



XVII ERIAC
DECIMOSÉPTIMO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

21 al 25 de mayo de 2017



C2 – OPERACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA

SISTEMAS DE CONTROL DE EXCITACIÓN Y DE FRECUENCIA - POTENCIA DE GENERADORES. ENSAYOS PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DESEMPEÑO Y DE MODELOS

C. E. BITEZNIK*
IITREE-FI-UNLP
Argentina

M. C. BEROQUI
IITREE-FI-UNLP
Argentina

F. ISSOURIBEHERE
IITREE-FI-UNLP
Argentina

***Resumen** – Se presentan los requisitos técnicos que deben cumplir las unidades generadoras que deseen ingresar al Sistema Argentino de Interconexión (SADI), como así también se indican los ensayos que deben ser realizados para verificar el cumplimiento de dichos requisitos técnicos. Entre los sistemas a ensayar y evaluar se encuentran los siguientes: Generador, Regulador Automático de Tensión (RAT), Limitadores de Máxima y Mínima Excitación (OEL y UEL), Limitador de Máximo Flujo (V/Hz), Estabilizador de Potencia (PSS) y Regulador Automático de Velocidad (RAV). En caso de existir, también debe probarse los sistemas de control conjunto que existan en la central eléctrica, sean estos controles de Tensión o de Potencia activa. A modo de ejemplo, se presentan ensayos realizados por el Instituto de Investigaciones Tecnológicas en Redes y Equipos Eléctricos (IITREE) en unidades generadoras del SADI y sus correspondientes simulaciones. Se presentan las variables de interés medidas y los parámetros de desempeños evaluados para cumplir con los requerimientos de CAMMESA.*

Palabras clave: Ensayos – Generadores – Mediciones – Modelos – Simulaciones

1 INTRODUCCIÓN

La Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA) en el Procedimiento Técnico N° 4 (PT4) [1], denominado “Ingreso de Nuevos grandes Usuarios Mayores, Distribuidores, Generadores, Autogeneradores, y Cogeneradores al MEM”, específicamente en el capítulo 2, define los requisitos reglamentarios, informativos y técnicos que deben cumplir los Generadores, Autogeneradores y los Cogeneradores para permitir su ingreso al MEM y su despacho. En el mismo se describen los ensayos que deben llevarse a cabo durante la marcha de prueba de la unidad y los parámetros de desempeño que debe cumplir para obtener la habilitación comercial.

Entre los sistemas a ensayar y evaluar se encuentran los siguientes: Generador, Regulador Automático de Tensión (RAT), Limitadores de Máxima y Mínima Excitación (OEL y UEL), Limitador de Máximo Flujo (V/Hz), Estabilizador de Potencia (PSS) y Regulador Automático de Velocidad (RAV). En caso de existir, también debe probarse los sistemas de control conjunto que existan en la central eléctrica, sean estos controles de Tensión o de Potencia activa.

En caso de que la unidad desee realizar regulación de frecuencia, CAMMESA requiere se realicen ensayos adicionales al sistema de control de velocidad-potencia, los cuales se detallan en el Procedimiento Técnico N° 9 (PT9) [2].

Además de la realización de los ensayos, el PT4 y el PT9 requieren la reproducción de los correspondientes ensayos mediante simulaciones. Estas simulaciones se realizan con el programa Simulink de Matlab u otro similar.

* C. E. Biteznik, IITREE-FI-UNLP, calle 48 y 116, B1900AMF, La Plata, Argentina – cebiteznik@iitree-unlp.org.ar

Concluidos todos los ensayos y verificaciones de parámetros de desempeño, el agente generador debe entregar los modelos en formato adecuado para el programa PSS/E correspondientes a: GENERADOR, RAT, OEL, UEL, PSS y RAV. Finalmente, estos modelos son incorporados a la Base de Datos Dinámicos que administra CAMMESA, la cual es utilizada para realizar estudios de estabilidad del SADI.

2 ENSAYOS DEL GENERADOR.

Estos ensayos permiten determinar los parámetros correspondientes a los modelos de generadores de las unidades generadoras.

Con el objeto de minimizar las perturbaciones introducidas al sistema eléctrico, se realizan los ensayos descritos en la publicación de IEEE de Mello y Ribeiro, que constituyen un método alternativo según la IEEE Std. 1110-1991 [3].

El Anexo E del PT4 [4] detalla el procedimiento para la medición de los parámetros de eje directo y de eje en cuadratura para condiciones saturadas y no saturadas. En caso de disponer de los protocolos de ensayo de los generadores realizados por el fabricante y el listado de parámetros garantizados por el mismo, no es necesario realizar estos ensayos. De igual forma, los valores de reactancia y tiempos se verifican al momento de simular los ensayos sobre el sistema de excitación.

Además de los parámetros de eje directo y de eje en cuadratura, se releva la curva de saturación del generador. Este ensayo se realiza con el generador desconectado de la red de potencia (en vacío), girando a velocidad nominal y excitado, con el regulador de Tensión en Manual. Se modifica la excitación para obtener tensiones terminales desde prácticamente 0 kV hasta el 110% ó 120% de la tensión nominal (dependiendo de la máxima tensión soportada por el generador y/o transformador de máquina). Las lecturas se efectúan con excitación creciente y decreciente en pasos de 5% de la Tensión Terminal. Es conveniente que este ensayo se haga inmediatamente después que la máquina haya estado en servicio a potencia nominal durante varias horas para que se encuentre en régimen térmico.

En Fig. 1 se muestra un ejemplo del relevamiento de la curva de saturación de un generador de 300 MVA. En trazo negro se muestra la curva de saturación del generador que mejor aproxima a las curvas azul/roja relevadas mediante ensayos subiendo/bajando la tensión terminal. Los parámetros de la curva de magnetización son: $S(1,0) = 0,110$ y $S(1,2) = 0,659$.

3 ENSAYOS DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN

Los ensayos del sistema de excitación tienen por finalidad identificar con precisión la respuesta dinámica y permitir determinar los parámetros correspondientes a los modelos propuestos del Regulador Automático de Tensión (RAT), del Limitador V/Hz, de los Limitadores de Sub-Excitación (UEL) y Sobre-Excitación (OEL), y del Estabilizador de Potencia (PSS) de la unidad generadora. Los ensayos del sistema de excitación son realizados de acuerdo a la normativa y metodologías descriptas en la norma IEEE 421.2-1990 [5].

Para documentar y procesar los registros, es necesario registrar con registradores rápidos diferentes variables según corresponda. Entre las variables a registrar se incluyen: Referencia de Tensión Terminal del Generador; Tensión Terminal del Generador; Tensión de control del Rectificador (Salida Regulador Automático de Tensión); Tensión de Campo; Corriente de Campo; Salida Limitador V/Hz; Salida Limitador de Sobre-Excitación (OEL) máxima/temporizada; Salida Limitador de Sub-Excitación (UEL), Salida Limitador de Máxima Corriente Estática capacitiva/inductiva; Potencia Activa; Potencia Reactiva; Salida PSS.

3.1 Verificación de la respuesta del RAT con el generador en Vacío.

Este ensayo se realiza con el generador desvinculado del sistema de potencia (en vacío), excitado, girando a velocidad nominal, y con tensión terminal nominal. El RAT debe estar en control automático.

Se introduce un cambio tipo pulso de pequeña amplitud (2% a 5%) en la referencia de la tensión terminal, cuya duración será la necesaria para que se establezca la tensión terminal (aproximadamente 20 segundos).

Se registra el pulso aplicado, la tensión terminal, la tensión de campo y la corriente de campo. Posteriormente, sobre el registro de la tensión terminal se miden los tiempos de crecimiento y establecimiento, y el sobrevalor de la onda. A modo de ejemplo, en la Fig. 2 se muestra una medición realizada en el sistema de excitación de una turbina de gas, donde se aplicó un pulso de 5% durante 20 segundos y se verifican los parámetros de desempeño de la tensión en vacío. Adicionalmente, se muestran rectas horizontales de colores (violeta, verde, rojo y azul) apartadas respecto de los valores inicial y final de

la tensión terminal una cantidad igual a un $\pm 5\%$ de la variación de tensión aplicada. También se muestran otras 2 rectas horizontales de colores (Celeste y naranja) apartadas respecto de los valores inicial y final de la tensión terminal una cantidad igual a un $+10\%/ -10\%$ respectivamente de la variación de tensión aplicada. Del análisis del registro resulta (límites establecidos en el punto 2.2.3.3 inciso c [1]): Tiempo Crecimiento (10% a 90%) = $1,35 - 1,16 = 0,19\text{ s} < 0,3\text{ s}$; Tiempo Establecimiento (desde aplicación pulso hasta entrada en Banda $\pm 5\%$ alrededor de valor final) = $1,39 - 1,12 = 0,27\text{ s} < 1,5\text{ s}$; Sobrevalor = $0\% < 15\%$.

3.2 Verificación de techos de excitación y límites del RAT con el generador en vacío.

Estos ensayos tienen por objeto relevar los techos de la excitación estática (rectificador controlado), y el limitador Volt/Herz (V/Hz) del Regulador de la Excitación. Se realizan con la unidad generadora excitada sin carga y girando a velocidad nominal.

Para verificar el techo positivo y negativo de excitación se aplica un pulso en la referencia de tensión de amplitud superior al $+10\%$ y -10% de la tensión terminal del generador respectivamente, y con una duración entre $0,1$ y $0,25$ segundos. De no alcanzarse los techos de excitación se aumenta en pasos del 5% la amplitud del pulso aplicado hasta lograr alcanzar el correspondiente techo de excitación. Para el ensayo en el cual la tensión terminal del generador aumenta (techos positivos), se aplica el pulso, estando previamente la tensión

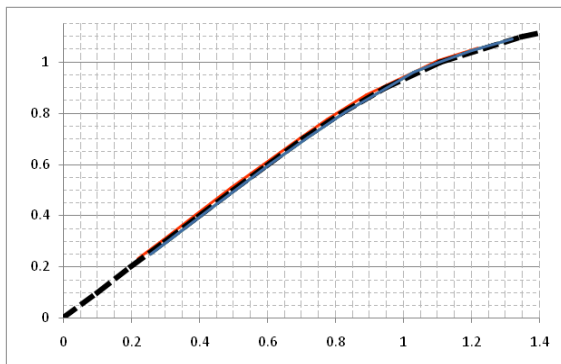


Fig. 1. Curva saturación Máquina Síncrona. Ensayos curvas azul/rojo, aprox. curva negra.

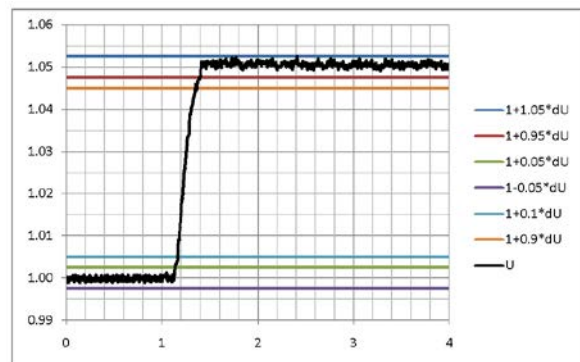


Fig. 2. Tensión Terminal. Respuesta a Escalón $+5\%$ en Referencia Tensión.

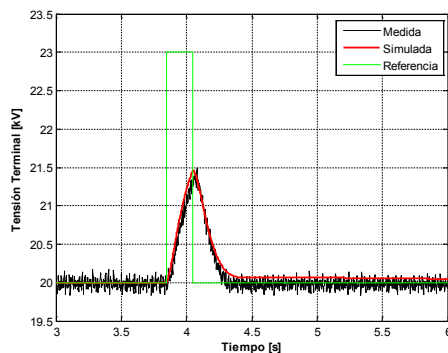


Fig. 3. Pulso $+15\%$, $0,2\text{ s}$. Tensión Terminal.

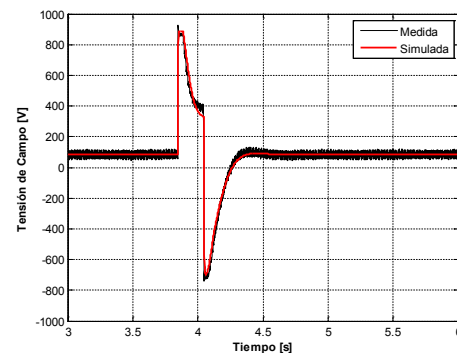


Fig. 4. Pulso $+15\%$, $0,2\text{ s}$. Tensión de Campo.

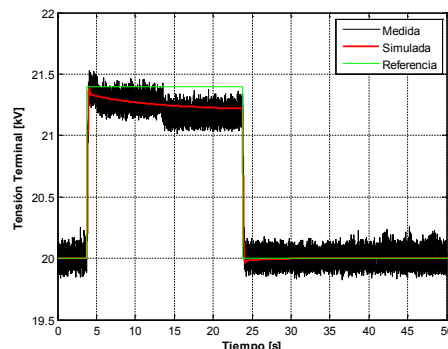


Fig. 5. V/Hz. Pulso $+7\%$, 20 s . Tensión Terminal.

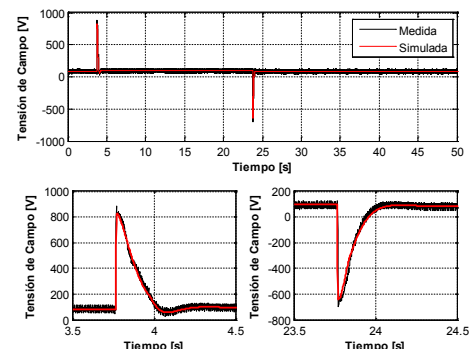


Fig. 6. V/Hz. Pulso $+7\%$, 20 s . Tensión de Campo.

terminal del generador cercana a 90%. Cuando la tensión terminal del generador disminuye (techos negativos), se aplicará el pulso de la polaridad adecuada, estando previamente la tensión terminal del generador cercana a 110%.

En la Fig. 3 y Fig. 4 se muestra la tensión terminal y la tensión de campo para el ensayo del techo positivo, donde se aplicó un pulso en la referencia de tensión de +15% y 0,2 segundos de duración. Se puede ver que la tensión de campo alcanza su límite en 900 V.

El ensayo del limitador V/Hz se realiza introduciendo un cambio tipo pulso positivo en la referencia de la tensión terminal cuya amplitud será la necesaria para ver la actuación del limitador y cuya duración será de al menos 20 segundos. De ser necesario, se podrá disminuir el valor de tensión de actuación de este limitador para frecuencia nominal para evitar la actuación de la protección de sobre-tensión del generador o del transformador de step-up.

En las Fig. 5 y 6 se muestra, respectivamente, la tensión terminal y la tensión de campo para el ensayo del Limitador V/Hz, donde se aplicó un pulso en la referencia de tensión de +7% y 20 segundos de duración. Se puede ver que debido a la actuación del limitador, la tensión terminal decae luego de haber alcanzado su valor máximo. En este caso el valor ajustado para el Limitador V/Hz era de 1,06 pu (21,2 kV).

3.3 Ensayo de respuesta dinámica en carga con actuación de los limitadores de excitación.

El ensayo del Limitadores de Sobre-Excitación (OEL) máxima y temporizada y del limitador de Sub-Excitación (UEL) se realizan con la unidad generadora en carga.

Se trata de lograr las condiciones de despacho de potencias activa y reactiva para hacer actuar los limitadores con los valores de ajustes reales de los mismos. Si no resulta posible lograr dichas condiciones de despacho, se puede hacer actuar estos Limitadores con menores valores de potencia reactiva inductiva/capacitiva (OEL/UEL), para lo cual se cambian los respectivos ajustes.

Previo a la ejecución de los ensayos, el operador según corresponda aumentará o disminuirá la tensión de la unidad hasta que actúe el limitador. En estas condiciones se tomará el valor de potencias activa y reactiva, tensión y corriente terminales, y tensión y corriente de campo. Luego, el operador disminuirá/aumentará (OEL/UEL) alrededor de un 1% la tensión terminal de modo que deje de actuar el limitador, dejando a la unidad en condiciones de ser ensayada. Se aplica un escalón en la referencia de tensión, de amplitud entre 2% y 3% de la tensión nominal de generación, cuya duración sea de 20 segundos o más para permitir el establecimiento de la tensión terminal de la unidad cuando actúa el limitador (OEL o UEL).

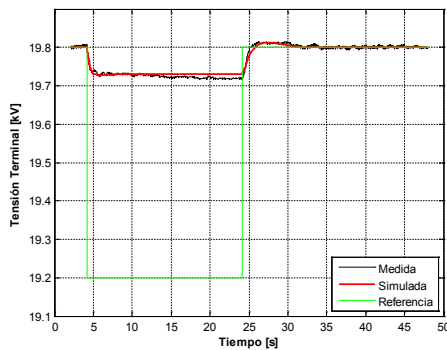


Fig. 7. UEL. Pulso -3 %, 20 s. Tensión Terminal.

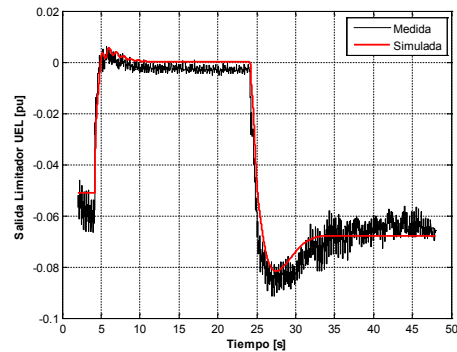


Fig. 8. UEL. Pulso -3 %, 20 s. Salida del Limitador.

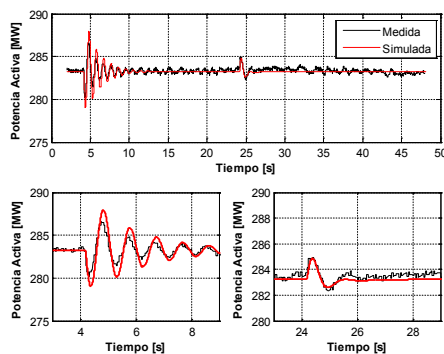


Fig. 9. UEL. Pulso -3 %, 20 s. Potencia Activa.

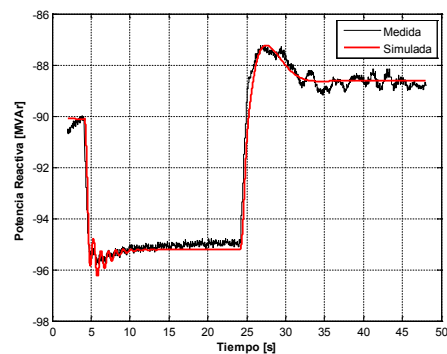


Fig. 10. UEL. Pulso -3 %, 20 s. Potencia Reactiva.

La Fig.7 a 10 muestran las mediciones y simulaciones del ensayo del UEL estando el generador despachado en 285 MW y -90 MVAr.

4 ENSAYOS DE LOS ESTABILIZADORES (PSS)

El estabilizador debe ser capaz de realizar aportes positivos al amortiguamiento de las oscilaciones electromecánicas dentro de una banda de frecuencias comprendidas entre 0,1 Hz y 2,5 Hz.

Con el fin de verificar el correcto ajuste del PSS, se realizan los ensayos que se enumeran a continuación.

4.1 Modo Local de oscilación

Estos ensayos se realizan con la unidad generadora operando con una Potencia Activa superior al 90 % de la carga Base, y con Potencias Reactivas capacitiva, nula e inductiva. Se realizan pruebas con y sin PSS en servicio.

Se introduce un cambio tipo pulso en la referencia de la tensión terminal, cuya duración será la necesaria para que se establezca la tensión terminal. La perturbación consiste en un pulso de amplitud del 2% al 3% de la tensión terminal del generador, y con una duración de 10 segundos. Se determina el período de oscilación y el amortiguamiento relativo con el PSS desconectado. Luego se repite el ensayo con el PSS conectado y se verifica el correcto amortiguamiento de la oscilación.

Las Fig. 11 y 12 muestran la respuesta del PSS ante un pulso de +3% en la referencia de tensión. Se aprecia un buen amortiguamiento en la oscilación de la potencia. Repitiendo la misma prueba pero con el PSS fuera de servicio se evidencia que la respuesta resulta menos amortiguada (ver Fig. 13 y 14).

4.2 Ganancia máxima del estabilizador

Este ensayo permite determinar la máxima ganancia admisible que puede ser ajustada en el PSS sin que se presente un comportamiento inestable de la unidad. El mismo se realiza con la unidad generadora operando con una Potencia Activa superior al 90 % de la carga Base y con el PSS en servicio.

Se aumenta la ganancia del PSS en pasos hasta alcanzar el valor donde aparece una oscilación sostenida de alta frecuencia o hasta que se supera 3 veces la ganancia que se pretende para el PSS.

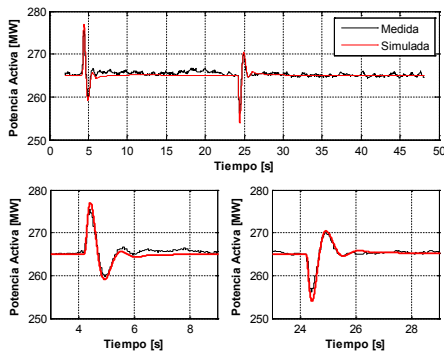


Fig. 11. Pulso +3 %, 20 s. Potencia Activa. Con PSS

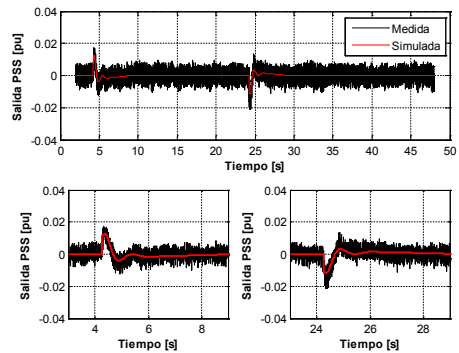


Fig. 12. Pulso +3 %, 20 s. Salida PSS. Con PSS.

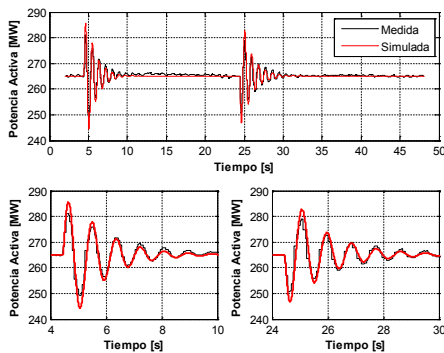


Fig. 13. Pulso +3 %, 20 s. Potencia Activa. Sin PSS.

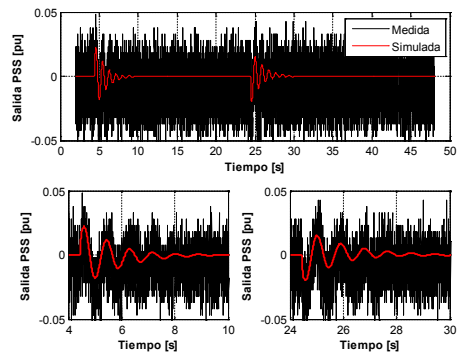


Fig. 14. Pulso +3 %, 20 s. Salida PSS. Sin PSS.

4.3 Desempeño del PSS ante variaciones rápidas de carga de turbina

El objetivo de este ensayo es verificar que los ajustes de los filtros y el diseño del PSS permite minimizar el efecto sobre la salida del PSS de las variaciones rápidas de potencia mecánica, evitando provocar grandes variaciones de potencia reactiva ante variaciones de potencia activa.

El ensayo se realiza con la unidad generadora operando con una Potencia Activa superior al 90 % de la carga máxima, y con Potencia Reactiva cercana a cero. En estas condiciones se aplica un de cambio de consigna de potencia del orden del 10 % al 20% de la Carga máxima, modificando previamente la rampa de toma carga de forma tal de producir el cambio en 1 o 2 segundos.

5 ENSAYOS DEL LAZO DE CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA.

Estos ensayos tienen por finalidad verificar la respuesta del sistema de control potencia-frecuencia y determinar los parámetros y respuestas que permitan homologar el modelo correspondiente. A tal efecto, se deben realizar los ensayos para medición del “Tiempo de Establecimiento”, Banda Muerta y Estatismo en red interconectada, establecidos en la Guía de Ensayos del Procedimiento Técnico N°9 [2].

El tiempo de establecimiento del lazo de regulación de velocidad se define como el tiempo necesario para ingresar en la banda del ± 10 % del valor final y se especifica que debe ser menor de 30 segundos como máximo para máquinas térmicas y 60 segundos para máquinas hidráulicas, determinados para la máquina en funcionamiento interconectado. Este tiempo está determinado por el conjunto de todos los parámetros del lazo: estatismos permanente y transitorio, constante de tiempo del estatismo transitorio, constantes de tiempo de servo-válvulas, características dinámicas de la turbina y tiempo de lanzamiento.

Para determinar el tiempo de establecimiento, se debe excitar al sistema con una perturbación en escalón en la frecuencia de la red, en bornes de la máquina, estando ésta interconectada al SADI. Un escalón en la frecuencia tiene el mismo efecto que un escalón en sentido contrario en la consigna de velocidad (o frecuencia) o en la consigna de carga. El escalón introducido en el ensayo debe ser de magnitud tal que provoque una variación final de potencia no menor que el 70% del margen de regulación ofrecido (5%), sugiriéndose que sea del orden del 3.5% de la potencia nominal de la máquina, y en sentido tal que la generación de la misma aumente. Se registrarán simultáneamente la perturbación y la potencia eléctrica. En caso que esta perturbación no se pueda aplicar, ya sea porque el punto es inaccesible, o porque se introduzca alguna dinámica adicional entre el punto accesible y el punto donde se debe efectuar la misma, se podrá recurrir a la simulación dinámica de todo el lazo de regulación a estudiar.

Para la habilitación de una máquina para participar en la regulación primaria de frecuencia, se requiere el cumplimiento de una serie de requisitos técnicos, que se establecen en el presente procedimiento técnico. En particular se establecen un estatismo permanente comprendido entre el 4 % y el 7 % y una banda muerta en frecuencia menor que 0,1 % (0,05 Hz).

Con el fin de determinar el tiempo de establecimiento mediante simulación, es primordial homologar el modelo de simulación del sistema de control de la turbina. Para lograr la homologación, se deben realizar diferentes ensayos y obtener las mediciones de diferentes señales como ser, para el caso de una turbina de gas: la salida del regulador de frecuencia, la posición de válvula de combustible, entrada de aire, temperatura de gases exhaustos, señal de comando de válvula de combustible, etc.

5.1 Tiempo de Lanzamiento

Este ensayo se realiza para determinar la Constante de Inercia del conjunto generador-turbina. Consiste en realizar un rechazo de carga con la unidad operando previamente a una potencia superior al 25 % de su potencia máxima. Se registran la variación de la frecuencia y la potencia.

La Fig. 15 muestra el comportamiento de la frecuencia al momento del rechazo de carga y la Fig. 16 muestra la aproximación mediante una recta de la pendiente inicial. La pendiente junto con la variación de potencia permite determinar el tiempo de lanzamiento (T_a) del grupo turbina-generador: $T_a = 2H = \Delta P / (\Delta f / \Delta t)$ [s].

5.2 Modos de Operación

Estos ensayos se realizan para verificar las características del Regulador de Velocidad-Potencia para los distintos modos de operación en máquinas tipo turbogas.

Por lo tanto, estos ensayos se realizan con la turbina operando en: Carga Base (control de Temperatura) y Carga Preseleccionada sin y con regulación primaria de frecuencia (RPF). Para el modo Carga

Preseleccionada sin y con RPF la unidad estará despachada al 95 % de la carga con que operaría en Carga Base.

Operando en cada modo, se introduce en la referencia de frecuencia un cambio tipo escalón del orden de 0,2 Hz ó 0,004 pu.

En la Fig. 17 se muestra la aplicación de un escalón positivo de 0,2 Hz y las salidas del bloque de regulación de frecuencia del sistema de control. En la Fig. 18 se aprecia la variación en la potencia activa debido a la perturbación (tanto medida como simulada) cuando la RPF se encuentra activa.

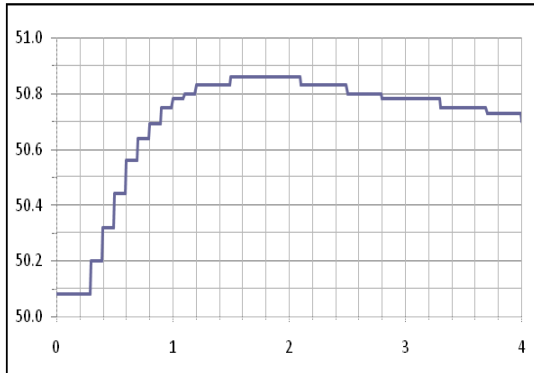


Fig. 15. Frecuencia (Hz). Rechazo de carga 100 MW.

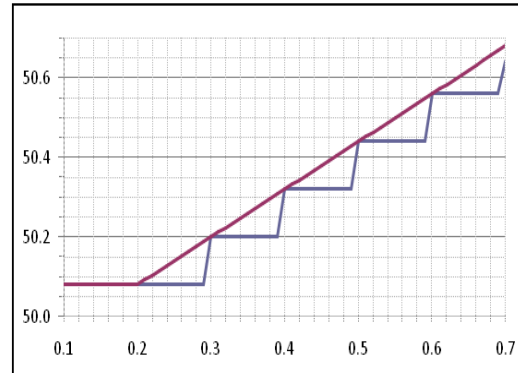


Fig. 16. Aprox. para el cálculo de T_a .

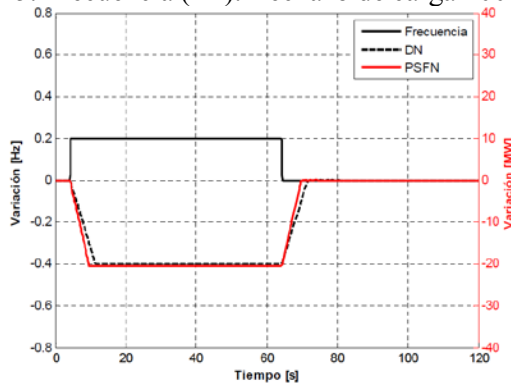
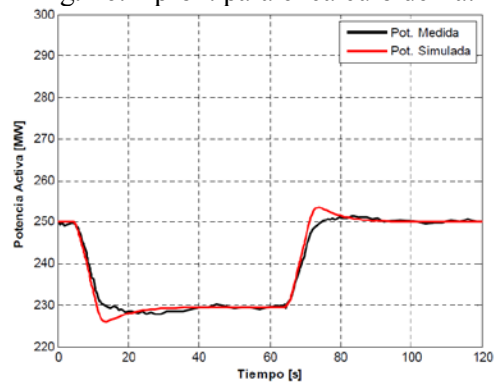


Fig. 17. Escalón 0,2 Hz. Var. de Frecuencia con RPF. Fig. 18. Escalón 0,2 Hz. Potencia Activa con RPF.



5.3 Caída de frecuencia de 2 Hz.

Este ensayo se realiza para verificar el correcto funcionamiento de la turbina y su sistema de control velocidad-potencia ante grandes variaciones de frecuencia en el sistema para cada uno de los modos de operación de la turbina: Carga Base (control de Temperatura) y Carga Preseleccionada sin y con estatismo.

Estos ensayos se realizan con la unidad en carga. Para el modo Carga Preseleccionada sin y con estatismo la unidad estará despachada al 95 % de la carga con que operaría en Carga Base.

Operando en cada modo, se introduce en la referencia de frecuencia un cambio positivo tipo escalón de 2 Hz ó 0,04 pu.

En la Fig. 19 se muestra la aplicación de un escalón negativo de 2 Hz y las salidas del bloque de regulación de frecuencia del sistema de control. En la Fig. 20 se aprecia la variación en la potencia activa debido a la grandes variaciones de frecuencia (tanto medida como simulada) pasando de un modo del funcionamiento "carga preseleccionada" a controlar la temperatura de salida de la turbina, "carga base". Esto se debe a que la potencia de salida pedida es mayor a la máxima posible a entregar por la turbina. Eliminada la perturbación, la turbina vuelve al modo "carga preseleccionada".

6 MODELADO DE LA UNIDAD GENERADORA Y SUS CONTROLES

Finalizados los ensayos descriptos anteriormente, se deben verificar los modelos de fabricante del sistema de excitación y del control de velocidad-potencia. Para ello se reproducen los correspondientes ensayos mediante simulaciones y se comparan sus resultados (como se mostró en las figuras a lo largo del trabajo). Estas simulaciones se realizan con el programa Simulink de Matlab u otro similar. En el caso que sea necesario, se corrigen los parámetros internos del modelo para lograr un comportamiento dinámico del modelo igual al registrado durante los ensayos.

Concluidos todos los ensayos y verificaciones de parámetros de desempeño, el agente generador debe entregar los modelos en formato adecuado para el programa PSS/E correspondientes a: GENERADOR, RAT, OEL, UEL, PSS y RAV. Los modelos a utilizar pueden ser estándar (incluidos en la librería del programa PSS/E) o contruidos ad-hoc para representar alguno de los sistemas asociados a la unidad generadora.

Finalmente, estos modelos son incorporados a la Base de Datos Dinámicos que administra CAMMESA, la cual es utilizada para realizar estudios de estabilidad del SADI.

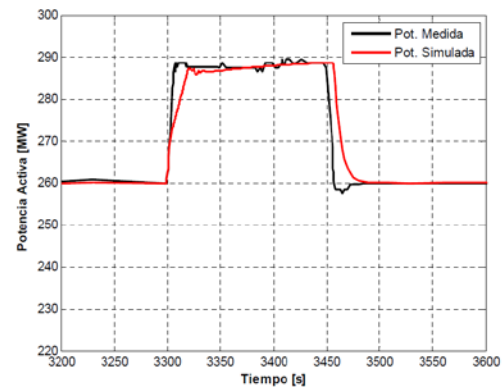
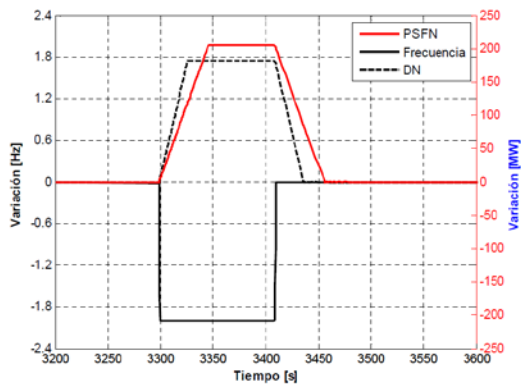


Fig. 19. Escalón 2 Hz. Var. de Frecuencia con RPF.

Fig. 20. Escalón 2 Hz. Potencia Activa con RPF.

7 CONCLUSIONES

En el trabajo se presentan en forma resumida los requisitos técnicos que deben cumplir las unidades generadoras que desean obtener su habilitación comercial para operar en el SADI.

El conjunto de ensayos que se realiza al generador y al sistema de excitación son generales para todas las unidades generadoras que desean ingresar al SADI y se focalizan en verificar el comportamiento declarado por el fabricante y determinar los parámetros de desempeño, como ser: Tiempo de crecimiento, Tiempo de establecimiento y sobreoscilación.

Los ensayos listados en el PT9 [2], sólo son requeridos a aquellos agentes que deseen participar en la regulación de frecuencia. En estos ensayos se verifican: el Tiempo de establecimiento, la Banda muerta y el Estatismo.

Adicionalmente, como es necesario entregar modelos homologados de los sistemas de control, tanto de la excitación con sus limitadores como de la máquina de impulso primaria, se realizan un conjunto de ensayos complementarios que permitan verificar los modelos entregados por los fabricantes de los sistemas o en caso necesario, sintetizar correctamente un modelo computacional de los mismos.

Para los principales ensayos se mostraron ejemplos de ensayos realizados por el Instituto de Investigaciones Tecnológicas en Redes y Equipos Eléctricos (IITREE) en unidades generadoras del SADI y sus correspondientes simulaciones. Se presentaron las variables de interés medidas y los parámetros de desempeños evaluados para cumplir con los requerimientos de CAMMESA.

8 REFERENCIAS

- [1] CAMMESA, “Procedimiento Técnico N° 4: Ingreso de Nuevos grandes Usuarios Mayores, Distribuidores, Generadores, Autogeneradores, y Cogeneradores al MEM”. <http://portalweb.cammesa.com/Pages/BackupBotoneraAneriorIzquierda/Normativa/.../procedimientos.aspx>.
- [2] CAMMESA, “Participación de Generadores en el Servicio de Regulación de Frecuencia del MEM”. <http://portalweb.cammesa.com/Pages/BackupBotoneraAneriorIzquierda/Normativa/.../procedimientos.aspx>.
- [3] IEEE Std. 1110, “IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices in Stability Analyses” Approved March 21, 1991 (revision 2002), IEEE Standards Board.
- [4] CAMMESA, “Anexos PT4: Anexos "A" a "H"”. <http://portalweb.cammesa.com/.../Pages/BackupBotoneraAneriorIzquierda/Normativa//procedimientos.aspx>.
- [5] IEEE 421.2, “IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of Dynamic Performance of Excitation Control Systems” Approved May 31, 1990 (revision 2014), IEEE Standards Board.