

PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DE VALIDACION DE MODELOS MATEMATICOS DE UNIDADES GENERADORAS

1. OBJETIVO

Verificar la validez del modelo matemático de los sistema de control de las unidades generadoras del SIN, mediante ensayos en campo y su posterior contrastación a través de la simulación de condiciones equivalente.

2. ALCANCE

Aplica a las unidades generadoras hidroeléctricas y termoeléctricas del SIN, donde haya sido identificada, la necesidad de realizar ensayos de campo para la verificación del modelo matemático de algunos de sus sistemas de control.

En coordinación con el agente propietario, el personal del CNDC a cargo de los ensayos elaborará un informe previo que demuestre la necesidad de realizar ensayos de campo, incluyendo la contrastación entre eventos reales y la simulación de una condición equivalente.

El personal del CNDC a cargo de los ensayos de campo es el responsable de la planificación, coordinación y ejecución de los ensayos, debiendo preparar un informe de planificación detallado, así como el informe de validación correspondiente al concluir los ensayos. Las condiciones operativas del SIN para el éxito de los ensayos de campo, deberán ser previamente coordinadas entre el personal del CNDC y el agente propietario de las instalaciones.

El agente propietario de las instalaciones de generación deberá aprobar el informe de planificación y prestar el soporte necesario de acuerdo a sus posibilidades para la instalación de los equipos de medición y ejecución de los ensayos. Los equipos de medición son de responsabilidad exclusiva del personal del CNDC.

En ningún caso la ejecución de los ensayos de campo deberá requerir inversiones en nuevos equipamientos, los ensayos deberán acomodarse a las condiciones técnicas de las instalaciones y la información disponible.

El presente procedimiento no tiene por objeto la verificación del desempeño de los sistemas de control asociados a la unidad de generación.

3. RECOMENDACIONES

Los ensayos deben ser planificados de tal manera que en ningún momento representen una condición de riesgo de daño en las instalaciones de generación o el SIN.

Ninguno de los dispositivos de protección de las instalaciones de generación debe ser desconectado o inhabilitado durante la ejecución de los ensayos.

4. DEFINICIONES

- **Modelo Validado:** Es el modelo matemático del que ha sido comprobada su capacidad de reproducir correctamente el comportamiento de la unidad generadora y

su sistema de control asociado, mediante la contrastación entre ensayos de campo o eventos reales y la simulación de condiciones equivalentes.

- **Ensayo de Escalón:** Son ensayos que se ejecutan para verificar la respuesta de los diferentes lazos del sistema de control asociado a una unidad de generación, ya sea en el regulador de velocidad, en el regulador de voltaje o en el estabilizador de potencia.

El ensayo consiste en introducir una variación tipo escalón suficiente para provocar la acción de control y verificar la respuesta del controlador, el escalón podrá ser sobre la señal de consigna o sobre la señal de medición, siempre que no implique riesgo para la operación de la unidad de generación.

Los ensayos de escalón en campo deberán ser representados en la simulación de los modelos en condiciones equivalentes.

- ♦ **Sistema de Registro:** Es el sistema de medición utilizado durante los ensayos de campo para el registro digital de las magnitudes eléctricas de la unidad generadora y de los dispositivos de actuación y posicionamiento relacionados con el sistema de control objeto del ensayo. Las prestaciones y precisión del equipo de registro deberán ser las adecuadas para la realización de las pruebas.

5. INFORME DE IDENTIFICACIÓN

En coordinación con el agente propietario, el personal del CNDC a cargo de los ensayos elaborará un informe previo que identifique la necesidad de realizar los ensayos de campo en una determinada unidad de generación.

El informe debe ser claro y suficiente para recomendar la ejecución de ensayos de campo en caso de que la contrastación de los eventos reales y la simulación de condiciones equivalentes no resulten satisfactorios, con el siguiente contenido mínimo:

- ♦ Parámetros del modelo de la unidad generadora y sus sistemas de control asociados.
- ♦ Diagramas de bloque del modelo y parámetros de los sistemas de control.
- ♦ Contrastación entre eventos reales y la simulación de una condición equivalente.
- ♦ Justificación para la ejecución o no de los ensayos de campo.
- ♦ Evaluación preliminar de la viabilidad para la ejecución de los ensayos de campo.

6. ENSAYOS DE CAMPO PARA LA VALIDACIÓN DE MODELOS

Como resultado del informe de identificación, los ensayos de campo se planificarán según el sistema de control del cual sea necesario realizar su validación.

En el caso, debidamente justificado, que no sea posible efectuar los ensayos de escalón en campo descritos en el presente procedimiento, el propietario deberá plantear ensayos de campo alternativos que permitan validar los lazos de control.

6.1. CONDICIONES GENERALES DEL ENSAYO

Se debe verificar que las señales tipo escalón necesarios para los ensayos de campo ingresen al sistema de control libres de todo tipo de condicionamiento, filtrado o señales sobrepuestas provenientes de cualquier control secundario.

En los casos de los ensayos de campo en el regulador de voltaje y el PSS, el estado de carga (potencia activa) durante los ensayos será coordinado con el propietario de las instalaciones de manera tal que la respuesta del regulador de voltaje no represente riesgo operativo para la unidad de generación y los límites del sistema de excitación no sean alcanzados.

En todos los casos, la validación del modelo y sus parámetros se realizará a través de la contrastación gráfica de los registros de las mediciones obtenidos en los ensayos de escalón en campo y los resultados de la simulación en condiciones equivalentes. En caso de que la contrastación grafica no sea suficiente se complementará el análisis con cálculos numéricos.

Antes de todo ensayo en campo se debe verificar que el sistema de registro se encuentre correctamente conectado y con todas las señales debidamente parametrizadas.

Alternativamente a los ensayos de escalón, en coordinación con el CNDC se podrán realizar variaciones en la frecuencia o voltaje del sistema para emular escalones de manera tal que se pueda validar la respuesta de la unidad y su comportamiento.

6.2. ENSAYOS EN EL SISTEMA DE REGULACION DE VOLTAJE

El sistema de control de voltaje es parte del sistema de excitación de la unidad generadora y está formado por el regulador automático de voltaje (AVR), la excitatriz, los dispositivos de medición y los dispositivos de actuación. El regulador de voltaje tiene como consigna el voltaje terminal de la unidad de generación, ya sea que esta se encuentra conectada o desconectada de la red.

Para el ensayo de campo del sistema de control de voltaje de la unidad generadora, el ensayo de escalón se realiza sobre la señal de consigna del voltaje. La respuesta del regulador de voltaje se puede verificar en la medición del voltaje terminal de la unidad, si el ensayo se realiza con la unidad operando desconectada de la red o en la medición de la potencia reactiva inyectada, si la unidad se encuentra conectada a la red.

El ensayo de escalón será realizado con la unidad operando en condición desconectada y conectada a la red.

Ensayo en condición desconectada: bajo esta condición la magnitud del escalón a ser utilizado en la señal de consigna del voltaje terminal será de $\pm 5\%$ del voltaje de vacío. Bajo esta condición la respuesta del regulador se verificará en la medición del voltaje terminal.

Ensayo en condición conectada: bajo esta condición la magnitud del escalón a ser utilizado en la señal de consigna del voltaje terminal será coordinada con el propietario

de las instalaciones y el CDC del CNDC, en función a la ubicación de la unidad en la red eléctrica, su envergadura y las condiciones del sistema, de manera tal que se provoque una respuesta en el voltaje terminal o en la potencia reactiva inyectada suficiente para el registro y validación del modelo.

6.3. ENSAYOS EN EL ESTABILIZADOR DE POTENCIA

El estabilizador de potencia (PSS) trabaja asociado al sistema de regulación de voltaje, para atenuar oscilaciones locales o inter-área con frecuencias del orden de 0.8 a 3.2 Hz. La acción de control del PSS se manifiesta a través de la inyección de una señal compensada al nodo de realimentación del regulador de voltaje

Para el ensayo de campo del PSS de la unidad generadora, el ensayo de escalón se realiza sobre la señal de consigna del voltaje mientras la unidad se encuentra conectada a la red. La respuesta del regulador de voltaje se puede verificar en la medición del voltaje terminal de la unidad o en la medición de la potencia reactiva inyectada. Para la condición del PSS conectado y desconectado.

La magnitud del escalón en la consigna de voltaje debe ser coordinada con el propietario de la instalación dependiendo de las condiciones del sistema y de manera tal que se provoque una respuesta en el voltaje terminal o en la potencia reactiva inyectada suficiente para el registro y validación del modelo.

6.4. ENSAYOS EN EL REGULADOR DE VELOCIDAD

El sistema de control de velocidad de una unidad generadora está conformado por el regulador de velocidad o gobernador, los dispositivos de medición y los dispositivos o servomecanismos de actuación. El regulador de velocidad tiene como consigna la velocidad de giro de la unidad de generación, ya sea que esta se encuentra conectada o desconectada de la red.

Los reguladores de velocidad se pueden clasificar según el modo de variación de la señal de consigna en:

- ♦ Regulador de velocidad o “Speed Control”, cuando la variación de potencia es mediante la variación en la referencia de velocidad.
- ♦ Regulador Carga – Velocidad o “Speed Load Control”, cuando el regulador tiene referencias de la señal de velocidad y potencia, lazos que pueden configurarse de distintas formas, ya sea mediante lazos de control independientes que se activan por selección mínima de señal, o cuando ambas señales de consigna están en un mismo lazo de control.

Todos los ensayos de escalón en campo para el regulador de velocidad se realizarán con la unidad en condición conectada a la red y con una carga (potencia activa) según se describe más adelante.

Teniendo en cuenta los tipos de regulador de velocidad mencionados, los ensayos de escalón en campo para la validación del modelo del sistema de control de velocidad podrán ser:

6.4.1. LAZO DE CONTROL DE POTENCIA

Este lazo de control posiciona la unidad en un nivel de potencia de consigna. Así, la validación del mismo se realiza mediante un ensayo de escalón en la referencia de potencia activa de la unidad. Es necesario que el escalón no pase por filtros ni acondicionamientos.

Los ensayos de escalón se realizarán para una magnitud del escalón en la consigna de potencia que podrá ser entre $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$ de la carga actual de la unidad generadora, para dos estados de carga que serán coordinados con el propietario de las instalaciones, de tal manera que se provoque una respuesta suficiente para el registro y validación del modelo. La ejecución del ensayo en dos estados de carga es necesaria para verificar no linealidades.

6.4.2. LAZO DE REFERENCIA DE VELOCIDAD

A través de este lazo el regulador responde a las variaciones de frecuencia del sistema en función a su estatismo, la validación se realiza mediante un ensayo de escalón en la señal de velocidad, ya sea en la de consigna o en la de medición, de manera tal que se provoque un desvío en la señal que ingresa al controlador. La respuesta del controlador estará afectada por su estatismo hasta llegar a otro punto de operación, tomando o disminuyendo carga dependiendo si el desvío de velocidad es positivo o negativo.

Los ensayos de escalón se realizarán para una magnitud de escalón en la consigna de velocidad de manera tal que la variación del estado de carga resultante se encuentre entre el $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$ de la carga inicial de la unidad generadora, para dos estados de carga que serán coordinados con el propietario de las instalaciones de tal manera que se provoque una respuesta suficiente para el registro y validación del modelo. La ejecución del ensayo en dos estados de carga es necesaria para verificar no linealidades.

Es posible calcular el estado de carga final al que llegará la unidad luego de que se aplique el escalón, conociendo el estatismo de la máquina, su potencia nominal y su potencia inicial. De esta manera se podrá tener una coordinación adecuada entre el propietario de las instalaciones y el CDC del CNDC.

6.4.3. LAZO DE CONTROL DE LÍMITE DE TEMPERATURA EN UNIDADES TERMICAS

Los reguladores de velocidad de las turbinas a gas, adicionalmente a la función de regulación de velocidad, tienen un control de la potencia máxima de la turbina determinado por el límite de temperatura de los gases calientes permitido por los materiales.

Este lazo de control consiste en limitar la apertura de la válvula reguladora de gas para evitar que la temperatura de los gases calientes exceda el límite térmico de los materiales en la zona de escape. Ante transitorios rápidos que dan lugar a temperaturas por encima de la consigna, el controlador emite una acción de control en proporción directa a la sobre temperatura, cerrando la válvula reguladora de gas.

Las pruebas en condición de operación en base (control por temperatura) de la turbina a gas, consisten en:

- ♦ Ante una variación de sobre frecuencia, registrar la salida del estado de control por temperatura conmutando de manera automática a la regulación primaria por velocidad con el mando orientado hacia la disminución de la potencia de generación de la unidad.
- ♦ Ante una variación de disminución de frecuencia, registrar la disminución de potencia de generación y, comprobar que no se genera sobre temperatura de gases calientes, puesto que la válvula gobernadora debe mantenerse fija sin movimiento.

Las pruebas de desempeño de las turbinas a gas en estado de control por velocidad o "Speed-Load" consisten en:

- ♦ Ante una variación brusca de disminución de frecuencia, registrar el aumento de potencia de generación, el sobre impulso de temperatura de los gases calientes en el escape, el movimiento de la válvula gobernadora, la modulación de las IGV (Inlet Guide Vane), el desplazamiento de la frecuencia y la potencia de generación.
- ♦ Ante una variación brusca de disminución de frecuencia con insuficiente o poca reserva de potencia en giro, registrar el aumento de potencia de generación, la conmutación al control por temperatura, el sobre impulso de temperatura de los gases calientes en el escape (sobre temperaturas que sobrepasan la referencia de control limite de temperatura de operación a potencia máxima), el movimiento de posición de la válvula gobernadora, la modulación de las IGV, y el desplazamiento de la frecuencia .
- ♦ Comprobación de desempeño del gobernador ante variaciones bruscas de sobre frecuencia.

Es necesario mencionar que la operación en carga base es una condición de operación normal para las unidades térmicas y que en estas condiciones la regulación primaria responde solamente a sobre frecuencia.

7. REGISTROS DE CAMPO

Los registros a efectuarse durante los ensayos de campo serán obtenidos mediante el sistema de registro de datos portátil del CNDC, PFMonitor de Digsilent, cuyas características y manual de funcionamiento se encuentran en el sitio WEB del CNDC.

Este equipo cuenta con tarjetas de adquisición de datos para señales de transformadores de corriente, voltaje terminal de la unidad y señales del proceso de la planta en formatos 4..20 mA y 0..10 VDC.

De manera general y en coordinación entre el representante del CNDC encargado del ensayo y el propietario de las instalaciones, se deberá buscar el registro de las siguientes señales, siempre que sea posible y las instalaciones existentes así lo permitan:

1. Corriente del estator trifásica: 3 señales de corriente 0..1 A ó 0..5 A en conexión delta o estrella.
2. Voltaje terminal trifásico: 3 señales de los transformadores de voltaje de bornes de generador conectados en delta o estrella.

Las magnitudes eléctricas como Potencia Activa y Potencia Reactiva serán obtenidas por el sistema de registro a través de las señales descritas en los puntos anteriores.
3. Tensión o corriente de campo: en formato de 4..20 mA ó 0..10 VDC.
4. Posición de inyectores, en unidades hidroeléctricas: En formato de 4..20 mA ó 0..10 VDC.
5. Posición de la válvula reguladora de gas, en unidades termoeléctricas: en formato de 4..20 mA ó 0..10 VDC.
6. Presión de agua al ingreso de la turbina, en unidades hidroeléctricas: en formato de 4..20 mA ó 0..10 VDC.
7. Temperatura de gases de escape, en unidades termoeléctricas: en formato de 4..20 mA ó 0..10 VDC.
8. Posición de deflectores, en unidades hidroeléctricas: en formato de 4..20 mA ó 0..10 VDC.
9. Posición de IGV o mecanismos de inyección de aire alternos en unidades termoeléctricas: en formato de 4..20 mA ó 0..10 VDC.

El agente propietario de las instalaciones de generación apoyará en el conexionado del sistema de registro bajo instrucción del personal del CNDC y de acuerdo al informe de planificación previamente aprobado por el propietario de las instalaciones. El personal del CNDC será el único responsable del sistema de registro.

8. INFORME DE VALIDACIÓN

Terminadas las pruebas, el personal del CNDC elaborará un informe de los ensayos de campo realizados describiendo los sistemas de control que fueron objeto de ensayo, el alcance y resultados obtenidos.

Se deberá incluir un acápite que describa el proceso de contrastación realizado y el grado de validación alcanzado. El informe deberá contener el detalle de las simulaciones realizadas con una valoración del grado en el que las condiciones de los ensayos lograron ser simuladas.

El informe deberá ser analizado conjuntamente con el propietario de las instalaciones antes de su versión final.