

ANEXO 1

Objetivo

Este anexo define el formato para el reporte de los modelos validados del generador y de los controles asociados.

Información requerida

Los informes de resultados de validación, deberán presentarse electrónicamente en formato Adobe Portable Document Format (PDF). Cada informe debe incluir:

- Tabla de contenido
- Generalidades de las pruebas
- Descripción del generador y los parámetros asociados
- Descripción de los sistemas de control del generador: regulador de velocidad/potencia, turbina, sistema de excitación y estabilizador de sistema de potencia (PSS) y cualquier otro sistema de control asociado al generador, como por ejemplo los limitadores del sistema de excitación.
- Descripción de los detalles de las pruebas de validación realizadas
- Modelos validados de cada sistema de control con parámetros y diagrama de bloques. Se recomienda que esta implementación sea realizada en la herramienta utilizada por el CND, sin embargo pueden entregarse en otras herramientas de simulación dinámica.
- Curvas comparativas del sistema real vs las obtenidas a través de simulación de los modelos validados.
- Anexos con archivo de datos que contenga los resultados de las pruebas de validación para todos los sistemas de control (datos de prueba y de simulación) en formato de texto (.txt) con encabezados que identifiquen el nombre de la variable y las unidades de medición correspondientes.

Los detalles de estos requerimientos se presentan a continuación:

Tabla de contenido

El informe debe contener una tabla de contenidos similar a la que se muestra en la figura siguiente:

Tabla de contenido

1. GENERALIDADES	
2. GENERADOR.....	x
2.1 Descripción	x
2.2 Pruebas de validación	x
2.3 Verificación de la validez de los parámetros del generador	x
2.4 Parámetros	x
3. SISTEMA DE EXCITACIÓN.....	x
3.1 Descripción	x
3.2 Pruebas de validación.....	x
3.3 Verificación de la validez del modelo del sistema de excitación	x
3.4 Diagrama de bloques.....	x
3.5 Parámetros	x
4. ESTABILIZADOR DEL SISTEMA DE POTENCIA.....	x
3.1 Descripción	x
3.2 Pruebas de validación.....	x
3.3 Verificación de la validez del modelo del estabilizador del sistema de potencia.....	x
3.4 Diagrama de bloques.....	x
3.5 Parámetros	x
5. REGULADOR DE VELOCIDAD/POTENCIA	x
3.1 Descripción	x
3.2 Detalles de las pruebas de validación de los parámetros.....	x
3.3 Verificación de la validez del modelo del Regulador de velocidad/Potencia	
3.4 Diagrama de bloques.....	x
3.5 Parámetros	x
3.6 Verificación de estabilidad en red aislada	x
6. ANEXOS	x

Generalidades

En este ítem se debe incluir los siguientes detalles:

- Nombre de la planta bajo pruebas de validación
- Nombre de la persona responsable de las pruebas de validación
- Fecha y hora en la que se realizaron las pruebas

- **GENERADOR**

Descripción

Se debe incluir el nombre de la unidad, el tipo de generador (polos salientes, rotor liso), fabricante, valores nominales (Potencia aparente nominal S (MVA), Voltaje en terminales V_t (kV), Factor de potencia nominal fp , Tensión de campo nominal V_f (V), Corriente de campo nominal I_f (A))

Pruebas de validación

Se debe realizar una descripción de las pruebas que permitan reproducirlas, definiendo:

- Fecha y hora de las pruebas
- Tipo de prueba: con unidad sincronizada a la red o en vacío.
- Datos de la perturbación: tipo (escalón, senoidal, rampa, rechazo de carga, etc.), magnitud, punto de inyección.
- Condiciones iniciales del generador en la prueba: P , Q , V_t , V_f .
- Estado de controles auxiliares (Con o sin: PSS)

Verificación de la validez de los parámetros del generador

Se deben presentar las curvas comparativas que demuestren la validez de los parámetros del generador en las instancias de tiempo transitoria, subtransitoria y de estado estacionario. Las variables que deben ser comparadas deben ser al menos: corriente de campo y tensión en terminales.

Parámetros del generador

Se deben reportar al menos los siguientes parámetros del generador, resaltando cuáles parámetros difieren con lo reportado por el fabricante o son modificados respecto a lo que se encuentra reportado al CND.

- Reactancia sincrónica de eje directo (x_d [p.u])
- Reactancia transitoria de eje directo (x'_d [p.u])
- Reactancia subtransitoria de eje directo (x''_d [p.u])
- Reactancia sincrónica de eje de cuadratura (x_q [p.u])
- Reactancia transitoria de eje de cuadratura (x'_q [p.u])
- Reactancia subtransitoria de eje de cuadratura (x''_q [p.u])

- Constante de tiempo transitoria de eje directo de circuito abierto (t'_{do} [s]) Constante de tiempo subtransitoria de eje directo de circuito abierto (t''_{do} [s]), Constante de tiempo transitoria de eje de cuadratura de circuito abierto (t'_{qo} [s]),
- Constante de tiempo subtransitoria de eje de cuadratura y de circuito abierto (t''_{qo} [s])
- Constante de inercia (H [s], con base en MVA y kV nominales del generador)
- Curva tabulada de saturación del generador en vacío (Corriente de excitación vs. Voltaje nominal ([p.u]))

Asimismo, se deben reportar las bases utilizadas para el cálculo de los parámetros del generador.

En los anexos se debe incluir los datos utilizados para construir las curvas reales y las simuladas en formato de texto (.txt) considerando la misma estampa de tiempo para ambas curvas y reportando el nombre de la variable y las unidades correspondientes.

SISTEMA DE EXCITACIÓN

Descripción

En este campo se debe incluir: fabricante, modelo del equipo, modos de operación disponibles (automático (tensión), manual (corriente de campo), control de potencia reactiva, factor de potencia, Otro: especificar), modo de operación normal: (automático (tensión), manual (corriente de campo), control de potencia reactiva, factor de potencia, Otro: especificar)

Pruebas de validación

Se debe realizar una descripción de las pruebas que permitan reproducirlas, definiendo:

- Fecha y hora de las pruebas
- Tipo de prueba: con unidad sincronizada a la red o en vacío
- Datos de la perturbación: tipo (escalón, senoidal, rampa, etc), magnitud, punto de inyección.
- Condiciones iniciales del generador en la prueba: P , Q , V_t , V_f
- Estado de controles auxiliares (Con o sin: PSS).
- Modo de control del sistema de excitación (manual, automático, factor de potencia, etc.)
- Reporte de cualquier modificación sobre los parámetros del control que hayan sido necesarios para la realización de cada prueba.

Verificación de la validez del modelo del sistema de excitación

Se deben presentar las curvas comparativas que demuestren la validez del modelo del sistema de excitación. Las curvas deben corresponder al menos a las siguientes variables:

Voltaje en terminales del generador y el voltaje de campo del generador (voltaje de campo de la excitatriz y la corriente de campo para las unidades sin escobillas).

Asimismo, en caso de ser posible, se deben presentar las señales a la salida física de los limitadores (OEL, UEL, V/Hz) y a la salida física de las funciones de compensación (RCC, CCC, SCL (Limitador de corriente de estator). Si esto no es posible se deben presentar registros que muestren la operación de los limitadores y compensadores existentes.

Todas las curvas incluidas deben tener las siguientes características:

- Etiquetas para los ejes y las correspondientes unidades de medida
- Títulos para cada gráfica indicando la prueba que fue desarrollada
- Escala apropiada para ambos ejes

En los anexos se debe incluir los datos utilizados para construir las curvas reales y las simuladas en formato de texto (.txt) considerando la misma estampa de tiempo para ambas curvas y reportando el nombre de la variable y las unidades correspondientes.

En caso de identificarse una inestabilidad de este control cuando la unidad está interconectada en las pruebas realizadas, se debe proponer un reajuste para el control correspondiente, mostrando a través de simulación y ante perturbaciones tipo escalón en el voltaje de referencia el impacto de este reajuste.

Diagrama de bloques

Se debe incluir el diagrama de bloques en el dominio de Laplace (s) del sistema de excitación incluyendo el Regulador de Tensión, Limitadores del Sistema de Excitación (V/Hz, UEL, OEL, LPQ y otros), Funciones de compensación (RCC, CCC, SCL y otros). Asimismo, se debe adjuntar dicho modelo en formato digital. Se recomienda que el modelo correspondiente sea implementado en la herramienta utilizada por el CND, sin embargo este puede entregarse en otra herramienta de simulación dinámica.

Parámetros

Se debe reportar una tabla con los parámetros validados incluidos en el diagrama de bloques y las bases usadas para la obtención de los mismos en p.u.

ESTABILIZADOR DEL SISTEMA DE POTENCIA

Descripción

En este campo se debe incluir: Fabricante, Modelo, Tipo (Dual, Potencia, Frecuencia, Velocidad, Multibanda, otro), Fecha de la(s) prueba(s)

Pruebas de validación

Se debe realizar una descripción de las pruebas que permitan reproducirlas, definiendo:

- Fecha de las pruebas
- Tipo de prueba: con unidad sincronizada a la red o en vacío
- Datos de la perturbación: tipo (escalón, senoidal, rampa, etc.), magnitud, punto de inyección

- Condiciones iniciales del generador en la prueba y de los otros generadores que se encuentren acoplados hidráulicamente a la unidad bajo prueba: P, Q, Vt, Vf.
- Reporte de cualquier modificación sobre los parámetros del control que hayan sido necesarios para la realización de cada prueba.

Verificación de la validez del modelo del estabilizador del sistema de potencia

Se deben presentar las curvas comparativas que demuestren la validez del modelo del estabilizador del sistema de potencia. Las variables a ser comparadas deben ser al menos:

Potencia reactiva del generador, voltaje en terminales del generador, y en caso de ser posible la señal de salida física del estabilizador del sistema de potencia. Todas las curvas incluidas deben tener las siguientes características:

- Etiquetas para los ejes y las correspondientes unidades de medida
- Títulos claros para cada gráfica indicando la prueba que fue desarrollada
- Escala apropiada para ambos ejes

En los anexos se debe incluir los datos utilizados para construir las curvas reales y las simuladas en formato de texto (.txt) considerando la misma estampa de tiempo para ambas señales y reportando el nombre de la variable y las unidades correspondientes.

En caso de identificarse una inestabilidad de este control cuando la unidad está interconectada en las pruebas realizadas, se debe informar en el informe para coordinar con el CND el reajuste del control correspondiente.

Diagrama de bloques

Se debe incluir el diagrama de bloques en el dominio de Laplace (s) del estabilizador del sistema de potencia, incluyendo los parámetros requeridos en (p.u). Si aplica, se deben incluir las lógicas de desconexión del PSS. Se debe adjuntar en formato digital el modelo validado correspondiente. Se recomienda que este sea implementado en la herramienta utilizada por el CND, sin embargo puede entregarse en otras herramientas de simulación dinámica.

REGULADOR DE VELOCIDAD/POTENCIA

Descripción

En este campo se debe incluir fabricante, modelo, tipo (Hidráulico, Electrohidráulico, Electrónico, Digital), tipo de Turbina (Pelton, Francis, Kaplan, turbovapor, turbogas, otra), para unidades térmicas indicar tipo de ciclo (Rankine, Brayton, otro), fecha de la(s) prueba(s)

Pruebas de validación

Se debe realizar una descripción de las pruebas que permitan reproducirlas, definiendo:

- Fecha de las pruebas

- Tipo de prueba: con unidad sincronizada a la red o en vacío
- Datos de la perturbación: tipo (escalón, senoidal, rampa, etc), magnitud, punto de inyección
- Condiciones iniciales del generador en la prueba y de los otros generadores que se encuentren acoplados hidráulicamente a la unidad bajo prueba: P, Q, Vt, Vf.
- Modo de operación del regulador de Velocidad (Potencia, Velocidad, Caudal, Posición, Presión, Temperatura, Carga Base, otro)
- Reporte de cualquier modificación sobre los parámetros del control que hayan sido necesarios para la realización de cada prueba.

Verificación de la validez del modelo del regulador de velocidad/potencia

Se deben presentar las curvas comparativas que demuestren la validez de los Transductores, Controlador (modo de operación con unidad sincronizada), Actuadores, Turbina, Conducciones e interacción entre unidades (para plantas hidráulicas). Las variables a ser comparadas deben ser al menos:

La potencia activa del generador, apertura de agujas o de distribuidor y en caso de ser posible, presión en la tubería (unidades hidráulicas) y apertura de válvulas (unidades térmicas).

Todas las curvas incluidas en deben tener las siguientes características:

- Etiquetas para los ejes y las correspondientes unidades de medida
- Títulos claros para cada gráfica indicando la prueba que fue desarrollada
- Escala apropiada para ambos ejes

En los anexos se debe incluir los datos utilizados para construir las curvas reales y las simuladas en formato de texto (.txt) considerando la misma estampa de tiempo para ambas curvas y reportando el nombre de la variable y las unidades correspondientes.

Diagrama de bloques

Se debe incluir el diagrama de bloques en el dominio de Laplace (s), con el modelo validado del regulador de velocidad/potencia incluyendo Transductores, Controlador (modo de operación con unidad sincronizada), Actuadores, Turbina, Conducciones e interacción entre unidades (para plantas hidráulicas). Se debe adjuntar en formato digital el modelo validado correspondiente. Se recomienda que este modelo sea implementado en la herramienta utilizada por el CND, sin embargo puede entregarse en otras herramientas de simulación dinámica.

Parámetros

Se debe reportar una tabla con los parámetros validados incluidos en el diagrama de bloques y las bases usadas para la obtención de los mismos en p.u.

Verificación de estabilidad en red aislada



Consejo Nacional de Operación

Para el caso de las unidades hidráulicas, se debe presentar el detalle y los resultados de las pruebas realizadas para verificar la estabilidad en red aislada de la unidad. En este campo se debe incluir como mínimo la siguiente información:

- Reportar si la prueba fue realizada a través de simulación o en campo. En caso de que se realice en campo, reportar la fecha y hora de la prueba.
- Describir condiciones de la prueba: Estado de PSSs (Activos o no), condiciones iniciales del generador bajo prueba (P , Q , V_t , f) y estado de las otras unidades de la planta en caso de que la prueba se realice en campo.
- Curvas de potencia o frecuencia del generador obtenidas para esta prueba.

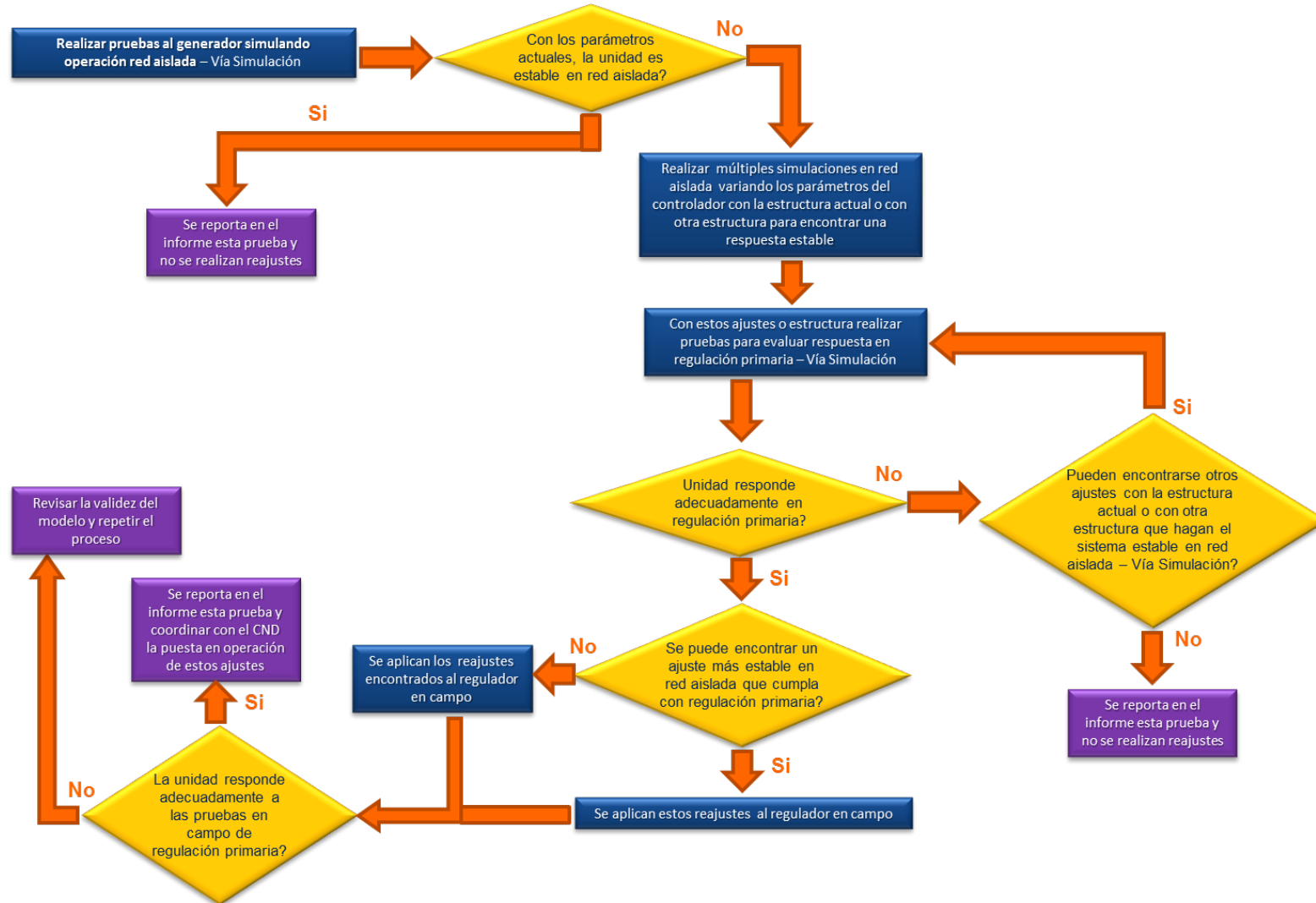
Asimismo se debe entregar en medio digital, el sistema de prueba utilizado para realizar la verificación de estabilidad en red aislada. Se recomienda que este sistema de prueba sea implementado en la herramienta utilizada por el CND, sin embargo puede entregarse en otras herramientas de simulación dinámica.

En caso de identificarse una inestabilidad de este control con la unidad en simulación de red aislada, se debe proponer un reajuste para el control correspondiente, mostrando a través de simulación el impacto de este reajuste desde el punto de vista de estabilidad y de regulación primaria y la propuesta de trabajo para su implementación que incluya pruebas de regulación primaria.

ANEXO 2.

Procedimiento propuesto para la realización de las prueba en simulación de red aislada para unidades hidráulicas

En la siguiente figura se presenta el diagrama de flujo con el procedimiento propuesto para la realización de las simulaciones en red aislada de las unidades hidráulicas:



Con base en el diagrama de flujo presentado en la anterior figura, a continuación se detallan las condiciones de las simulaciones requeridas para determinar la estabilidad de una unidad en simulación de red aislada

1. Obtener el modelo validado del regulador de velocidad, considerando las conducciones hidráulicas.
2. Obtener los parámetros validados del modelo del generador.
3. Con estos modelos, se simula el generador bajo prueba alimentando una carga de potencia constante y una sola unidad de la planta en servicio, lo cual corresponde a la condición más exigente desde el punto de vista de estabilidad. (Ver figura 2).
4. Se debe tener en operación el modelo del regulador de velocidad y conducciones hidráulicas previamente validado.
5. No se debe tener en cuenta el PSS, y se recomienda deshabilitar el AVR.
6. Las condiciones iniciales de la prueba son las siguientes (Ver figura 2):
 - Potencia de la carga: 75% de la potencia nominal de la unidad (P_{nom}).
 - Tensión en bornes: 1 p.u.
7. Perturbación (Ver figura 2):
 - Escalón del -5% de la potencia nominal de la unidad, en la carga
8. Realizar la simulación considerando la perturbación descrita, durante al menos 300 segundos, registrando el comportamiento de la frecuencia del sistema generador - carga.

En la siguiente figura se presenta un ejemplo del sistema de prueba equivalente para una máquina de potencia nominal $P_{nom.}=240\text{MW}$, alimentando una carga de potencia constante. Se describe el evento a simular y se presentan los resultados obtenidos en la frecuencia del sistema, evidenciándose la inestabilidad de la unidad con los ajustes actuales.

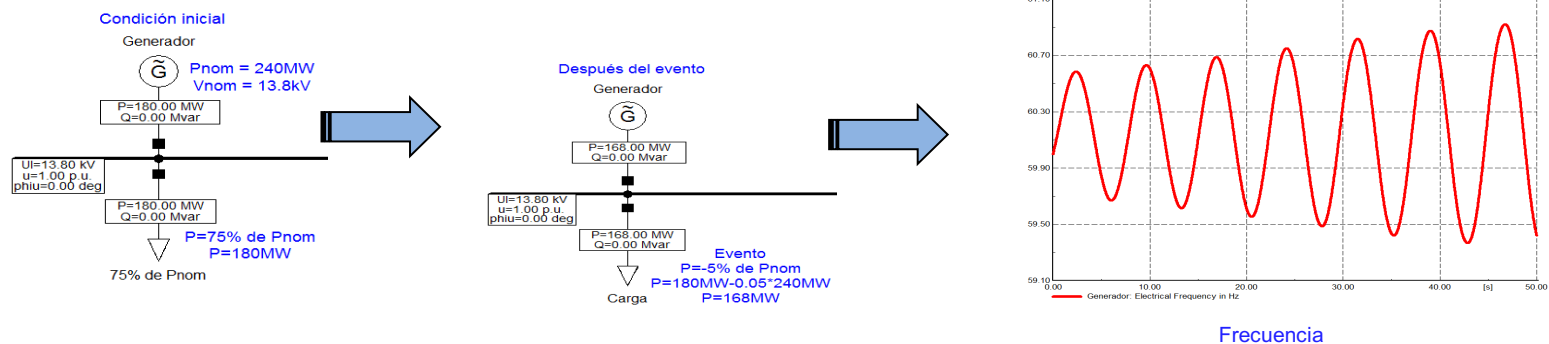


Figura 1 Ejemplo de sistema de prueba y definición del evento para simulación de respuesta en red aislada

ANEXO 3.

Índices de evaluación para verificar la validez de los modelos

El principio esencial de la validación de la respuesta dinámica de un modelo es que éste, al ser integrado en el programa de simulación utilizado por el CND para el planeamiento del SIN, permita reproducir dentro de niveles aceptables de precisión, la respuesta real de los elementos modelados ante pruebas o perturbaciones en diferentes condiciones operativas.

Con el fin de contar con modelos útiles para el análisis y planeamiento del SIN, los agentes generadores deben garantizar que la respuesta real y la simulada, utilizando los modelos validados, sean coherentes en los siguientes aspectos:

- Forma general de las curvas para las distintas pruebas de validación que se desarrollen, incluyendo la magnitud y velocidad de la respuesta
- Tiempo de subida, sobreimpulso
- Bandas muertas y tiempos de retardo
- Valores iniciales y finales

Con el fin de verificar que las curvas sean coherentes de acuerdo a los parámetros y características señaladas, se determinará los índices de evaluación que se presentan a continuación:

Error absoluto del sobre impulso (ES)

Es la diferencia absoluta entre los sobre impulsos en porcentaje.

$$ES = |SI_R - SI_S|$$

Con:

$$SI = \frac{v_{\max} - v_f}{v_f - v_i} \times 100$$

Donde:

SI_R : Sobre impulso de la señal real tomada durante la prueba

SI_S : Sobre impulso de la señal simulada tomada del modelo

$v_{\max}$: Valor máximo de la curva

v_f : Valor final de la curva

v_i : Valor inicial de la curva

Error relativo en el tiempo de retardo (ETR)

Este error está basado en el tiempo de retardo, el cual se define como el tiempo necesario para que la señal alcance un 50% del valor final. El error relativo en el tiempo de retardo, será la diferencia absoluta relativa entre los tiempos de retardo real y simulado.

$$ETR = \left| \frac{TR_R - TR_S}{TR_R} \right| \times 100$$

Donde:

TR_R : Tiempo de retardo de la señal real tomado durante la prueba

TR_S : Tiempo de retardo de la señal simulada tomado con base en el modelo

Error relativo del valor final (EVF)

Este error se define como la diferencia entre los valores finales alcanzados por las señales real y simulada, con base en la señal real.

$$EF = \left| \frac{vf_R - vf_S}{vf_R} \right| \times 100$$

vf_R : Valor final real de la señal obtenida con base en la prueba.

vf_S : Valor final de la señal simulada obtenida con base en el modelo.

Factor de error compuesto de magnitud y fase (FEC)

Este error pretende medir las diferencias entre las señales real y simulada en términos de fase y magnitud, y combinar estas en un indicador compuesto.

Este factor se calcula a partir de los siguientes cálculos:

$$v_{RR} = (t_f - t_i)^{-1} \int_{t_i}^{t_f} R^2(t) dt$$

$$v_{SS} = (t_f - t_i)^{-1} \int_{t_i}^{t_f} S^2(t) dt$$

$$v_{RS} = (t_f - t_i)^{-1} \int_{t_i}^{t_f} R(t)S(t) dt$$

Donde:

$t_i < t < t_f$: es el intervalo de tiempo en el que se comparan las curvas

$R(t)$: Es la señal real proveniente de la prueba en el tiempo

$S(t)$: Es la señal simulada proveniente del modelo

Con estos datos se calcula el error de magnitud:

$$E_M = \sqrt{v_{SS} / v_{RR}} - 1$$

Luego el error de fase:

$$E_F = \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left(v_{RM} \sqrt{v_{RR} v_{SS}} \right)$$

Finalmente, el factor de error compuesto de magnitud y fase se calcula como:

$$FEC = \sqrt{E_M^2 + E_F^2}$$

Suma normalizada de errores cuadráticos (normalizad sum of squared errors) (NSSE)

Este error corresponde al cuadrado de la suma de las diferencias punto a punto ente las señales real y simulada con base en la sumatoria de los cuadrados de la señal real.

$$NSSE = \frac{\sum_{i=1}^n [R_i - S_i]^2}{\sum_{i=1}^n [R_i]^2}$$

Donde:

R_i : Es el i -ésimo valor de la señal real en el tiempo proveniente de la prueba

S_i : Es el i -ésimo valor de la señal simulada en el tiempo proveniente del modelo

Los valores de referencia para los índices de coherencia, las pruebas y las señales sobre las que estos se aplican, son definidos en las siguientes tablas, para el sistema de excitación, el PSS y el regulador de velocidad / potencia:

Tabla A3. 1 Índices de coherencia para el modelo del AVR

Prueba	Señal	Índice	Valor de referencia
1. Escalón en la tensión de referencia en vacío. 2. Escalón en la tensión de referencia en carga sin PSS.	V_T	ES	10%
		EVF	10%
		ETR	10%
		NSSE	5%
	V_F	NSSE	15%
	Q	ES	15%
		EVF	15%
		NSSE	10%

Tabla A3. 2 Índices de coherencia para el modelo del PSS

Prueba	Señal	Índice	Valor de referencia
1. Escalón en la tensión de referencia en carga con PSS o escalón en la(s) entrada(s) al PSS	V_T	ES	10%
		EVF	10%
		ETR	10%
		NSSE	5%
	Q	ES	15%
		EVF	15%
		NSSE	10%
	P	NSSE	10%
		FEC	5%
	U_{PSS}^1	NSSE	10%

Tabla A3. 3 Índices de coherencia para los modelos de los limitadores del sistema de excitación (CV, OEL, UEL, V/Hz, LPQ, SCL, RCC, CCC, etc.)

Prueba	Señal	Índice	Valor de referencia
1. Escalón de gran señal en la tensión de referencia del AVR para provocar la actuación del limitador.	V_T	EVF	15%
		NSSE	5%
	Q	EVF	15%
		NSSE	5%
	U_{LIM}^2	NSSE	5%

1

Solo se calcularía este índice para la señal de salida del PSS (U_{pss}), en caso de que esta pueda ser medida en campo.

² Solo se calcularía este índice para la señal de salida del limitador correspondiente (U_{LIM}), en caso de que esta pueda ser medida en campo.

Tabla A3. 4 Índices de coherencia para el modelo del regulador de velocidad / potencia

Prueba	Señal	Índice	Valor de referencia
3. Escalón en la potencia o la velocidad de referencia en carga.	P	NSSE	10%
		FEC	5%
		EVF	15%
		ES	20%
		ETR	15%
	Y_A ³	NSSE	10%

Dado que cada prueba implica la realización de diferentes ensayos en campo para tres niveles de generación (máxima, media y mínima carga), los índices de coherencia correspondientes a cada prueba se calcularán como el promedio de los índices obtenidos para cada uno de los ensayos.

Se considera que un modelo pasa exitosamente la etapa de validación, si los índices de coherencia promedio, calculados para cada prueba son menores o iguales a los valores de referencia indicados en las tablas A3.1 a A3.4. De lo contrario, el CND informará al agente sobre los índices incumplidos para que este realice los ajustes necesarios en el modelo.

³ Los índices para la señal de posición o apertura (Y_A) no serán evaluados para unidades térmicas.

ANEXO 4.

Guía de pruebas recomendadas para realizar la validación de los modelos de control para los generadores.

A continuación se presenta una guía con pruebas que pueden ser realizadas para verificar la validez de los modelos de los controles de generación.

Validación del modelo del sistema de excitación

La validación del modelo del sistema de excitación debe hacerse para tres niveles de carga del generador (máxima, media y mínima), y se puede realizar considerando como mínimo las siguientes pruebas:

- Determinar la respuesta al escalón con la unidad en vacío con el regulador de voltaje en modo de control automático. La prueba debe realizarse tanto en condiciones en las que se exciten todas las dinámicas no lineales del modelo (OEL, UEL, RCC, LCC, SCL, etc.) como en condiciones en las que no se activen estas no linealidades. Se deben verificar los siguientes requerimientos:
 - El escalón en la referencia del voltaje en terminales debe ser al menos un 2% del voltaje nominal del generador.
 - Se deben almacenar los registros de al menos el voltaje en terminales del generador y el voltaje de campo del generador (voltaje de campo de la excitatriz y la corriente para las unidades sin escobillas), los cuales serán utilizados como variables de comparación para realizar la validación del modelo.
 - Se deben tomar mínimo 100 muestras por segundo durante al menos 10 segundos después de estabilizadas las señales registradas en la prueba.
 - Se deben comparar los registros almacenados del sistema real con la respuesta del modelo. Se debe verificar una coherencia entre la forma de la curva, el valor inicial, el tiempo de subida, el sobreimpulso, tiempo de establecimiento y el valor final.
- Determinar la respuesta al escalón con la unidad sincronizada con el regulador de voltaje en modo de control automático. La prueba debe realizarse tanto en condiciones en las que se exciten todas las dinámicas no lineales del modelo (OEL, UEL, RCC, LCC, SCL, etc.) como en condiciones en las que no se activen estas no linealidades. Se deben verificar los siguientes requerimientos:
 - El escalón en la referencia del voltaje en terminales debe ser al menos un 2% del voltaje nominal del generador.
 - Se deben almacenar los registros de al menos el voltaje en terminales del generador y el voltaje de campo del generador (voltaje de campo de la excitatriz y la corriente para las unidades sin escobillas) y potencia reactiva, los cuales serán utilizados como variables de comparación para realizar la validación del modelo.
 - Se deben tomar mínimo 100 muestras por segundo durante al menos 10 segundos después de estabilizadas las señales registradas en la prueba.
 - Se deben comparar los registros almacenados del sistema real con la respuesta del modelo. Se debe verificar una coherencia entre la forma de la curva, el valor inicial, el tiempo de subida, el sobreimpulso, tiempo de establecimiento y el valor final.

- De ser posible, se debe almacenar la respuesta de la unidad a una perturbación del sistema que verifique los siguientes criterios:
 - La perturbación debe originar un cambio repentino en el voltaje del sistema de al menos el 2% del voltaje nominal en barras o un cambio de al menos el 10% de la potencia reactiva respecto a los MVA nominales.
 - Se deben tomar mínimo 100 muestras por segundo durante al menos 10 segundos después de estabilizadas las señales registradas en la prueba.
 - Las variables almacenadas incluyen potencia reactiva del generador, voltaje en terminales del generador y voltaje del sistema, señal de salida y señal(es) de entrada al estabilizador del sistema de potencia.
 - El regulador del voltaje debe estar en modo de control automático y se deben realizar pruebas con y sin estabilizador del sistema de potencia en servicio.
 - Los datos almacenados se comparan con los del modelo considerando una perturbación modelada del voltaje del sistema. Debe haber coherencia entre la potencia activa y reactiva generada y el voltaje en terminales del generador en términos de: forma de las curvas, valores iniciales, tiempos de subida, sobreimpulsos, tiempos de establecimiento y valores finales.
- Determinar la respuesta del sistema de excitación a un barrido en frecuencia de 0.02 Hz a 3 Hz inyectado en la tensión de referencia del AVR, con la unidad sincronizada a media carga. La prueba no debe excitar las no lineales del modelo (OEL, UEL, RCC, LCC, SCL, etc.). Se deben verificar los siguientes requerimientos:
 - La amplitud de la señal senoidal a inyectar no debe causar la actuación de algún limitador ni saturaciones al interior de la lógica del sistema de excitación.
 - Se debe registrar el tiempo necesario para almacenar al menos 5 ciclos de cada frecuencia inyectada.
 - Las variables almacenadas incluyen potencia reactiva del generador, voltaje en terminales del generador y voltaje del sistema, señal de salida y señal(es) de entrada al estabilizador del sistema de potencia.
 - El regulador del voltaje debe estar en modo de control automático y se deben realizar pruebas con y sin estabilizador del sistema de potencia en servicio.
 - Los datos almacenados se comparan con los del modelo considerando la misma señal oscilatoria inyectada en la referencia de tensión del AVR. Debe haber coherencia entre la potencia activa y reactiva generada y el voltaje en terminales del generador en términos de: forma de las curvas, fase, frecuencia y amplitud de las oscilaciones.

Validación del modelo del estabilizador del sistema de potencia

Esta verificación se debe realizar desarrollando una prueba de respuesta en frecuencia con el regulador de voltaje en modo control automático y el estabilizador del sistema de potencia en servicio. De ser posible, lo ideal es inyectar señales senoidales de frecuencias entre 0.02 Hz y 3 Hz en cada una de las entradas del PSS (para los PSSs tipo IEEE PSS 2A serían las entradas de Potencia y Frecuencia). La prueba debe verificar los siguientes requerimientos:

- La amplitud y frecuencias máximas o mínimas de las señales a inyectar deben ser seleccionadas de tal forma que no se activen no linealidades en la lógica del PSS o sistema de excitación.
- Se debe almacenar al menos la(s) señal(es) de entrada y salida del estabilizador del sistema de potencia, el voltaje en terminales del generador, la potencia activa y reactiva.
- Los datos almacenados son comparados con los resultados de la respuesta al barrido de frecuencia. Debe haber coherencia en términos de forma de las curvas, fase, frecuencia y amplitud de las oscilaciones.

Consideraciones adicionales de las pruebas:

- Todos los elementos de protección deben estar en servicio durante cualquier prueba en línea o fuera de línea.

Validación y modelamiento del regulador de velocidad/potencia, turbina, actuadores y conducciones hidráulicas⁴.

Esta validación debe realizarse con la unidad generando el mínimo técnico, un valor intermedio y su valor máximo. La validación puede realizarse considerando al menos uno de los siguientes métodos:

- Desarrollar una prueba ante un escalón en la velocidad de referencia. Se deben:
 - Tomar mínimo 10 muestras por segundo durante al menos 10 segundos después de estabilizadas las señales registradas en la prueba.
 - Almacenar los registros de la señal de referencia de velocidad, frecuencia, potencia, apertura de agujas, distribuidor o válvulas y potencia activa del generador.
 - Comparar los registros almacenados con los obtenidos con el modelo del regulador de velocidad. Se debe verificar la coherencia entre la forma de la curva, el valor inicial, el tiempo de subida, el sobreimpulso, el tiempo de establecimiento y el valor final.
- Desarrollar una prueba de rechazo de carga. La prueba debe verificar los siguientes requerimientos:
 - El rechazo de carga no debe superar el 20% de la potencia nominal de la unidad de generación.
 - Se deben tomar mínimo 10 muestras por segundo durante al menos 10 segundos después de estabilizadas las señales registradas en la prueba.
 - Almacenar al menos los registros de potencia activa del generador, apertura y velocidad de la unidad de generación.
 - Comparar los registros almacenados con los obtenidos con el modelo del regulador de velocidad. Se debe verificar la coherencia entre la forma de la curva, el valor

inicial, el tiempo de subida, el sobreimpulso, el tiempo de establecimiento y el valor final.

- Almacenar los registros de una unidad ante un cambio repentino en la frecuencia que cumpla con los siguientes requerimientos:
 - La perturbación debe estar acompañada de un cambio en la frecuencia de al menos 0.05 Hz dentro de un periodo de un segundo.
 - Los registros deben contar con al menos 10 muestras por segundo.
 - Los registros y la simulación deben cubrir al menos 30 segundos.
 - Se deben almacenar los registros de frecuencia, apertura y potencia activa del generador.
 - Comparar los registros almacenados con los obtenidos con el modelo del regulador de velocidad. Se debe verificar la coherencia entre la forma de la curva, el valor inicial, el tiempo de subida, el sobreimpulso, el tiempo de establecimiento y el valor final.
- Determinar la respuesta del gobernador de velocidad y los actuadores hidráulicos a un barrido en frecuencia de 0.02 HZ a 1 Hz inyectado en la referencia de velocidad del regulador de velocidad / potencia, con la unidad sincronizada a media carga. La prueba no debe excitar las no lineales del sistema de control. Se deben verificar los siguientes requerimientos:
 - La amplitud de la señal senoidal a inyectar no debe causar la actuación de algún limitador ni saturaciones al interior de la lógica del sistema de control de velocidad o sistema de actuadores electrohidráulico.
 - Se debe registrar el tiempo necesario para almacenar al menos 5 ciclos de cada frecuencia inyectada.
 - Las variables almacenadas incluyen potencia activa del generador, apertura, velocidad, frecuencia, voltaje en terminales del generador.
 - Los datos almacenados se comparan con los del modelo, considerando la misma señal oscilatoria inyectada en la referencia de velocidad del regulador de velocidad / potencia. Debe haber coherencia entre las señales de potencia activa, velocidad y apertura en términos de: forma de las curvas, fase, frecuencia y amplitud de las oscilaciones.