac{2 \cdot \pi}{3}} + \underline{U}_{1C} \cdot e^{-j \frac{2 \cdot \pi}{3}})$$

$$\underline{I}^+ = \frac{1}{3} \cdot (\underline{I}_{1A} + \underline{I}_{1B} \cdot e^{+j \frac{2 \cdot \pi}{3}} + \underline{I}_{1C} \cdot e^{-j \frac{2 \cdot \pi}{3}}) \quad (5)$$

donde:

$\underline{I}_{1A,B,C}$ : expresión compleja correspondiente al valor eficaz de la componente fundamental de la corriente (A) de fase A, B y C cada periodo

$\underline{U}_{1A,B,C}$ : expresión compleja correspondiente al valor eficaz de la componente fundamental de la tensión fase neutro (V) de la fase A, B y C cada periodo

A partir de la componente de secuencia positiva de la tensión e intensidad se obtienen las expresiones de la potencia trifásica activa y reactiva como

$$P = 3 \cdot U^+ \cdot I^+ \cdot \cos(\varphi) \quad (6)$$

$$Q = 3 \cdot U^+ \cdot I^+ \cdot \text{sen}(\varphi)$$

donde

$U^+$  es el módulo de la componente de secuencia positiva de la tensión, en (V)

$I^+$  es el módulo de la componente de secuencia positiva de la corriente en (A)

$\varphi$  ángulo existente entre la componente de secuencia positiva de la tensión y de corriente (rad)

5.- El valor de la intensidad reactiva y la intensidad total, a la que hace alusión el PO 12.3. y P.O.12.2 SENP, se determinarán mediante las siguientes expresiones

$$I_r = I^+ \cdot \text{sen}(\varphi) \quad (7)$$

$$I_{tot} = I^+ \quad (8)$$

6.- El valor eficaz de la tensión de cada fase,  $U_{rms}$  se determinará según la expresión

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} (u(n) - \bar{u})^2} \quad \bar{u} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \quad (9)$$

El valor medio de la tensión en el periodo,  $\bar{u}$ , indica la componente de continua registrada en el periodo.

7.- El cálculo de los valores indicados en los puntos 3 a 6 se efectuará desplazando la ventana de cálculo cada 1/4 de periodo manteniendo constante el número de muestras N. (4 registros por periodo).

Queda a consideración del laboratorio aumentar la frecuencia de muestreo o el número de veces que se desplaza la ventana de datos por periodo para mejorar la precisión en la medida.



8.- Tanto en el caso de faltas equilibradas como desequilibradas el cálculo de la potencia trifásica se efectuará mediante la suma algebraica de cada fase según se indica en el punto 4 de este apartado.

## 10. REFERENCIAS

- PO 12.3 (4 de Octubre 2006): Requisitos de respuesta frente a huecos de tensión de las instalaciones eólicas.
- PO 12.2 SENP (16 de Febrero 2018): Instalaciones conectadas a la red de transporte y equipo generador: requisitos mínimos de diseño, equipamiento, funcionamiento, puesta en servicio y seguridad» de los sistemas eléctricos no peninsulares.
- UNE-EN ISO/IEC 17025 Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- IEC 61000-4-30: Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-30: Técnicas de ensayo y de medida. Métodos de medida de la calidad de suministro.
- IEC 61400-21 Ed2 Medida y evaluación de las características de la calidad de suministro de las turbinas eólicas conectadas a la red.

## ANEXO I: MODELO DE INFORME

A continuación se exponen las tablas necesarias para cumplimentar los diversos informes correspondientes a cada uno de los siguientes procesos:

- Proceso: Ensayo y medida de la respuesta individual de un aerogenerador o dispositivo FACTS ante huecos de tensión.  
Informe a emitir: (1) INFORME ACREDITADO DE VERIFICACIÓN DE ENSAYO  
Tablas a rellenar: Tabla AI.1 para el informe Tipo 1.A para aerogeneradores por el proceso general.  
Tabla AI.1, Tabla AI.7 y Tabla AI.8 para el informe Tipo 1.A para aerogeneradores por el proceso particular de cumplimiento directo del P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP.  
Tabla AI.2 para el informe Tipo 1.B para FACTS.
- Proceso: Validación de modelos informáticos de aerogeneradores o dispositivos FACTS en base a las medidas registradas en los ensayos en campo.  
Informe a emitir: (2) INFORME ACREDITADO DE VALIDACIÓN DE MODELOS  
Tablas a rellenar: Tabla AI.3 para el informe Tipo 2.A para aerogeneradores.  
Tabla AI.4 para el informe Tipo 2.B para FACTS.
- Proceso: Verificación de la conformidad de las instalaciones eólicas con los requisitos de respuesta indicados en el P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP.  
Informe a emitir: (3) INFORME VERIFICADO DE LA INSTALACIÓN EÓLICA  
Tablas a rellenar: Tabla AI.5, Tabla AI.6 y Tabla AI.8.

En las Tablas AI.1 a AI.5 se exponen las especificaciones técnicas de los aerogeneradores, dispositivos FACTS o instalaciones eólicas, según sea el tipo de informe a cumplimentar.

En las Tablas AI.6 a AI.8 se exponen los registros de potencia y energía durante faltas trifásicas o bifásicas, según sea proceso general o particular de verificación.

**Tabla AI.1. Datos que definen el aerogenerador ensayado.**

<b>INFORME DE ENSAYO EN CAMPO DE AEROGENERADORES</b>	
Nº de informe de ensayo en campo:	
Fecha de informe de ensayo en campo:	
Nombre del aerogenerador (marca y modelo):	
Tecnología:	
Fecha de fabricación del aerogenerador:	
Lugar y fecha del ensayo:	
Fabricante:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL AEROGENERADOR</b>	
<b>Generador eléctrico:</b>	
Tipo, marca y modelo del generador eléctrico:	
Potencia nominal registrada Sn (kVA):	
Tensión nominal (V):	
<b>Convertidor electrónico:</b>	
Tipo, marca y modelo del convertidor eléctrico:	
Potencia nominal (kW):	
Tensión nominal (V):	
<b>Transformador BT/MT:</b>	
Tipo, marca y modelo del transformador BT/MT:	
Potencia nominal (kVA):	
Relación tensiones (V/V):	
Grupo de conexión:	
Tensión de cortocircuito (%):	
<b>Control:</b>	
Tipo, marca y modelo de control:	
Versión del software de control:	

**Tabla AI.2. Datos que definen el dispositivo FACTS ensayado.**

<b>INFORME DE ENSAYO DE DISPOSITIVOS FACTS</b>	
Nº de informe de ensayo:	
Fecha de informe de ensayo:	
Nombre del dispositivo FACTS:	
Fecha de fabricación del dispositivo FACTS:	
Lugar y fecha del ensayo:	
Fabricante:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL DISPOSITIVO FACTS</b>	
<b>Dispositivo FACTS:</b>	
Marca y modelo:	
Tecnología:	
Potencia nominal (kW):	
Tensión nominal (V):	
<b>Software de control del dispositivo FACTS:</b>	
Fabricante del software de control:	
Tipo, marca y modelo de control:	
Versión del software de control:	

**Tabla AI.3. Datos de identificación técnica de un aerogenerador**

para validación de su modelo informático de simulación.

<b>INFORME DE VALIDACIÓN DE MODELO DE AEROGENERADOR</b>	
Nº de informe de validación de modelo:	
Fecha de validación de modelo:	
Laboratorio acreditado emisor del informe de validación de modelo:	
<b>INFORME DE VERIFICACIÓN DE ENSAYO EN CAMPO</b>	
Nº de informe de verificación de ensayo en campo:	
Lugar y fecha de ensayo:	
Laboratorio acreditado emisor del informe de ensayo en campo:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL AEROGENERADOR</b>	
<b>Aerogenerador objeto de ensayo:</b>	
Fabricante:	
Marca y modelo:	
Tecnología:	
<b>Generador eléctrico:</b>	
Tipo, marca y modelo del generador eléctrico:	
Potencia nominal registrada $S_n$ (kVA):	
Tensión nominal (V):	
<b>Convertidor electrónico:</b>	
Tipo, marca y modelo del convertidor electrónico:	
Potencia nominal (kW):	
Tensión nominal (V):	
<b>Transformador BT/MT:</b>	
Tipo, marca y modelo del transformador BT/MT:	
Potencia nominal (kVA):	
Relación tensiones (V/V):	
Grupo de conexión:	
Tensión de cortocircuito (%):	
<b>Control:</b>	
Tipo, marca y modelo de control:	
Versión del software de control:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL AEROGENERADOR</b>	
Nombre del modelo de simulación del aerogenerador:	
Software de simulación y versión del software:	
Entidad suministradora del modelo de simulación:	

Tabla AI.4. Datos de identificación técnica de un dispositivo FACTS para validación de su modelo informático de simulación.

<b>INFORME DE VALIDACIÓN DE MODELO DE UN DISPOSITIVO FACTS</b>	
Nº de informe de validación de modelo:	
Fecha de validación de modelo:	
Laboratorio acreditado emisor del informe de validación de modelo:	
<b>INFORME DE VERIFICACIÓN DE ENSAYO</b>	
Nº de informe de verificación de ensayo:	
Lugar y fecha de ensayo:	
Laboratorio acreditado emisor del informe de ensayo:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL DISPOSITIVO FACTS</b>	
<b>Dispositivo FACTS:</b>	
Fabricante del dispositivo FACTS:	
Marca y modelo:	
Tecnología:	
Potencia nominal (kW):	
Tensión nominal (V):	
<b>Software de control del dispositivo FACTS:</b>	
Fabricante del software de control:	
Tipo, marca y modelo de control:	
Versión del software de control:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL DISPOSITIVO FACTS</b>	
Nombre del modelo de simulación del dispositivo FACTS:	
Software de simulación y versión del software:	
Entidad suministradora del modelo de simulación:	

**Tabla AI.5. Datos de identificación técnica de una instalación eólica para su verificación conforme al P.O. 12.3. y P.O12.2 SENP**

<b>ESPECIFICACIONES DE LA INSTALACIÓN EÓLICA</b>	
Nombre del parque eólico:	
Sociedad promotora:	
Ubicación del parque eólico:	
Potencia instalada del parque eólico (MW):	
Subestación de conexión:	
Relación de tensiones del transformador MT/AT de subestación (kV/kV):	
<b>ESPECIFICACIONES DE LOS AEROGENERADORES</b>	
Nº de aerogeneradores:	
Fabricante:	
Marca y modelo:	
Tecnología:	
Potencia unitaria (kW):	
<b>ESPECIFICACIONES DE LOS DISPOSITIVOS FACTS</b>	
Nº de dispositivos FACTS:	
Fabricante:	
Marca y modelo:	
Tecnología:	
Potencia unitaria (kW):	
Disposición de los equipos FACTS:	

Tabla AI.6.- Registro de potencia y energía. Faltas trifásicas proceso general

<b>FALTAS TRIFÁSICAS</b>	<b>REQUISITOS P.O.12.3 / P.O.12.2 SENP</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>ZONA A</b>		
Consumo neto Q < 60% Pn (20 ms)	-0.6 p.u.	
<b>Zona B</b>		
Consumo neto P < 10% Pn (20 ms)	-0.1 p.u.	
Ir/Itot media	0.9 p.u.	
<b>ZONA C</b>		
Consumo neto Er < 60% Pn *150 ms	-90 ms.pu	
Consumo neto Ir < 1,5 In (20 ms)	-1.5 p.u.	

Tabla AI.7.- Registro de potencia y energía. Faltas trifásicas proceso particular

<b>FALTAS TRIFÁSICAS</b>	<b>REQUISITOS P.O.12.3 / P.O.12.2 SENP</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>ZONA A</b>		
Consumo neto Q < 15% Pn (20 ms)	-0.15 p.u.	
<b>Zona B</b>		
Consumo neto P < 10% Pn (20 ms)	-0.1 p.u.	
Consumo neto Q < 5% Pn (20 ms)	-0.05 p.u.	
Ir/Itot media	0.9 p.u.	
<b>ZONA C ampliada (T<sub>3</sub>+150ms)</b>		
Consumo neto Ir < 1,5 In (20 ms)	-1.5 p.u.	

Tabla AI.8.- Registro de potencia y energía. Faltas bifásicas aisladas

<b>FALTAS BIFÁSICAS</b>	<b>REQUISITOS P.O.12.3 / P.O.12.2 SENP</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>ZONA B</b>		
Consumo neto Er < 40% Pn *100 ms	-40 ms.pu	
Consumo neto Q < 40% Pn (20 ms)	-0.4 p.u.	
Consumo neto Ea < 45% Pn *100 ms	-45 ms.pu	
Consumo neto P < 30% Pn (20 ms)	-0.3 p.u.	

Los consumos de potencias se expresan en valor normalizado (p.u.) a la potencia nominal registrada del aerogenerador ensayado. Los consumos de energía se expresan también en valor normalizado de la potencia por la unidad de tiempo en milisegundos (ms\*pu)

En el modelo de informe se incluirán los registros de tensión y corriente de los ensayos realizados.

## ANEXO II: VALORES TÍPICOS DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN GENERADOR ASÍNCRONO DE JAULA DE ARDILLA DE POTENCIA DEL ORDEN DEL MEGAVATIO

Tabla: Parámetros característicos del circuito equivalente del generador en p.u.

Resistencia de estator	0.005 – 0.007
Resistencia de rotor	0.005 – 0.007
Reactancia de dispersión de estator	0.1 – 0.15
Reactancia de dispersión de rotor	0.04 – 0.06
Reactancia magnetizante	4 – 5

Cuando se desconozcan los parámetros del circuito equivalente del generador se tomarán de la tabla, los valores de resistencia de estator, reactancia de dispersión de estator y reactancia magnetizante, y se calcularán los valores de resistencia de rotor y reactancia de dispersión de rotor que proporcionan la potencia activa y reactiva nominal a la tensión y velocidad nominal del generador.

Ejemplo: Sea un generador de 900 kW, 690 V, 1510 rpm,  $\cos\phi=0,91$ .

Se tomarán los valores:

$$R_s = 0,006 \text{ p.u.}$$

$$X_{\sigma s} = 0,125 \text{ p.u.}$$

$$X_m = 5 \text{ p.u.}$$

En unidades del S.I.

$$S = P/\cos\phi = 989 \text{ kVA}$$

$$Z_b = U^2/S = 0,48 \Omega$$

$$R_s = 2,88 \text{ m}\Omega$$

$$X_{\sigma s} = 60 \text{ m}\Omega$$

$$X_m = 1,92 \Omega$$

Con los valores de estos parámetros es posible calcular el valor de los otros dos parámetros mediante las ecuaciones del circuito equivalente y los valores de las magnitudes de tensión y corriente en el punto de funcionamiento nominal.

$$\vec{U}_s = R_s \vec{I}_s + jX_s \vec{I}_s + jX_m \vec{I}_r$$

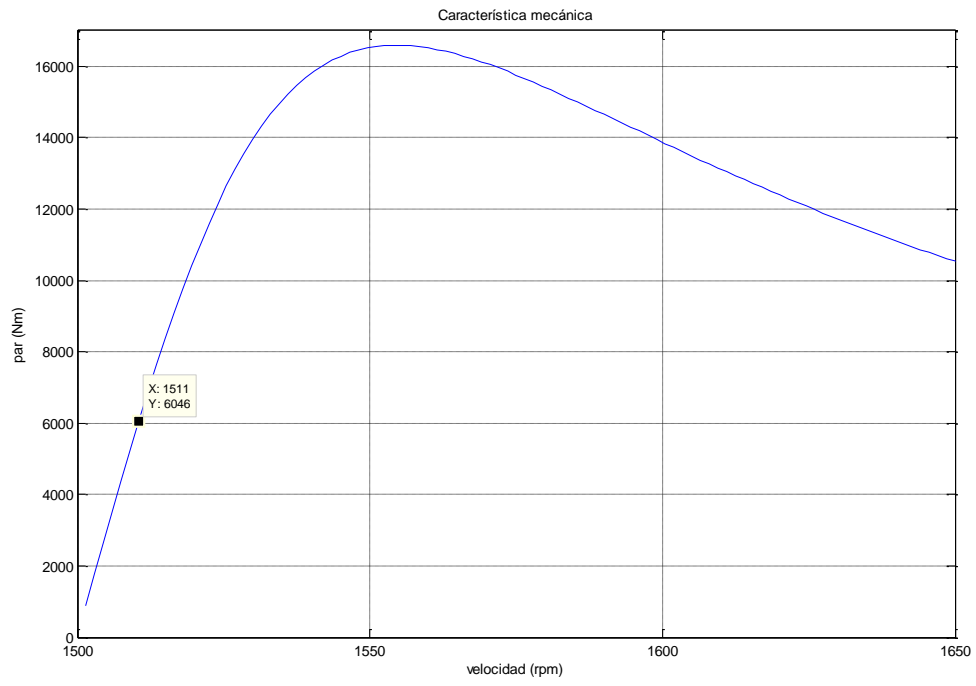
$$\vec{U}_r = \frac{R_r}{s} \vec{I}_r + jX_r \vec{I}_r + jX_m \vec{I}_s$$

$$R_s = 5,8 \text{ m}\Omega$$

$$X_{\sigma s} = 11,4 \text{ m}\Omega$$

Con estos valores de los parámetros la característica mecánica del generador resultante se representa en la siguiente figura, donde se indica aproximadamente el punto de funcionamiento nominal.





## **ANEXO III: INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS**

### **1 INTRODUCCIÓN**

Este Anexo establece el proceso para la verificación de los requerimientos establecidos en el Procedimiento de Operación P.O. 12.3 y/o el Procedimiento de Operación 12.2 SENP “Requisitos de respuesta frente a huecos de tensión de las instalaciones eólicas” y/o Instalaciones conectadas a la red de transporte y equipo generador: requisitos mínimos de diseño, equipamiento, funcionamiento, puesta en servicio y seguridad» de los sistemas eléctricos no peninsulares, en instalaciones fotovoltaicas.

El objetivo es proporcionar un proceso particular de medida y evaluación de la respuesta de los Sistemas de Conversión Fotovoltaico (SCFV) ante huecos de tensión que verifique el cumplimiento de los requisitos especificados en el P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP.

El proceso General es el descrito en el cuerpo principal del PVVC en el apartado 4.1.

Para todo lo no contemplado en este anexo III se aplicará lo estipulado en la parte principal del PVVC, siempre y cuando sea de aplicación a la tecnología fotovoltaica.

### **2 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS ESPECÍFICAS**

#### **Sistema de conversión fotovoltaico (SCFV).**

Se consideran diferentes tipos de sistemas de conversión:

1. Inversor fotovoltaico
2. Inversor fotovoltaico + FACTS
3. Conjunto de inversores fotovoltaicos + FACTS

**Laboratorio acreditado:** Laboratorio de ensayos acreditado conforme a la norma ISO/IEC17025 para este Anexo III.

**Informe de ensayo:** Informe emitido por un Laboratorio acreditado del ensayo de un SCFV.

**Entidad de Certificación:** Organismo de certificación acreditado por ENAC o cualquier otra entidad acreditadora firmante de los acuerdos de reconocimiento mutuo con ésta, conforme a la norma UNE-EN ISO/IEC 17065 en el cumplimiento de este Anexo III.

**Entidad de Inspección acreditada:** Entidad jurídica, acreditada como entidad de inspección según UNE-EN ISO/IEC 17020 de tipo A para verificación de huecos de tensión en instalaciones fotovoltaicas, por ENAC o cualquier otra entidad acreditadora firmante de los acuerdos de reconocimiento mutuo con ésta.

**Certificado de conformidad:** Documento emitido por una Entidad de Certificación o una Entidad de Inspección acreditada por una entidad de acreditación (ENAC o cualquier otra entidad acreditadora firmante de los acuerdos de reconocimiento mutuo con ésta) y autorizada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, relativo a una instalación o conjunto de instalaciones

en la que se haga referencia a su identificación CIL y al código de la agrupación a la que pertenecen.

**Instalación, instalación fotovoltaica:** A efectos de este anexo, se entiende por tal una central de generación fotovoltaica, que comprende uno o más Sistemas de Conversión Fotovoltaico y con independencia de su tamaño y modo de autorización administrativa.

**Potencia de salida de un inversor (Pout):** Potencia activa en terminales de corriente alterna de un inversor en un momento dado.

**Informe de inspección de la instalación:** Informe de la inspección de una instalación fotovoltaica para cumplimiento con el P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP.

### **3 ESTRUCTURA DE CERTIFICACIÓN**

Para garantizar el cumplimiento de los requerimientos expuestos en este documento, será necesaria la obtención de un certificado de conformidad de la instalación fotovoltaica o conjunto de instalaciones fotovoltaicas. El certificado será emitido por una Entidad de Certificación o Entidad de Inspección acreditada, que garantice el cumplimiento de dichos requerimientos.

La estructura de certificación se realizará según el siguiente esquema:

1. Un laboratorio acreditado para este Anexo III, realiza los ensayos.
2. Una Entidad de Certificación o Entidad de Inspección acreditada expide el certificado de conformidad. Esta certificación deberá revisarse cada 5 años.

### **4 PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN**

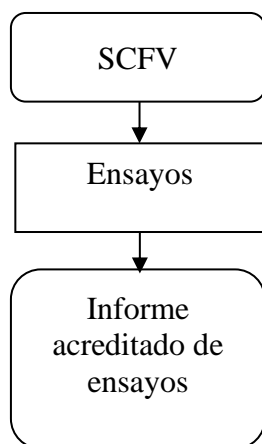
Se considerará que una instalación fotovoltaica cumple los requerimientos del P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP cuando todos los sistemas de conversión fotovoltaicos que formen la instalación posean el informe de cumplimiento del procedimiento de ensayo aquí propuesto y la Entidad Certificadora o Entidad de Inspección acreditada, previo análisis de la documentación y visita de planta, emita el certificado correspondiente.

En caso de que los sistemas de conversión fotovoltaicos utilizados en una instalación no estén en posesión de este informe, las pruebas de validación definidas en este documento se podrán realizar en la propia instalación por un laboratorio acreditado, bien sea a toda la instalación o a aquellos sistemas de conversión fotovoltaicos que no dispongan del informe.

Durante el procedimiento se realizan las siguientes verificaciones:

1. Verificación de que los SCFV no se desconectan como consecuencia de huecos de tensión en el punto de conexión a red, asociados a faltas correctamente despejadas según la curva tensión tiempo indicada en el P.O. 12.3 y P.O.12.2 SENP.
2. Verificación de que los consumos de potencia y energía (activa y reactiva) en el punto de conexión a red, para faltas equilibradas y desequilibradas, se encuentran dentro de los niveles marcados en el P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP.

Este procedimiento de verificación de los SCFV se llevará a cabo mediante la validación de los SCFV, tal como se muestra en la siguiente figura:



#### **4.1 PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN PARA SCFV DEL TIPO INVERSOR**

En el caso de que los SCFV sean del tipo inversor, el proceso se aplica a cada inversor fotovoltaico tipo.

Se consideran inversores asimilables a un inversor fotovoltaico tipo a todos los inversores que cumplan las siguientes características con respecto al inversor tipo ensayado:

1. Misma topología de etapas de potencia.
2. Misma clase de aislamiento (transformador de baja frecuencia, de alta frecuencia o sin transformador).
3. Mismo régimen de conexión AC (monofásico ó trifásico).
4. Corriente alterna nominal +- 50% con respecto al tipo ensayado.
5. Mismo algoritmo de control referente al comportamiento ante huecos de tensión.
6. Se considerarán válidas las agrupaciones de varias etapas de potencia (sistemas modulares), sin ser necesaria la repetición de ensayos.

Todo el algoritmo de control que tenga que ver con los huecos, debe estar referenciado y con versión documentada (algoritmo de control y versión del firmware).

El fabricante debe comprometerse a mantener el algoritmo de control relativo al comportamiento ante huecos de tensión, en futuras revisiones del firmware. En caso de existir algún cambio que pueda tener incidencia en el comportamiento del inversor ante huecos de tensión, deberá de comunicarse a la Entidad Certificadora.

En caso de inversores que puedan trabajar con diferentes tensiones nominales AC, el ensayo se realizará a la mínima tensión nominal AC del inversor tipo.

Como resultado de la ejecución de este procedimiento de verificación se obtendrá un informe acreditado de ensayo del inversor tipo por parte del laboratorio acreditado. Este informe incluirá el ensayo del inversor fotovoltaico tipo y los resultados de ensayo, que permitan verificar la respuesta de los inversores durante un hueco de tensión.

El informe verificado de ensayo del inversor tipo será utilizado por la Entidad de Certificación o Entidad de Inspección acreditada, para extender el certificado de conformidad a las instalaciones realizadas con inversores asimilables al inversor tipo.

## **4.2 PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN PARA SCFV QUE INCLUYAN FACTS**

En el caso de que el SCFV incorpore FACTS, el proceso se aplicará a cada inversor + FACTS o conjunto de inversores + FACTS.

El procedimiento de validación de SCFV que incorporen FACTS debe cumplir las siguientes pruebas:

- Ensayo a plena potencia del FACTS que incluya todos los elementos de control y potencia asociados.
- Informe de resultado de funcionamiento de cada inversor o del conjunto de inversores + FACTS. En caso en el que se utilicen inversores con las siguientes características, el ensayo se podrá realizar sobre solo uno, o un conjunto de ellos siendo los resultados aceptados para la validación del conjunto:
  - o Mismo fabricante.
  - o Misma topología de etapas de potencia.
  - o Misma clase de aislamiento (transformador de baja frecuencia, de alta frecuencia o sin transformador).
  - o Mismo régimen de conexión AC (monofásico ó trifásico).
  - o Corriente alterna nominal +- 50% con respecto al tipo ensayado.
  - o Mismas protecciones ante subtensiones.
  - o Se considerarán válidas las agrupaciones de varias etapas de potencia (sistemas modulares), sin ser necesaria la repetición de ensayos.

Se admite combinar a un mismo FACTS varios tipos o marcas de inversores, con los que individualmente se haya ensayado dicho FACTS.

Se considera FACTS tipo el definido en la parte anterior de este procedimiento.

Como resultado de la ejecución de este procedimiento de verificación se obtendrá un informe verificado de ensayo del FACTS y sus inversores asociados por parte del laboratorio. Este informe incluirá el ensayo del FACTS y los resultados de ensayo que permitan verificar la respuesta de los SCFV durante un hueco de tensión.

## 5 PROCESO DE ENSAYOS

En este apartado se especifican las condiciones y criterios de validez del ensayo del SCFV, así como la definición de los equipos necesarios para realizar esta prueba. Asimismo, se precisan las medidas requeridas para determinar los parámetros característicos de la respuesta ante huecos del SCFV que se va a evaluar.

Las medidas se utilizarán para verificar los parámetros característicos de la respuesta ante huecos de tensión en todo el intervalo de funcionamiento del SCFV.

### 5.1 CIRCUITO DE ENSAYO

La siguiente figura muestra un esquema unifilar del circuito utilizado para la verificación del P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP. El SCFV a ensayar será alimentado en su parte DC mediante una fuente de continua. En lado AC se alimentará mediante un sistema que simule huecos de tensión.



#### 5.1.1 Requerimientos de la alimentación DC

Para la realización de los ensayos propuestos en este procedimiento de verificación, podrá utilizarse:

Campo fotovoltaico formado por un conjunto de módulos fotovoltaicos.

Fuente de alimentación DC.

El funcionamiento de la fuente DC no interferirá con el funcionamiento del SCFV a ensayar, para que el resultado de las pruebas no difiera de la realidad.

#### 5.1.2 Requerimientos del generador de huecos de tensión

El generador de huecos de tensión podrá ser realizado mediante:

1. Divisor inductivo con las siguientes características:

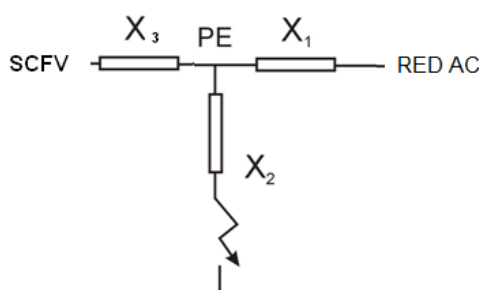


Figura AIII.1 Equipo generador de huecos

La impedancia X1, tiene como función limitar la corriente de cortocircuito aportada por la red eléctrica en la que se realiza el ensayo, podrá representar una combinación de reactancias y/o transformadores.

La impedancia X2, se ajustará de tal forma que la tensión residual en el punto PE (Punto de Ensayo) sea el correspondiente a los valores definidos en los fallos trifásicos y bifásicos.

En la rama donde se ubica la impedancia X2 debe existir un interruptor que debe operarse de tal forma que sea posible generar huecos trifásicos y bifásicos aislados. El instante de inicio y posterior recuperación de la falta se deberá generar tal que los tiempos sean equivalentes a los empleados en el cierre y apertura de un interruptor automático.

La impedancia X3 deberá ser un transformador o una combinación de reactancias y transformadores. El valor que tomará X3 es el siguiente:

- Si el SCFV no dispone de transformador elevador:  $X3=0$ .
- Si el SCFV dispone de transformador elevador se pueden dar dos casos:
  - a) X3 tomará el valor de la impedancia de cortocircuito del transformador elevador
  - b) X3 tomará el valor con una tolerancia  $\pm 20\%$  del valor de la impedancia de cortocircuito del transformador elevador en valor normalizado
- En el caso de emplear transformadores adicionales en la posición de la reactancia X3, estos podrán tener cualquier relación de transformación y deberán tener el mismo grupo de conexión que el transformador elevador del SCFV, si éste existe.

2. Dispositivo de electrónica de potencia u otro dispositivo capaz de simular una red de tensión alterna variable, en la que se implementen las curvas (tensión-tiempo) requeridas en el P.O.12.3 y/o P.O.12.2 SENP. El punto PE (Punto de Ensayo) será la conexión AC del SCFV a ensayar.

## **5.2 ENSAYO DE SCFV ANTE HUECOS DE TENSIÓN**

El ensayo se realizará aplicando con el generador de huecos una falta trifásica y una falta bifásica aislada que provoque un hueco de tensión en las fases afectadas cuyas características, basadas en el P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP, se especifican a continuación.

Las pruebas a realizar para inversores trifásicos se adjuntan en la tabla siguiente (Tabla AIII.1)

**Tabla AIII.1. Características del hueco de tensión para ensayos de SCFV trifásicos**

Procedimiento	Tensión Tiempo	Faltas	Potencia SCFV antes del hueco
P.O.12.2 SENP	Ures < 0% Un > 500 ms	Trifásica	$P_{out}>80\%$
			$10\%<P_{out}<30\%$
P.O.12.3	Ures < 20% Un > 500 ms		$P_{out}>80\%$
			$10\%<P_{out}<30\%$
P.O.12.2 SENP	Ures < 55% Un > 500 ms	Bifásica (aislada)	$P_{out}>80\%$
			$10\%<P_{out}<30\%$
P.O.12.3	Ures < 60% Un > 500 ms		$P_{out}>80\%$
			$10\%<P_{out}<30\%$

En el caso de que el inversor ensayado sea monofásico se permiten dos opciones:

- Realizar las pruebas descritas en la Tabla AIII.1 con tres inversores monofásicos conectados a un generador de huecos de tensión trifásico.
- Realizar las pruebas descritas en la Tabla AIII.2 a un solo inversor monofásico con un generador de huecos capaz de reproducir las siguientes faltas:

**Tabla AIII.2. Características del hueco de tensión para ensayos de SCFV monofásicos**

Procedimiento	Tensión - Tiempo	Potencia SCFV antes del hueco
P.O.12.2 SENP	Ures < 0% Un > 500 ms	$P_{out}>80\%$
		$10\%<P_{out}<30\%$
P.O.12.3	Ures < 20% Un > 500 ms	$P_{out}>80\%$
		$10\%<P_{out}<30\%$
P.O.12.2 SENP	Ures < 55% Un con desplazamiento de ángulo $\Phi=30$ grados a la entrada del hueco y $-30$ grados a la salida del hueco > 500 ms	$P_{out}>80\%$
		$10\%<P_{out}<30\%$
P.O.12.3	Ures < 60% Un con desplazamiento de ángulo $\Phi=30$ grados a la entrada del hueco y $-30$ grados a la salida del hueco > 500 ms	$P_{out}>80\%$
		$10\%<P_{out}<30\%$

*Aplica Nota anterior*

Durante los ensayos se registrarán las potencias activa, reactiva, corrientes y tensiones en el punto PE.

El instante de aplicación del hueco será aleatorio.

Tanto en los ensayos como en el proceso de simulación, todos los registros de tensión y corriente muestreados para cada fase se realizarán con una frecuencia de muestreo (o paso de integración



equivalente) de al menos 5 kHz. Se registrarán los instantes previos al inicio del hueco y los 5 segundos posteriores al instante del periodo de recuperación.

### **5.3 CRITERIOS DE VALIDACIÓN DE ENSAYO**

Se considerará que el SCFV ha superado el ensayo para cumplimiento directo del P.O. 12.3 y/o P.O.12.2.SENP, cuando para cada una de las categorías de ensayo indicadas en la Tabla AIII.1 o Tabla AIII.2 se cumpla lo especificado en el presente apartado:

#### (1) Nivel de tensión residual y tiempo durante el ensayo en vacío

Dependiendo de la potencia de cortocircuito existente en el punto de ensayo (PE), se ha de diferenciar la manera de obtener el perfil de hueco de tensión a aplicar:

- Si la potencia de cortocircuito en el PE es igual o superior a 5 veces la potencia registrada del SCFV a ensayar, se podrá obtener el hueco mediante un ensayo con el SCFV desacoplado del generador de huecos (en adelante “ensayo de vacío”). En el ensayo en carga (con el SCFV acoplado) posterior, el ajuste de las impedancias del equipo generador de huecos debe ser el mismo que el realizado en el ensayo en vacío. En el ensayo en vacío se comprobará que la tensión residual del hueco corresponde al valor indicado en la Tabla AIII.1.
- Si la potencia de cortocircuito en el PE es inferior a 5 veces la potencia registrada del SCFV a ensayar, obligatoriamente se ha de medir el perfil de hueco durante el ensayo en carga. En este caso se comprobará que la tensión residual del hueco corresponde al valor indicado en la Tabla AIII.1.

#### (2) Punto de operación

Para cada categoría de ensayo (ver Tablas AIII.1 y AIII.2), es condición necesaria que la potencia activa registrada previa a la realización del hueco de tensión esté dentro del intervalo que define carga parcial ( $10\% < P_{out} < 30\%$ ) y plena carga ( $P_{out} > 80\%$ ).

#### (3) Garantía de continuidad de suministro:

Si se produce desconexión del SCFV durante la aplicación del hueco de tensión, en alguno de tres ensayos consecutivos para cada categoría de ensayo (ver Tablas AIII.1 y AIII.2), se dará como no superado el ensayo del SCFV.

#### (4) Condiciones de intercambio de potencia y energía en el punto de ensayo.

El valor de corriente inyectado por el SCFV durante la falta debe cumplir con lo especificado en el P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP en cuanto a valores de corriente reactiva, consumo de potencia activa y reactiva.

Las medidas de tensión y corriente necesarias para el cálculo posterior de potencia y energía (activa y reactiva) según se indica en el P.O. 12.3 y/o P.O.12.2. SENP, se registrarán en el punto de ensayo PE.

La metodología del cálculo de la potencia activa, potencia reactiva, intensidad reactiva, y valor eficaz de tensión que se empleará para determinar el requisito de conformidad de la respuesta ante huecos de tensión según se especifica en el P.O. 12.3 y/o P.O.12.2 SENP del Sistema Eléctrico, viene definida en el apéndice C de la norma UNE-EN 61400-21 Ed2: 2008 “Medida y evaluación de las características de la calidad de suministro de los aerogeneradores conectados a la red”.

(5) Tarado del relé de mínima tensión en las instalaciones afectadas por el diferente criterio de aplicación entre la Distribuidora y el Operador del Sistema (REE)

El tarado del relé de mínima tensión que, en las instalaciones afectadas por esta problemática, se parametrize el disparo con un único escalón, a una tensión no superior al 85% de la nominal y con un retardo no inferior a 1.600 milisegundos, se podrá realizar la emisión del certificado de carácter definitivo.

Así mismo, cuando la regulación de este relé dispare por encima del 85% de la tensión nominal y antes de los 1.600 milisegundos, se podrá realizar la emisión de un certificado de carácter condicionado y válido hasta el 31 de enero de 2013, para que en dicho plazo se modifiquen los valores del relé de cabecera a lo establecido bien en el RD 1.565/2010, o a la normativa que desarrolle y establezca criterio al respecto.

## 6 MODELO DE INFORME DE ENSAYOS

A continuación se expone la información mínima necesaria para cumplimentar el informe de ensayos correspondiente:

- **Proceso:** Ensayo y medida de la respuesta individual de un sistema conversor de tipo inversor (SCFV) o de un dispositivo FACTS ante huecos de tensión.

**Informe a emitir:** INFORME ACREDITADO DE VERIFICACIÓN DE ENSAYO

En el caso de que el FACTS se haya ensayado con diferentes tipos de inversores, se deberá incluir en las tablas AIII.1 y AIII.3 para cada uno de ellos.

**Tabla AIII.3. Datos que definen el SCFV del tipo inversor ensayado.**

<b>INFORME DE ENSAYO DE SCFV DE TIPO INVERSOR</b>	
Nº de informe de ensayo:	
Fecha de informe de ensayo:	
Lugar y fecha del ensayo:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL INVERSOR TIPO</b>	
Fabricante:	
Modelo:	
Fecha de fabricación:	
Topología:	
Tipo de aislamiento galvánico:	
Régimen de conexión (monofásico o trifásico):	
Modular (Si/No):	
Modelos de inversor asimilables al inversor tipo:	
<b>Entrada CC:</b>	
Rango de tensión de entrada (V):	
Máxima corriente de entrada (A):	
<b>Salida CA:</b>	
Tensión nominal de salida (V):	
Corriente nominal de salida (A):	
Potencia nominal (kW):	
Potencia máxima (kW):	
<b>Control:</b>	
Versión del software de control:	
Fecha de implementación del software de control:	

Tabla AIII.4. Datos que definen el dispositivo FACTS ensayado.

<b>INFORME DE ENSAYO DE DISPOSITIVOS FACTS</b>	
Nº de informe de ensayo:	
Fecha de informe de ensayo:	
Nombre del dispositivo FACTS:	
Fecha de fabricación del dispositivo FACTS:	
Lugar y fecha del ensayo:	
Fabricante:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL DISPOSITIVO FACTS</b>	
<b>Dispositivo FACTS:</b>	
Marca y modelo:	
Tecnología:	
Potencia nominal (kW):	
Tensión nominal (V):	
<b>Software de control del dispositivo FACTS:</b>	
Fabricante del software de control:	
Tipo, marca y modelo de control:	
Versión del software de control:	

**Tabla AIII.5. Datos de identificación técnica de un SCFV de tipo inversor para validación de su modelo informático de simulación.**

<b>INFORME DE VALIDACIÓN DE MODELO DE INVERSOR</b>	
Nº de informe de validación de modelo:	
Fecha de validación de modelo:	
Laboratorio acreditado emisor del informe de validación de modelo:	
<b>INFORME DE VERIFICACIÓN DE ENSAYO</b>	
Nº de informe de verificación de ensayo:	
Lugar y fecha de ensayo:	
Laboratorio acreditado emisor del informe de ensayo:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL INVERSOR</b>	
Fabricante:	
Modelo:	
Fecha de fabricación:	
Topología:	
Tipo de aislamiento galvánico:	
Régimen de conexión (monofásico o trifásico):	
Modular (Si/No):	
Modelos de inversor asimilables al inversor tipo:	
<b>Entrada CC:</b>	
Rango de tensión de entrada (V):	
Máxima corriente de entrada (A):	
<b>Salida CA:</b>	
Tensión nominal de salida (V):	
Corriente nominal de salida (A):	
Potencia nominal (kW):	
Potencia máxima (kW):	
<b>Control:</b>	
Versión del software de control:	
Fecha de implementación del software de control:	

Tabla AIII.6. Datos de identificación técnica de un dispositivo FACTS para validación de su modelo informático de simulación.

<b>INFORME DE VALIDACIÓN DE MODELO DE UN DISPOSITIVO FACTS</b>	
Nº de informe de validación de modelo:	
Fecha de validación de modelo:	
Laboratorio acreditado emisor del informe de validación de modelo:	
<b>INFORME DE VERIFICACIÓN DE ENSAYO</b>	
Nº de informe de verificación de ensayo:	
Lugar y fecha de ensayo:	
Laboratorio acreditado emisor del informe de ensayo:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL DISPOSITIVO FACTS</b>	
<b>Dispositivo FACTS:</b>	
Fabricante del dispositivo FACTS:	
Marca y modelo:	
Tecnología:	
Potencia nominal (kW):	
Tensión nominal (V):	
<b>Software de control del dispositivo FACTS:</b>	
Fabricante del software de control:	
Tipo, marca y modelo de control:	
Versión del software de control:	
<b>ESPECIFICACIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL DISPOSITIVO FACTS</b>	
Nombre del modelo de simulación del dispositivo FACTS:	
Software de simulación y versión del software:	
Entidad suministradora del modelo de simulación:	

Tabla AIII.7. Registro de potencia y energía. Faltas trifásicas procesos general y particular.

<b>FALTAS TRIFÁSICAS</b>	<b>REQUISITOS PO 12.3 y/o P.O.12.2 SENP</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>ZONA A</b>		
<b>Consumo neto Q &lt; 60% Pn (20 ms)</b>	<b>-0.6 p.u.</b>	
<b>ZONA B</b>		
<b>Consumo neto P &lt; 10% Pn (20 ms)</b>	<b>-0.1 p.u.</b>	
<b>Ir/Itot media</b>	<b>0.9 p.u.</b>	
<b>ZONA C</b>		
<b>Consumo neto Er &lt; 60% Pn *150 ms</b>	<b>-90 ms.pu</b>	
<b>Consumo neto Ir &lt; 1,5 In (20 ms) (*)</b>	<b>-1.5 p.u.</b>	

(\*) Para el caso de inversores equipados con transformador interno, se permite un consumo neto hasta 3 p.u. durante los primeros 60 ms, para tener en cuenta la saturación del transformador.

**Tabla AIII.8. Registro de potencia y energía. Faltas bifásicas aisladas (los límites de consumos de potencia y energía reactiva sólo aplican a instalaciones nuevas).**

<b>FALTAS BIFÁSICAS</b>	<b>REQUISITOS PO 12.3 y/o P.O.12.2 SENP</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>ZONA B</b>		
<b>Consumo neto <math>E_r &lt; 40\% P_n *100</math> ms</b>	<b>-40 ms.pu</b>	
<b>Consumo neto <math>Q &lt; 40\% P_n (20 \text{ ms})</math></b>	<b>-0.4 p.u.</b>	
<b>Consumo neto <math>E_a &lt; 45\% P_n *100</math> ms</b>	<b>-45 ms.pu</b>	
<b>Consumo neto <math>P &lt; 30\% P_n (20 \text{ ms})</math></b>	<b>-0.3 p.u.</b>	

Los consumos de potencias se expresan en valor normalizado (p.u.) a la potencia nominal registrada del equipo ensayado. Los consumos de energía se expresan también en valor normalizado de la potencia por la unidad de tiempo en milisegundos (ms\*pu).

## **7 MODELO DE INFORME DE INSPECCIÓN DE LA INSTALACIÓN**

La información mínima, salvo justificación, que incluirá el informe de inspección de una instalación, será la siguiente:

1. IDENTIFICACION DEL PUNTO DE CONEXIÓN CON LA RED
  - a. Nivel de tensión:
  - b. Identificación:
  - c. Emplazamiento: Comunidad autónoma, Provincia, Municipio, paraje
  - d. Propiedad: Sociedad, CIF
  
2. IDENTIFICACION DE LAS INSTALACIONES (Detallado para cada una de ellas)
  - a. Código de la agrupación a que pertenece:
  - b. Nº de CIL:
  - c. Nº Registro Administrativo de Instalaciones de producción en Régimen Especial:
  - d. Emplazamiento: Comunidad autónoma, Provincia, Municipio, paraje
  - e. Propiedad: Sociedad, CIF, Dirección
  - f. Representante legal: nombre, DNI, E-mail, Teléfono
  - g. Interlocutor: nombre, DNI, E-mail, teléfono
  
3. CARACTERISTICAS DE LAS INSTALACIONES (en cuanto aplique).
  - a. Potencia nominal conjunta (kW).
  - b. Estructura soporte: Fijo, seguimiento a 1 eje, o a 2 ejes,
  - c. Nivel de tensión del punto de medida individual:
  - d. Nivel de tensión del punto de medida del totalizador (varias instalaciones):
  - e. Relés de mínima tensión: nivel, tarado y temporización
  - f. Relés de máxima y mínima frecuencia
  - g. Telemida: No aplica, individual, agrupada.
  - h. Centro de control o telemida al que está adscrito: Sociedad y CIF
  
4. COMPOSICION DE LAS INSTALACIONES (Detallado cuando aplique).
  - a. Trafo AT/MT: potencia aparente, relación de transformación, grupo de conexión y tensión de cortocircuito.
  - b. Trafo MT/BT: potencia aparente, relación de transformación, grupo de conexión y tensión de cortocircuito.
  - c. Inversores: marca, modelo, nº de serie, potencia, tensión nominal AC, versión firmware.
  - d. FACTS: marca, modelo, nº de serie, potencia, tensión nominal AC, versión firmware.
  - e. Informe del ensayo de inversores y FACTS “tipo” ante huecos de tensión: Laboratorio, CIF, autor, fecha.  
Certificado de acogimiento a “modelo tipo” de los números de serie de inversores y FACTS: Empresa, CIF, autor, fecha.



# ANEXO IV: PROCEDIMIENTO DE CERTIFICACIÓN REQUISITOS P.O.12.2 SENP

## 1. REQUERIMIENTOS DE CUMPLIMIENTO DEL PO 12.2 SENP

Los requerimientos de cumplimiento son los siguientes:

a) Un módulo de parque eléctrico debe ser capaz de inyectar rápidamente corriente de falta en el PART en caso de faltas (trifásicas) equilibradas, en las condiciones siguientes:

(i) El módulo de parque eléctrico deberá ser capaz de activar la inyección rápida de corriente de falta de una de las formas siguientes:

- Garantizando la inyección rápida de corriente de falta en el PART; o
- midiendo las variaciones de tensión en los terminales de las unidades individuales del módulo de parque eléctrico e inyectando rápidamente una corriente de falta en los terminales de estas unidades;

b) Asimismo, el módulo de parque eléctrico deberá ser capaz de inyectar rápidamente corriente de falta en caso de faltas (monofásicas o bifásicas) desequilibradas.

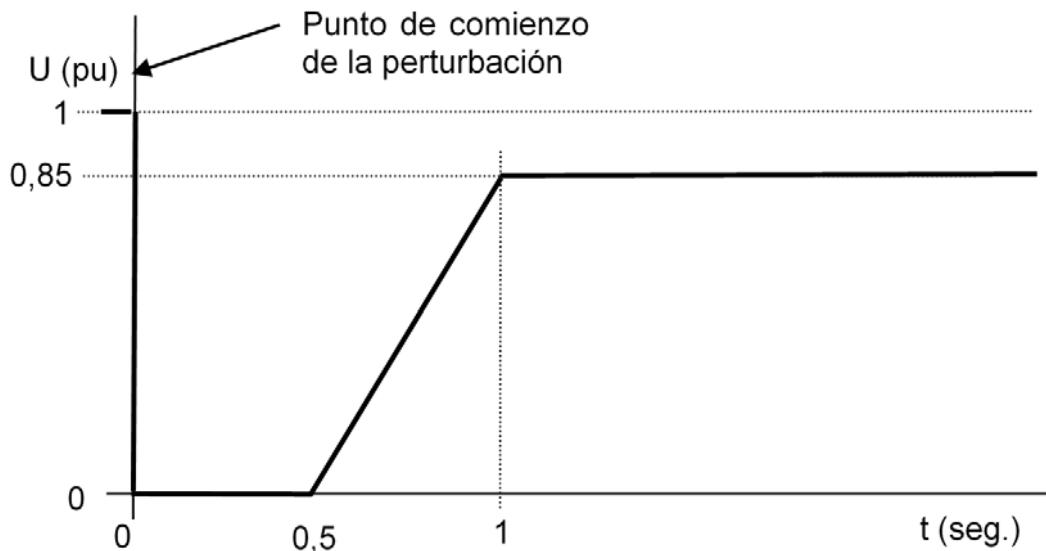
c) A los efectos indicados en este apartado, letras a) y b) y del resto de aspectos de comportamiento durante huecos de tensión, aplicará lo establecido en el vigente PO12.3 en tanto no se apruebe un procedimiento de operación a nivel peninsular que desarrolle el requisito de inyección rápida de corriente de falta tal como establece el Reglamento (UE) 2016/631, en cuyo caso aplicará dicho nuevo procedimiento a estos efectos. En cualquier caso, se considerará de que la curva de hueco de tensión a soportar será la indicada en las letras d), e) y f) siguientes.

d) En cuanto a la capacidad para soportar huecos de tensión ante faltas equilibradas aplica lo siguiente:

(i) El módulo de parque eléctrico debe ser capaz de permanecer conectado a la red y seguir funcionando de forma estable ante una perturbación del sistema eléctrico, debida a faltas correctamente despejadas en la red de transporte, descrita por el perfil de tensión frente a tiempo mostrado en la Figura AIV-1.

(ii) El perfil de tensión frente a tiempo describe el límite inferior de la trayectoria real de las tensiones entre fases referidas al nivel de tensión de la red en el PART durante una falta equilibrada, en función del tiempo antes, durante y después de la falta.

El diagrama siguiente representa el límite inferior de un perfil de tensión frente a tiempo de la tensión en el PART, expresando su valor real respecto a su valor de referencia 1 pu antes, durante y después de una falta



**Figura AIV-1: Perfil de la capacidad para soportar huecos de tensión de un módulo de parque de eléctrico**

e) Al respecto de la capacidad para soportar huecos de tensión en caso de faltas desequilibradas aplica lo siguiente:

(i) En el caso de cortocircuitos bifásicos a tierra o monofásicos, aplica el perfil de la capacidad para soportar huecos de tensión de la Figura AIV-1 a la menor de las tensiones fase-fase o fase-tierra.

(ii) En el caso de cortocircuitos bifásicos aislados de tierra, aplica el perfil de la capacidad para soportar huecos de tensión de la Figura AIV-1

f) Al objeto de facilitar la capacidad para soportar huecos de tensión por los módulos de parque de eléctrico, aplica lo siguiente:

(i) Para tensiones en el PART inferiores a 0,1 pu (0,55 pu en el caso de faltas bifásicas aisladas de tierra) se permite el bloqueo en la electrónica de potencia (pudiendo dejar a cero la corriente aparente inyectada a la red).

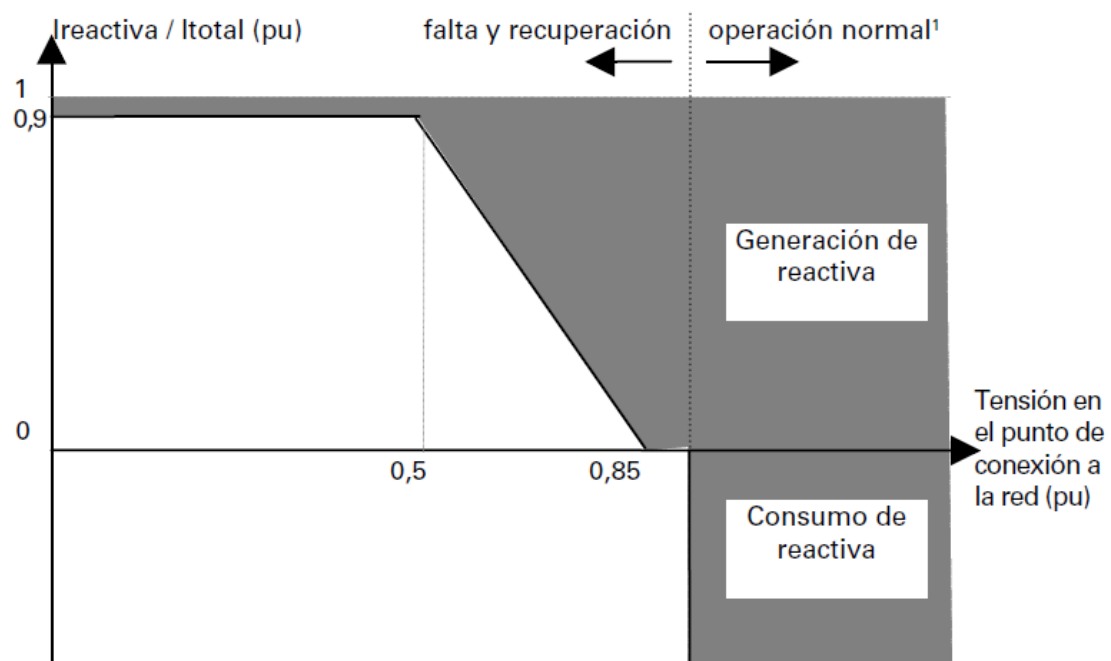
(ii) El bloqueo en la electrónica de potencia deberá eliminarse antes de transcurridos 100 ms una vez que la tensión supere el valor de 0,1 pu (0,55 pu en el caso de faltas bifásicas aisladas de tierra).

Se disparará el aerogenerador por mínima tensión, en los sistemas eléctricos no peninsulares, obedeciendo a los valores de tensión y tiempo que vienen reflejados en la siguiente tabla:

**Tabla AIV.1. Valores de tensión y tiempo del perfil del hueco de tensión en los SENP.**

Tensión (pu)	Tiempo(s)
< 0,03	Instantáneo
0,21	0,52*
0,3	0,58
0,5	0,75
0,7	0,9
0,8	1

En la siguiente figura se muestran los diferentes periodos de inyección/consumo de energía reactiva en función de la tensión en el PART durante los periodos de falta y de recuperación de tensión:



**Figura AIV-2: Área de funcionamiento admisible durante los periodos de falta y de recuperación de tensión, en función de la tensión en el punto de conexión a red**

El procedimiento de certificación a aplicar tanto para Aerogenerador Tipo como para FACTS o Sistema de Conversión Fotovoltaico, será el particular o el general, de acuerdo con lo expuesto en el Apartado 4 de este PVVC-11. El certificado será emitido por entidad certificadora acreditada (conforme a ISO 17065 para el PVVC-11 y a la norma IEC-61400 21 en base a informe de ensayos de laboratorio acreditado (conforme a ISO 17025 para el PVVC-11).

Por lo tanto y para la emisión del correspondiente certificado para el cumplimiento del hueco especificado en el PO 12.2 SENP incluido anteriormente el proceso será el siguiente:

1. El propietario de la instalación tipo o el fabricante aportará el informe de ensayos en el que se valide el cumplimiento del hueco arriba mencionado y deberá cumplir:
  - a) Demostrar que el generador no se desconecta ante el hueco.
  - b) Demostrar que se inyecta corriente durante el hueco, valores y rampas de inyección de acuerdo con lo previsto en el PO 12.3, *Figura AIV-2*.

En caso de existir un informe acreditado para otro código de red con exigencias iguales o superiores a las recogidas en el PO12.2 SENP, se tomará este informe como válido para el cumplimiento del hueco de tensión indicado en el PO12.2 SENP.

2. El propietario de la instalación o el fabricante aportará a la entidad de certificación el informe validado del ensayo realizado por un laboratorio acreditado conforme a ISO 17025, para el PVVC-11, tanto para inversores, aerogeneradores como FACTS, para el cumplimiento de los requerimientos arriba mencionados.
3. La entidad de certificación revisará que el perfil de hueco y que los requisitos de cumplimiento son conformes al P.O.12.2 SENP.
4. La entidad de certificación emitirá el certificado para la planta de generación.

## **2. CONDICIONES DE ENSAYO PARA CUMPLIMIENTO DIRECTO DEL P.O.12.2. SENP. PROCESO PARTICULAR.**

Se aceptará como válido el ensayo de aerogeneradores para cumplimiento directo del PO 12.2 SENP según se indica en el apartado 4.2 de este documento (proceso particular de verificación) cuando para cada una de las cuatro categorías de ensayo indicadas en la Tabla II se cumpla lo siguiente:

### **(1) Garantía de continuidad de suministro:**

No se produce desconexión del aerogenerador durante la aplicación del hueco de tensión en tres ensayos consecutivos correspondientes a la misma categoría (ver Tabla II Categorías de ensayo del apartado 6.2 Ensayo de aerogeneradores de este documento). En el caso que se produzca al menos una desconexión en esta secuencia de ensayos (3 primeros ensayos consecutivos), se considerará válida la condición de continuidad de suministro sólo cuando en los 4 siguientes ensayos, correspondientes a la misma categoría, no se produce desconexión del aerogenerador. En el caso que se produzcan en esta última serie de ensayos alguna desconexión se dará como no válido el ensayo.

## (2) Punto de operación

Para cada categoría de ensayo es condición necesaria que la potencia activa y reactiva registradas previa a la realización del hueco de tensión (ver Tabla I Puntos de operación previo al ensayo del apartado 6.2 Ensayo de aerogeneradores de este documento) esté dentro del intervalo que define carga parcial y plena carga.

## (3) Nivel de tensión residual y tiempo durante el ensayo

Para cada una de las categorías (ver Tabla II), los requisitos a cumplir por los ensayos, diferenciados en función de la potencia de cortocircuito existente en el punto de ensayo (PE), para los Sistemas Eléctricos No Peninsulares se recogen en la Tabla AIV.1 del Anexo IV de este documento.

Para el caso en el que la potencia de cortocircuito en el PE sea igual o superior a 5 veces la potencia registrada del aerogenerador a ensayar, la evaluación se ha de realizar mediante ensayos de vacío, mientras que para el caso en el que este valor sea inferior a 5, la evaluación se ha de realizar mediante ensayos de carga.

**Tabla AIV.1. Características del hueco para ensayos de aerogeneradores en los Sistemas Eléctricos No Peninsulares.**

Potencia de cortocircuito en PE	Tipo de hueco	Tensión de hueco	Tolerancia tensión ( $U_{TOL}$ )	Tiempo hueco (ms)	Tolerancia tiempo ( $T_{TOL}$ ) (ms)
$\geq 5xP_n$	TRIFÁSICO (VACÍO)	$U_{res} \leq (0\% + U_{TOL})$	+3%	$\geq (500 - T_{TOL})$	50
	BIFÁSICO AISLADO (VACÍO)	$U_{res} \leq (55\% + U_{TOL})$	+10%	$\geq (500 - T_{TOL})$	50
$< 5xP_n$	TRIFÁSICO (CARGA)	$U_{ef(1/4)} \leq (0\% + U_{TOL})^*$	+3%	$\geq (500 - T_{TOL})$	50
	BIFÁSICO AISLADO (CARGA)	$U_{ef(1/4)} \leq (55\% + U_{TOL})^*$	+10%	$\geq (500 - T_{TOL})$	50

\* Durante todo instante de tiempo que dure el fondo de hueco, es decir, desde  $T_2$  a  $T_3$  (ver caracterización de zonas durante el hueco, Apartado 9.1). En la tabla que especifique las características del hueco de tensión que ha de constar en el informe elaborado por el laboratorio, se mostrará el valor máximo de  $U_{ef(1/4)}$  comprendido en el periodo entre  $T_2$  y  $T_3$ .

## (4) Condiciones de intercambio de potencia y energía en el punto de ensayo

Las medidas de tensión y corriente necesarias para el cálculo posterior de potencia y energía (activa y reactiva) según se indica en el P.O.12.2 SENP, se registrarán en el punto de ensayo PE.

Para utilizar este método particular para huecos trifásicos:

- El consumo de potencia reactiva en la zona A (ver caracterización de zonas durante el hueco, apartado 9.1.) no deberá exceder el 15% de la  $P_n$  cada 20ms, en la zona B no deberá exceder el 5% de la  $P_n$  cada 20 ms.
- En la zona comprendida entre en instante de despeje de la falta ( $T_3$ , ver apartado 9) y  $T_3+150$  milisegundos se deberá verificar que el consumo neto de intensidad reactiva en el punto de ensayo cada ciclo (20 ms) no deberá ser superior a 1,5 veces la intensidad correspondiente a su potencia nominal registrada, aun cuando la tensión haya superado 0,85 p.u. en ese tiempo.

Para verificar el cumplimiento del requisito sobre la relación entre la componente reactiva de la corriente aportada durante el defecto y la corriente total (apartado 4.1 del P.O.12.3 y/o P.O.12.2 SENP), se considerará el valor medio de las medidas de corriente efectuadas en la zona B del hueco de tensión definido en el apartado 9.1.

### 3. ENSAYO DE FACTS

El ensayo del dispositivo FACTS tiene por finalidad determinar su respuesta dinámica y permitir validar y verificar un modelo de simulación. El ensayo, en ningún caso, se efectúa para comprobar la continuidad de suministro del dispositivo.

Con carácter general, el dispositivo FACTS a escala real, o bien un módulo escalable, se ensayará en el laboratorio e incluirá todos los elementos de control y potencia asociados. Las características y validez del ensayo serán las siguientes:

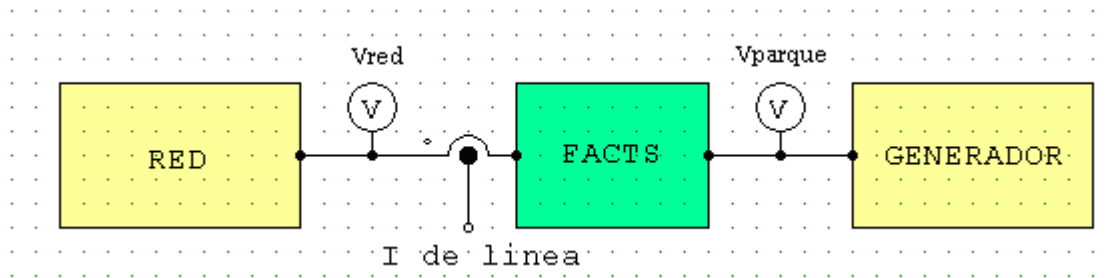
Se ha de diferenciar dependiendo de la potencia de cortocircuito existente en el punto de ensayo (PE):

- Si la potencia de cortocircuito en el PE es igual o superior a 5 veces la potencia registrada del FACTS a ensayar, sólo serán necesarias dos categorías de ensayo: TRIFÁSICO Y BIFÁSICO AISLADO. En cada uno de ellos se ha de comprobar la capacidad de sobrecarga del dispositivo durante el hueco, el grado de carga inicial del dispositivo no se considera relevante para la prueba. Para cada una de estas categorías de ensayo, se ha de comprobar que la tensión  $U_{res}$  registrada durante el periodo de duración del hueco en el ensayo en vacío de las fases en falta es inferior al 90%.
- Si la potencia de cortocircuito en el PE es inferior a 5 veces la potencia registrada del FACTS a ensayar, sólo serán necesarias dos categorías de ensayo: TRIFÁSICO Y BIFÁSICO AISLADO. En cada uno de ellos se ha de comprobar la capacidad de sobrecarga del dispositivo durante el hueco, el grado de carga inicial del dispositivo no se considera relevante para la prueba. Para cada una de estas categorías de ensayo, se ha

de comprobar que la tensión  $U_{ef(1/4)}$  registrada durante el periodo de duración del hueco en el ensayo en carga de las fases en falta es inferior al 90%.

En el caso de dispositivos FACTS conectados en serie, se procederá de la siguiente forma:

En el ensayo se medirán las tensiones a ambos extremos del equipo FACTS y la intensidad que lo atraviesa.



Ensayos a realizar: Hueco bifásico y trifásico. En el caso de un FACTS de potencia inferior a 1,5 MW debe utilizarse un generador del mercado cuya potencia sea de al menos de un tercio de la potencia controlada por el FACTS o el módulo a utilizar. En caso de que el equipo FACTS o el módulo sea de potencia superior a 1.5 MW el generador de mercado deberá tener una potencia de al menos 500KW. Los huecos a ensayar se harán en dos puntos de funcionamiento distintos, uno de ellos por encima del 80% y otro por debajo del 40% de la potencia nominal del generador.

**Tabla AIV.2. Características del hueco de tensión para ensayos de FACTS para Sistemas Eléctricos No Peninsulares**

Potencia de cortocircuito en PE	Hueco de tensión	Tensión de hueco	Tiempo hueco (ms)	Punto de operación del generador
$\geq 5xP_n$	Trifásico aislado (vacío)	$U_{res} \leq 3\%$	$\geq 300$	$\geq 80\% P_{nominal\ generador}$
				$< 40\% P_{nominal\ generador}$
	Bifásico aislado (vacío)	$U_{res} \leq 55\%$	$\geq 300$	$\geq 80\% P_{nominal\ generador}$
				$< 40\% P_{nominal\ generador}$
$< 5xP_n$	Trifásico aislado (carga)	$U_{ef(1/4)} \leq 3\%^*$	$\geq 300$	$\geq 80\% P_{nominal\ generador}$
				$< 40\% P_{nominal\ generador}$
	Bifásico aislado (carga)	$U_{ef(1/4)} \leq 55\%^*$	$\geq 300$	$\geq 80\% P_{nominal\ generador}$
				$< 40\% P_{nominal\ generador}$

*\* Durante todo instante de tiempo que dure el fondo de hueco, es decir, desde  $T_2$  a  $T_3$  (ver caracterización de zonas durante el hueco, Apartado 9.1). En la tabla que especifique las características del hueco de tensión que ha de constar en el informe elaborado por el laboratorio, se mostrará el valor máximo de  $U_{ef(1/4)}$  comprendido en el periodo entre  $T_2$  y  $T_3$ .*

Al menos uno de los ensayos deberá tener una duración igual a los 500 ms

Las características del hueco de tensión para ensayos de FACTS en los Sistemas Eléctricos No Peninsulares recogen en la tabla AIV.2 del Anexo IV de este documento

En el caso de que un FACTS no haya sido ensayado en toda su potencia o en su caso un módulo escalable, como ha sido indicado al comienzo de esta sección, deberá ser aprobado por el CTV.



#### **4. RED ELECTRICA EQUIVALENTE SISTEMAS ELECTRICOS NO PENINSULARES**

El resto de la red eléctrica que no pertenezca a la instalación eólica motivo de estudio se modelará de tal forma que el despeje de la falta en el punto de conexión a red reproduzca el perfil de tensión habitual del sistema eléctrico no peninsular concreto. Dicho perfil se considerará fijo e independiente de la ubicación geográfica de la instalación eólica en estudio dentro del subsistema concreto.

Para simular la red eléctrica equivalente se considerará un sistema dinámico formado por un nudo equivalente del sistema eléctrico (nudo EQ\_SISTEMA) en el que evacúa un generador equivalente a través de un transformador de máquina equivalente conectado entre el nudo de generación (nudo GEN\_EQ) y el nudo EQ\_SISTEMA. Desde el nudo EQ\_SISTEMA parte una línea hasta el punto de conexión a la red (nudo PCR) de la instalación de generación a someter a simulación de perturbación. Dicha línea representa a la red de transporte.

En el nudo PCR se modelará la instalación de generación a probar mediante simulación con la correspondiente red privada en su caso, es decir, líneas y transformadores de evacuación en su caso.

La potencia de cortocircuito del nudo PCR ( $S_{ccPCR}$ ) deberá ajustarse a un valor de forma que el valor del "short circuit ratio" (SCR) sea igual a 5.

A partir del valor de  $S_{ccPCR}$  seleccionado, la potencia activa máxima de la instalación de generación a ensayar ( $p_{Max}$ ) y la tensión nominal del nudo PCR ( $v_{BasePCR}$ ) se determinarán el resto de parámetros que definen el modelado de la red equivalente. En particular destaca el cálculo de la potencia aparente máxima del generador equivalente ( $m_{BaseEq}$ ) y la impedancia de la línea de transporte ( $R + jX$ ) para que la potencia de cortocircuito del nudo PCR se ajuste al valor establecido. De esta forma, se garantiza que todas las instalaciones de generación que se conecten a un mismo subsistema de los SENP se simularán frente a una perturbación de las mismas características.

Las características de los elementos que se incluyen en red eléctrica equivalente se representan en la Figura 4:

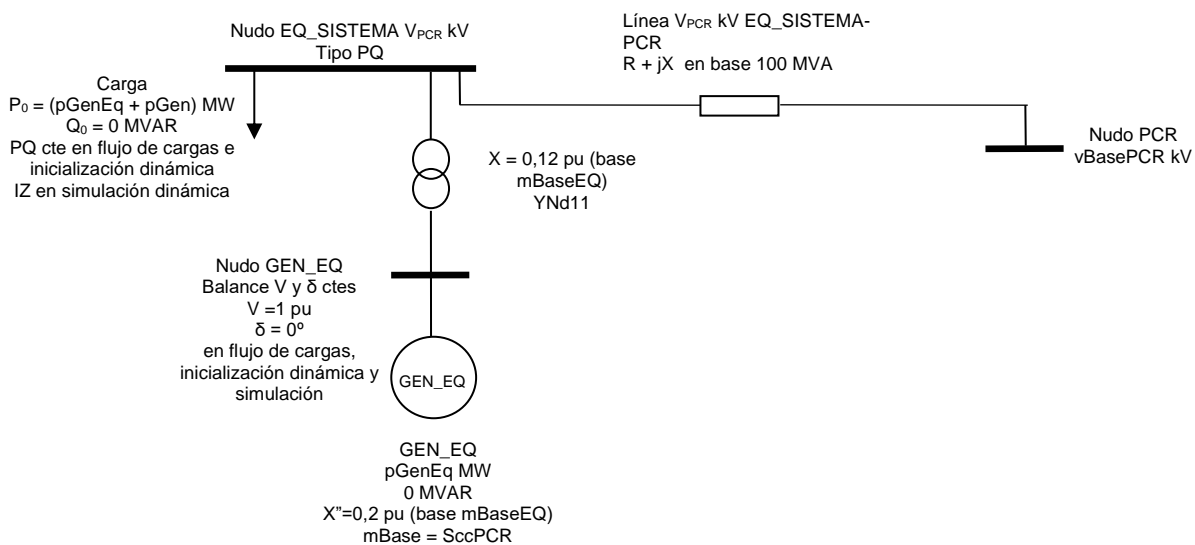


Figura 4. Modelo de red eléctrica equivalente (esquema unifilar)

#### 4.1. Datos de los nodos y elementos pasivos del equivalente de red

De acuerdo a la nomenclatura considerada en la Figura 4, se considerarán los siguientes datos:

##### Nudos:

Para el nudo PCR se considerará como base de tensión la tensión nominal de la red a la que pertenece en la realidad ( $v_{BasePCR}$ ).

Para el nudo EQ\_SISTEMA se tomará la misma base de tensión que la del nudo PCR ( $v_{BasePCR}$ ).

La tensión nominal del nudo GEN\_EQ se escogerá como sigue:

- 20 kV si la base de tensión del nudo PCR es mayor o igual que 45 kV.
- 5 kV si la base de tensión del nudo PCR es mayor o igual que 10 kV y menor que 45 kV.
- Si la base de tensión del nudo PCR es menor que 10 kV, se considera que el generador GEN\_EQ evacúa directamente al nudo EQ SISTEMA, en consecuencia, no se modela el nudo GEN\_EQ ni el transformador de máquina.

##### Cargas:

Para el nudo EQ\_SISTEMA se considerará un consumo de potencia reactiva nulo y el valor de la potencia activa de la carga será la suma de la potencia activa producida por el generador equivalente ( $p_{GenEq}$ ) + potencia activa inyectada en el PCR por la instalación de generación a probar mediante simulación ( $p_{Gen}$ ), es decir:

- Potencia activa consumida,  $P_0 = (p_{GenEq} + p_{Gen})$  MW
- Potencia reactiva consumida,  $Q_0 = 0$  Mvar

### Generador equivalente GEN\_EQ:

El generador equivalente responderá a los siguientes parámetros:

- Potencia aparente máxima igual a la potencia de cortocircuito a considerar ( $S_{ccPCR}$ ) la cual se considerará como la base máquina ( $mBaseEq$ )
- Potencia activa máxima ( $pMax$ ) =  $0,8 * mBaseEq$  (MW)
- Potencia activa mínima ( $pMin$ ) =  $0,2 * mBaseEq$  (MW)
- Potencia reactiva máxima ( $qMax$ ) =  $0,5 * mBaseEq$  (Mvar)
- Potencia reactiva mínima ( $qMin$ ) =  $-0,25 * mBaseEq$  (Mvar)
- Potencia generada ( $p_{GenEq}$ ) =  $0,8 * pMax$  (MW)
- Reactancia subtransitoria ( $X''$ ) =  $0,2$  pu (base  $mBaseEq$ )
- Tensión de consigna = 1 pu cuando exista transformador de máquina. En caso contrario se ajustará de acuerdo a lo establecido en el apartado relativo al flujo de cargas inicial.

Los datos que se precisan para modelar el generador síncrono se indican en la tabla V, en por unidad (base máquina) y con valores de características no saturados. Adicionalmente, el modelo a utilizar no debe contemplar saturación magnética.

T'do	5,0	Constante de tiempo transitoria a circuito abierto eje directo (s)
T''do	0,038	Constante de tiempo sub-transitoria a circuito abierto eje directo (s)
T'qo	0,65	Constante de tiempo transitoria a circuito abierto eje cuadratura (s)
T''qo	0,075	Constante de tiempo sub-transitoria a circuito abierto eje cuadratura (s)
Ra	despreciable	Resistencia de armadura
Xd	2,1	Reactancia síncrona de eje directo (p.u)
Xq	2,0	Reactancia síncrona de eje cuadratura (p.u)
X'd	0,25	Reactancia transitoria de eje directo (p.u)
X'q	0,45	Reactancia transitoria de eje cuadratura (p.u)
X''d = X''q	0,21	Reactancia sub-transitoria de eje directo y de cuadratura (p.u)
Xl	0,16	Reactancia de dispersión (p.u.)
H	3,0	constante de Inercia en segundos (p.u.)

Tabla V. Datos del generador síncrono

Los datos que se precisan del sistema de excitación y regulación de tensión son los que se indican en la Tabla VI (ver Figura 5)

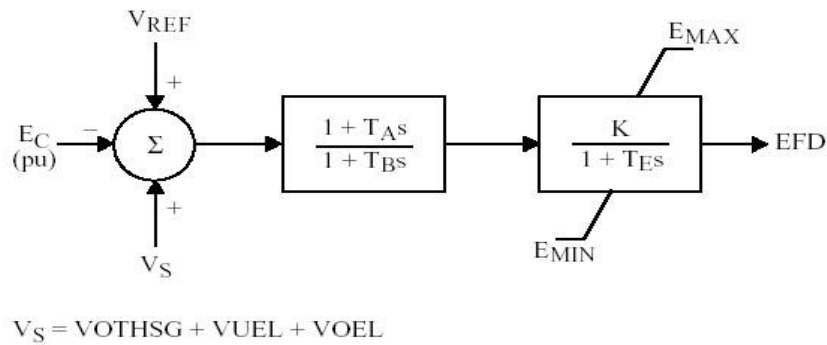


Figura 5. Sistema de excitación-regulador de tensión del generador síncrono

$T_E$	0,1	Constante de tiempo del regulador de excitación (s)
$K$	100	Ganancia del regulador de excitación
$E_{min}$	0	Límite inferior de la tensión de excitación (p.u)
$E_{max}$	5.0	Límite superior de la tensión de excitación (p.u)
$T_A$	1.0	Constante de tiempo de adelanto de la red adelanto-atraso (s)
$T_B$	10.0	Constante de tiempo de retraso de la red adelanto-atraso (s)

Tabla VI. Datos del sistema de excitación

Asimismo los datos que se precisan del sistema de regulación de velocidad (tipo IEEE1) son los que se indican en la Tabla VII (ver Figura 6)

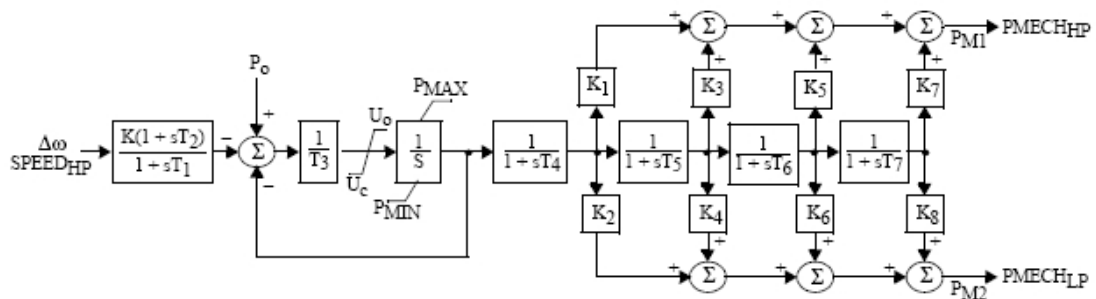


Figura 6. Sistema de regulación de velocidad del generador síncrono tipo IEEE1

$K$	20	Ganancia del regulador (inversa del estatismo)
$T_1$	1 s	Constante de tiempo (s)
$T_2$	1 s	Constante de tiempo (s)
$T_3$	0,5 s	Constante de tiempo (s)
$U_0$	0,08	Límite de subida (p.u./s)
$U_c$	-0,08	Límite de bajada (<0) (p.u./s)
$P_{max}$	1 p.u.	Límite superior de la potencia mecánica (p.u)
$P_{min}$	0,3 p.u.	Límite inferior potencia mecánica (p.u)
$T_4$	0,25 s	Constante de tiempo (s)
$K_1$	0	No utilizada
$K_2$	0	No utilizada

T <sub>5</sub>	0 s	Constante de tiempo (s)
K <sub>3</sub>	0,45	Fraccion de la potencia obtenida en turbina de alta presión
K <sub>4</sub>	0	No utilizada
T <sub>6</sub>	7	Constante de tiempo (s)
K <sub>5</sub>	0,3	Fraccion de la potencia obtenida en turbina de media presión
K <sub>6</sub>	0	No utilizada
T <sub>7</sub>	0,4 s	Constante de tiempo (s)
K <sub>7</sub>	0,25	Fraccion de la potencia obtenida en turbina de baja presión
K <sub>8</sub>	0	No utilizada

Tabla VII. Datos del sistema de regulación de velocidad tipo IEEE1

### Transformador de máquina del generador equivalente GEN\_EQ:

Se considerará para este transformador la misma potencia aparente máxima y base máquina que la considerada para el generador equivalente GEN\_EQ. Se modelará con una reactancia de valor  $X_{tr} = 0,12$  pu en base máquina. Adicionalmente, se considerará con el grupo de conexión YNd11 con neutro a tierra.

### Línea EQ\_SISTEMA - PCR:

Se considerará de la misma tensión nominal que el nudo PCR ( $v_{BasePCR}$ ). Se utilizará una simple impedancia  $R + jX$  con las características siguientes:

- Cálculo de la X:

Se obtendrá mediante la resolución de la siguiente ecuación de segundo grado (las reactancias se consideran en pu de base  $mBaseEq$ ):

$$X^2 + [2X_m / (1+r^2)] X + [X_m^2 - (S_{ccPCR} / mBaseEq)] / (1+r^2) = 0$$

Donde  $r$  = es la razón resistencia/reactancia de la línea. Se escogerá en función de la tensión base del nudo PCR como sigue:

- 0,1 si la base de tensión del nudo PCR es 400 kV.
- 0,2 si la base de tensión del nudo PCR es 220 kV.
- 0,5 si la base de tensión del nudo PCR es mayor o igual de 45 kV.
- 1 si la base de tensión del nudo PCR es menor de 45 kV.

El valor de  $X_m$  se corresponde con la suma de la reactancia subtransitoria del generador equivalente GEN\_EQ en base máquina más la reactancia de transformador de máquina correspondiente, es decir:

$$X_m = X'' + X_{tr} = 0,2 + 0,12 = 0,32 \text{ pu (en base } mBaseEq)$$

cuya solución es (tomando sólo la solución resultado de sumar la raíz cuadrada del discriminante de la ecuación de segundo grado):

$$X = -[X_m/(1+r^2)] + \text{raíz}\{ [X_m/(1+r^2)]^2 - [(X_m^2 - (S_{ccPCR}/mBaseEq)) / (1+r^2)] \}$$

- Para la R se considerará  $R = rX$

## 4.2. Generación a probar mediante simulación

El punto de funcionamiento del generador a probar mediante simulación será tal que cumpla con las condiciones siguientes:

- La tensión en el nudo PCR será 1.05 pu.
- Se estará produciendo la potencia activa máxima (pMax), es decir,  $p_{Gen} = p_{Max}$ .
- Se estará consumiendo la potencia reactiva requerida por el P.O.12.2 SENP en el nudo PCR a la tensión 1.05 pu.

## 4.3. Flujo de cargas inicial

Antes de hacer la simulación, hay que realizar un flujo de cargas para obtener las condiciones iniciales de régimen permanente. Esto es debido a que el modelo de red cambia dependiendo de la instalación a ensayar mediante simulación, por lo que el estado eléctrico de partida variará ligeramente. A continuación, se indican los aspectos a considerar a nivel de nudo:

- En relación con la dependencia de la carga respecto a la tensión para el flujo de cargas inicial, se considerarán como potencia constante todas las cargas, es decir, tanto la carga del nudo EQ\_SISTEMA como todas las cargas modeladas en la red correspondiente a la instalación de generación a ensayar.
- El nudo EQ\_SISTEMA será nudo tipo PQ:
  - datos:
    - Potencia activa consumida,  $P_0 = (p_{GenEq} + p_{Gen})$  MW
    - Potencia reactiva consumida,  $Q_0 = 0$  MVAR
  - incógnitas a resolver tras flujo de cargas:
    - Módulo de la tensión del nudo EQ\_SISTEMA
    - Ángulo de la tensión del nudo EQ\_SISTEMA
- El nudo GEN\_EQ (nudo del generador equivalente) será nudo tipo balance:
  - datos:
    - Módulo de la tensión en el nudo  $V=1$  pu
    - Ángulo de la tensión en el nudo ( $\delta = 0^\circ$  referencia de ángulos)
  - incógnitas a resolver tras flujo de cargas:
    - Potencia activa entregada por el generador equivalente
    - Potencia reactiva entregada por el generador equivalente

- El nudo PCR (punto de conexión a la red de la instalación eólica) será nudo tipo PQ:
  - datos:
    - Potencia activa de régimen permanente producida por la instalación eólica a simular
    - Potencia reactiva de régimen permanente inyectada por la instalación eólica a simular
  - incógnitas a resolver tras flujo de cargas:
    - Módulo de la tensión del nudo PCR
    - Ángulo de la tensión del nudo PCR
  
- La tolerancia de convergencia debe ajustarse a la potencia del sistema de acuerdo a las recomendaciones de la herramienta para resolver el flujo de cargas.
  
- Será necesario realizar convergencias sucesivas ajustando a mano la relación de transformación de transformador de máquina del generador equivalente GEN\_EQ hasta conseguir  $V = 1.05$  pu en PCR con la instalación de generación a probar mediante simulación absorbiendo la máxima Q requerida a  $V = 1.05$  pu y a potencia máxima (pMax) por el P.O.12.2 de los SENP. En el caso de que no sea necesario modelar el nudo GEN\_EQ ni el transformador de máquina, se ajustará la tensión del nudo PCR con convergencias sucesivas modificando conveniente la tensión de consigna del generador GEN\_EQ.

#### **4.4. Inicialización de la simulación dinámica**

Por regla general, antes de hacer la simulación, hay que realizar una inicialización de los modelos dinámicos con el objeto de situar a las variables de estado dinámicas en las condiciones iniciales que correspondan a la solución del estado eléctrico obtenido del flujo de cargas previo. Por lo tanto, tras el proceso de inicialización, todas las variables de estado eléctrico de la red deben mantenerse en los valores del flujo de cargas previo.

Durante el proceso de inicialización, las cargas modeladas deben mantenerse como potencia constante (sin utilizar modelos dinámicos dependientes de la tensión) con el objeto de no alterar el valor de la carga a la tensión de inicialización. Asimismo, durante el proceso de inicialización, el nudo PCR deberá mantener su estado eléctrico inicial y el modelo dinámico de la instalación eólica debe mantener su inyección de potencia activa y reactiva en los valores del flujo de cargas estático.

#### 4.5. Simulación dinámica

Una vez realizada la inicialización, se incluirán modelos dinámicos para las cargas que caractericen la dependencia de la carga con respecto a la tensión.

La parte activa P de la carga del nudo EQ\_SISTEMA se debe modelar con característica de intensidad constante, es decir:

$$P(V) = P_1 V \quad (p.u)$$

$$Q(V) = Q_1 V^2 \quad (p.u)$$

Donde  $P_1$  y  $Q_1$  son los valores de la carga correspondientes a una tensión de 1 pu. Dichos valores se calculan a partir de los valores iniciales de la demanda del nudo CARGA  $P_0 = (pGenEq+ pGen)$  MW y  $Q_0 = 0$  MVAR correspondientes a la tensión inicial del nudo  $V_0$  resultado del flujo de cargas previo (valor mantenido durante la inicialización). Si  $V_0$  se expresa en pu entonces:

$$P_1 = \frac{P_0}{V_0} \quad (p.u)$$

$$Q_1 = \frac{Q_0}{V_0^2} \quad (p.u)$$

Adicionalmente, durante la simulación:

- El regulador de velocidad del generador equivalente GEN\_EQ tendrá una consigna de 50 Hz
- El regulador de tensión del generador equivalente GEN\_EQ tendrá una consigna de 1.0 p.u. en bornes de máquina (nudo GEN\_EQ) En el caso de que no sea necesario modelar el nudo GEN\_EQ ni el transformador de máquina, se ajustará a la tensión de consigna del generador GEN\_EQ ajustada en el flujo de cargas inicial.

Para la simulación dinámica de falta equilibrada, se simulará una falta trifásica en el nudo de conexión a la red (PCR), con una reactancia a tierra. El valor de reactancia será tal que la tensión en el nudo PCR baje hasta el valor establecido en el perfil tensión-tiempo del hueco a simular en el momento en que se despeja la falta.

Para la simulación dinámica de falta desequilibrada, se simulará una falta bifásica aislada de tierra en el nudo de conexión a la red (PCR), con una reactancia entre fases tal que la tensión fase-tierra, de las fases en falta, en el nudo PCR, baje hasta la mitad del valor establecido en el



perfil tensión-tiempo del hueco para faltas equilibradas, incrementado en 0,5 pu, en el momento en que se despeja la falta.

En el caso de simulación de falta trifásica equilibrada la falta se aplicará cuando la tensión de una de las fases sea máxima.

En el caso de simulación de falta bifásica aislada de tierra la falta se aplicará cuando coincidan las tensiones de las fases en las que se va a simular la falta. La falta se despejará mediante un interruptor automático que abre en paso por cero de la corriente.