

ENSAYO Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE UNIDADES GENERADORAS DEL SADI

Ing. Patricia Liliana ARNERA
IITREE-LAT
Argentina

Ing. María Beatriz BARBIERI
IITREE-LAT
Argentina

Ing. Jorge Luis AGÜERO
IITREE-LAT
Argentina

RESUMEN

Se describe la metodología empleada para la determinación de parámetros de unidades generadoras funcionando, conectadas al Sistema Argentino De Interconexión (SADI) a través de ensayos basados en rechazos de cargas. Se presentan algunos de las identificaciones realizadas por el IITREE-LAT, en el marco del Contrato Res. 285 de CAMMESA "Provisión de Recursos Estabilizantes para el SADI".

Los modelos usados para la identificación paramétrica son los utilizados por los software para estudios de estabilidad transitoria o dinámica, ampliamente difundidos en el mundo, como por ejemplo el citado en la Ref. [1]. Estos modelos se basan en aquellos especificados por las normas de aplicación, como la Ref. [2].

Se presenta una descripción de los ensayos diseñados con tal fin, y los resultados obtenidos. La magnitud de entrada a los modelos es la tensión de campo (Efd) medida. En los resultados se observa en general una muy buena concordancia entre la salidas del modelo (tensión terminal del generador dividida la frecuencia, equivalente al flujo) y la corriente de campo, con respecto a las mismas magnitudes medidas.

PALABRAS CLAVES

ENSAYOS - PARAMETROS - GENERADOR - MODELOS

1. INTRODUCCION

En el Contrato con CAMMESA citado previamente, surge la necesidad de validar la base de dato del sistema eléctrico argentino para realizar los estudios

correspondientes a la ubicación de nuevos estabilizadores de potencia y su sintonía. Con este objetivo se determinan las centrales claves para la estabilidad dinámica del SADI, en especial aquellas sobre las que no se disponían datos confiables, seleccionándose así distinto tipo de máquinas: hidráulicas, térmicas tipo TG y tipo TV.

Las mediciones y obtención de los parámetros de alrededor de 10 máquinas debían de realizarse en un tiempo breve (menos de 30 días). Esto unido a que las máquinas a ensayar estaban en funcionamiento normal y despachadas diariamente, condujo a la elección de un método de prueba rápido, incruento, que no alterara significativamente la operación habitual de las unidades generadoras, y que no implicara la instalación de elementos ajenos a las centrales.

Por las razones expresadas en el párrafo anterior se eligió el método de rechazo de carga Ref [3] y Ref [4].

2. MODELO DE LOS GENERADORES

Los modelos de los generadores usados se corresponden con los utilizados en los programas de simulación ampliamente difundidos Ref. [1], incluyendo el efecto de los arrollamientos amortiguadores. Estos modelos cumplen con lo establecido por la Norma de Ref. [2].

Las máquinas hidráulicas se corresponden con el modelo de polos salientes, cuyo diagrama en bloque se representa en la Fig.1, en la cual se representa el efecto de la saturación, el arrollamiento de campo y arrollamiento amortiguador en el eje d . El eje q se

representa con un arrollamiento amortiguador, despreciándose la saturación.

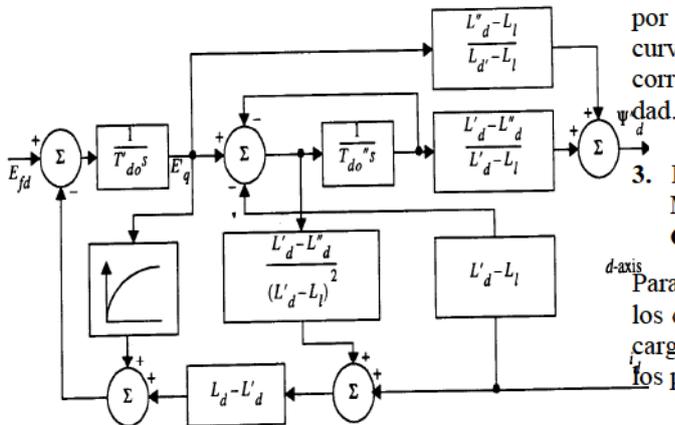


Figura 1: Diagrama en bloque del generador de polos salientes.

La máquinas térmicas se representan con el modelo de rotor liso, cuyo diagrama en bloque se representa en la Fig 2. La saturación influye en ambos ejes. El eje **d** se representa con el arrollamiento de campo correspondiente y el arrollamiento amortiguador; el eje **q** con dos arrollamientos amortiguadores, que tienen en cuenta el efecto del hierro sólido.

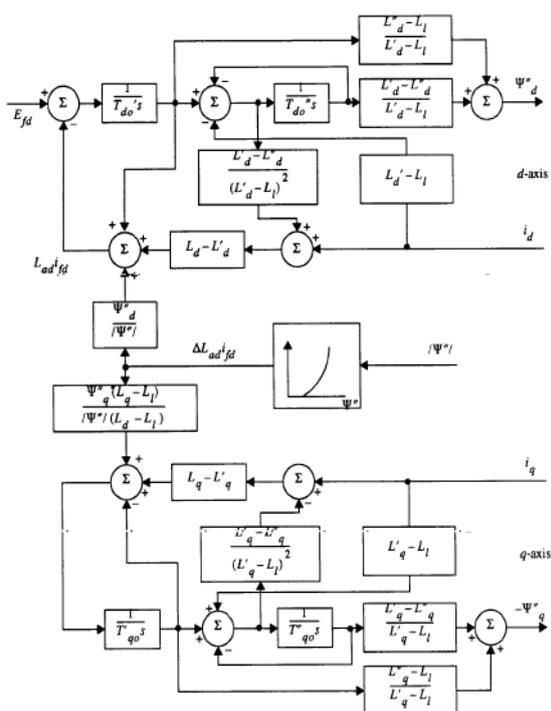


Figura 2. Diagrama en bloque de Generador rotor liso

Los parámetros a determinar son L_d (x_d), L'_d (x'_d), L''_d (x''_d), L_q (x_q), L'_q (x'_q), L''_q (x''_q), todos en por unidad, T'_{do} , T''_{do} , T'_{qo} , y T''_{qo} , así como la curva de saturación en vacío, y los valores bases de la corriente de campo y tensión de campo de cada uni-

dad.

3. ELECCIÓN DEL PUNTO DE FUNCIONAMIENTO PREVIO AL RECHAZO DE CARGA

Para la determinación de los parámetros de los modelos de los generadores se trata de lograr despachos de carga tales que los flujos de las máquinas exciten solo los parámetros de un eje por vez.

3.1 Eje Directo

Para lograr solo flujo ϕ_d y por lo tanto corriente i_d se despacha potencia reactiva únicamente, tipo capacitiva (máquina sub-excitada), para trabajar con la mínima saturación posible. Para mantener la tensión de campo lo más constante posible durante toda la prueba, el control de excitación se coloca en control manual. Se abre el interruptor de máquina y se registra: tensión terminal del generador, corriente estática, corriente de campo, tensión de campo, y frecuencia. El registro inicia al menos 0.1 segundo previo a la apertura del interruptor y dura el tiempo necesario para permitir determinar la constante de tiempo mayor (T'_{do}). Se dispone así de los valores iniciales de potencia (registro de corriente y tensión estáticas, con la fase temporal entre ambas).

3.2 Eje en cuadratura

Para lograr solo reacción de armadura en el eje en cuadratura (sólo corriente i_q), se debe despachar potencia activa y reactiva tal que cumplan una condición determinada por la x_q , (parámetro a determinar), lo que obliga a hacer más de un rechazo y registrar la corriente de campo hasta lograr que el salto inicial de esta sea nulo. En general se parte de un valor estimado de x_q , eligiendo P (potencia activa), y Q (potencia reactiva) que cumplan con esta condición. El vínculo entre P, Q, la tensión terminal del generador U_t y x_q es:

$$P^2 + \left(Q - \frac{U_t^2}{2x_q}\right)^2 = \left(\frac{U_t^2}{2x_q}\right)^2$$

Dado los valores de U_t y x_q queda determinado el lugar geométrico (una circunferencia de radio $U_t^2/2x_q$, con centro en $P=0$ y $Q=U_t^2/2x_q$) en el plano P-Q, de los puntos de operación que dan corriente solo en el eje q. La P debe ser mayor que cero y menor que $U_t^2/2x_q$ y la Q capacitiva (máquina subexcitada). Ambos, P y Q, deben permanecer dentro de los límites permitidos (Curva de potencia límite de la máquina-Capability chart).

Si el primer rechazo da un salto de corriente en un sentido se modifica el valor de Q y /o P para lograr que la variación de Id cambie de signo, luego por interpolación entre los dos valores obtenidos se determina el tercer punto de ensayo, que dará cambio de corriente de campo nulo ($I_d = 0$).

4. CONSIDERACIONES SOBRE EL MÉTODO DE MEDICIÓN

Los transductores deben ser lo suficientemente rápidos y de respuesta plana para no modificar las características de las variables medidas. Se utiliza un filtro pasabajos de 100Hz de frecuencia de corte, para todas las señales medidas, para evitar señales espúreas sobre todo aquellas presentes en la Tensión de Campo debido a la ondulación del rectificador de potencia.

Se prefirió registrar la tensión y la corriente sinusoidal que entregaba la máquina. De estas dos magnitudes, mediante adecuados algoritmos, se extrae las potencias activa y reactiva, la frecuencia ($2\pi f = \omega$), y la evolución temporal del valor eficaz de la tensión terminal, con lo que se obtiene el flujo eficaz terminal ($\varphi = U_t/\omega$). Con esta forma de adquirir la señales se evitan los retardos de los transductores de valores eficaces, de potencias activa y reactiva, y de frecuencia.

5. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES A IDENTIFICAR

Nuestro grupo de trabajo determinó los parámetros de 5 unidades generadoras en distintas centrales del SADI: una de Agua del Toro (hidráulica), una de Los Reyunos (hidráulica), una de La Central Luis Piedra Buena (TV), y dos de Agua del Cajón (TG). Otro grupo de trabajo, supervisado por el IITREE-LAT, determinó los parámetros de otras 4 unidades generadoras: una de Río Grande (hidráulica de bombeo), una de Salto Grande (hidráulica), y dos de Güemes (TV).

Las condiciones de realización de los ensayos no se ajustaron estrictamente a las condiciones ideales teóricas, situación que había sido evaluada previo a la determinación del método de determinación de los parámetros.

El efecto de la saturación no fue despreciable pues los puntos de funcionamiento obtenidos no permitieron disminuir la tensión terminal lo suficiente, ya que las máquinas estaban conectadas al SADI.

La tensión de campo no se mantuvo constante por diversos motivos relacionados con los sistemas de excitación de las mismas, y sus diferentes modalidades al operar en forma manual.

Los reguladores de tensión la Central Agua del Toro, controlan tensión en bornes a través de un puente rectificador controlado que gobierna la tensión de campo del generador. El puente es alimentado por medio de un generador auxiliar, montado en el mismo eje del generador principal. El sistema de Los Reyu-

nos es similar pero el puente rectificador se alimenta de la tensión en bornes del generador por medio de un transformador.

En el caso de las máquinas hidráulicas de Agua del Toro y Los Reyunos, cuando las máquinas operan con control manual el sistema de control de excitación trata de mantener la corriente de campo constante. Por este motivo durante la prueba de rechazo de carga de eje directo la tensión de campo tiene una gran excursión en amplitud.

Las unidades de Agua del Cajón tienen un sistema de excitación tipo "brushless", en el cual resulta inaccesible la corriente y la tensión de campo de la máquina principal. En estos casos se midió la tensión y la corriente de campo de la excitatriz.

La corriente de campo de los generadores es suministrada por un rectificador no controlado alimentado por un generador auxiliar montado en el mismo eje del generador principal. La tensión de campo de este generador auxiliar, es suministrada por un rectificador semicontrolado alimentado por un generador auxiliar, llamado PMG. El regulador automático de tensión controla la tensión en bornes del generador actuando sobre la tensión de campo del generador auxiliar. Cuando el control de la excitación es manual, se mantiene constante la tensión de campo de la excitatriz, sin embargo la tensión de campo puede variar.

El modelo equivalente para la obtención de los parámetros en el caso de Agua del Cajón se completó con el modelo de la excitatriz presentado en la Figura 3

Para estas máquinas, recientemente ingresadas al SADI, se disponían de ensayos de cortocircuitos realizados por el fabricante en la que se presentaba la evolución temporal de la corrientes para diversos valores de tensión del generador. Por lo tanto se conocía con bastante exactitud los parámetros de eje directo. También se disponía de curvas relevadas en fábrica de tensión y corriente de rotor y tensión de excitatriz con el generador en vacío de las cuales se pudo obtener los parámetros de la excitatriz (K_c , K_d , y SE).

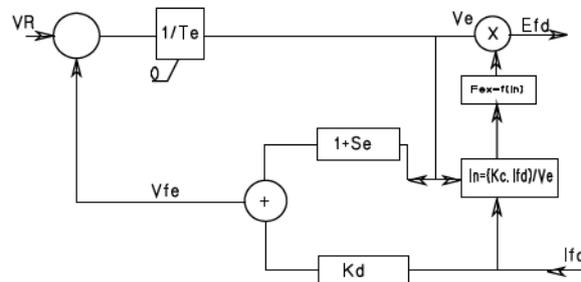


Figura 3. Diagrama en bloque de la excitatriz de Agua del Cajón.

La máquina de la Central Luis Piedra Buena tiene corriente de campo suministrada por un rectificador no controlado, alimentado por un generador auxiliar (excitatriz principal). A su vez la excitación de la

excitatriz principal posee 3 bobinados, uno de los cuales se encuentra en serie con el bobinado rotórico del generador. Los otros dos son bobinados independientes (OB1 y OB2), controlados por el regulador automático de tensión, cuyas corrientes poseen sentidos opuestos. Cuando se controla la excitación en forma manual, se regula (por medio de un reóstato) la corriente en OB1, en el cual se encuentra aplicada la tensión suministrada por un puente rectificador sin control alimentado por un segundo generador auxiliar llamado PMG, siendo la corriente nula en OB2. La tensión de campo no puede mantenerse constante durante la prueba, observándose una variación rápida de la misma.

6. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS

En vista de la descripción hecha en el punto anterior la aplicación estricta de la metodología descrita en la Ref. [2] no fue posible.

El método utilizado consiste en la determinación de los parámetros de eje directo, como primer paso.

En condiciones ideales si la tensión de campo no varía el logaritmo natural de la diferencia ($\phi t - Efd$) para tiempos mucho mayores que $T'd_0$ es una recta, que si se prolonga hasta el tiempo en que se produce el rechazo ($t=0, 0^-$: justo antes del rechazo, 0^+ : justo después del rechazo), se obtiene el valor de $E'q(t)$. Con este valor se obtiene $L'd$. La pendiente de esta recta es $T'd_0$.

Así en condiciones ideales se tiene:

$$L'd = \frac{E'q(0^+) - \frac{Ut(0^-)}{\omega}}{id} \quad (1)$$

$Ut(0^-)$: tensión en bornes del generador previa al rechazo.

$E'q(0^+) = E'q(0^-)$: $E'q$ es variable de estado.

El salto inicial de flujo $\Delta Ut/\omega$ es $id \cdot L'd$, por lo tanto

$$\Delta Ut = Ut(0^-) - Ut(0^+) \quad (2)$$

$$L''d = \frac{\Delta Ut / \omega}{id}$$

Sin saturación la inductancia Ld en pu es

$$Ld = \frac{Efd - \frac{Ut(0^-)}{\omega}}{id} \quad (3)$$

El salto inicial de corriente de campo $\Delta Ifd = [Ifd(0^+) - Ifd(0^-)]$, da una relación que vincula Ll con el resto de las inductancias

$$\Delta Ifd = id(Ld - L''d) - \frac{(L'd - L''d)(Ld - L'd)id}{(L'd - Ll)} \quad (4)$$

Siendo todos los valores de tensiones y corrientes en por unidad.

Al introducir la saturación y la condición de que $Efd(t)$ no permanece constante ya no es posible la obtención de $E'q(t)$.

La ecuación (3) se modifica al tener en cuenta la saturación, y se tiene **para rotor de polos salientes**:

$$Ld = \frac{Efd - \frac{Ut(0^-)}{\omega}(1 + Se)}{id} - L' \cdot Se \quad (5)$$

$E'q(1+Se)$ es el valor de la realimentación del lazo entre la corriente de campo y el flujo del rotor ($E'q$). $E'q \cdot Se$ es el ΔIf , incremento de la corriente de campo, para tener en cuenta la saturación. Se es función de $E'q$. Sin saturación Se es cero. A la curva de saturación se entra con $E'q$ y se obtiene ΔIf .

De la ecuación (4) se obtiene:

$$L'd = \frac{Ld(L''d - Ll) + \frac{\Delta ifd}{id}Ll}{L''d + \frac{\Delta ifd}{id} - Ll} \quad (6)$$

En el caso de **rotor de polos salientes** se puede iterar de modo de obtener $L''d$, $L'd$ y Ld a partir de **suponer** una Ll (ya que no es posible inferir el valor de $E'q(0)$, y considerando el salto de corriente de campo, el salto de flujo (tensión terminal), el valor de id y $Efd(0)$. El valor de Efd no cambia bruscamente entre $t=0^-$ y $t=0^+$

$L''d$ se calcula con la ecuación (2).

Suponiendo en el primer paso de la iteración $Se=0$ se obtiene a partir de (5) el valor de Ld inicial. Con este valor suponiendo Ll (puede variar aproximadamente entre 0.05 y 0.15) se obtiene de (6) $L'd$. Con $L'd$ y el valor de la tensión inicial se puede obtener $E'q$, con este valor se calcula el nuevo Se y así sigue la iteración hasta la convergencia con el error deseado.

Estos valores iniciales de las inductancias se introducen en el modelo numérico representado en el diagrama en bloque correspondiente (Fig 1). A este modelo se ingresa como señal de entrada $Efd(t)$ medida, y se ajustan los valores de $T'd_0$ y $T'd_0$ hasta aproximar convenientemente la $Ifd(t)$ y $\phi d(t)$ del modelo con las magnitudes correspondientes medidas.

Si se tiene más de una prueba de eje directo se puede verificar con esta segunda medición el buen ajuste de los parámetros, o bien reajustarlos convenientemente para tener una concordancia de las salidas del modelo con ambas mediciones.

Si no se disponen de más de una medición de eje directo, se puede verificar la sensibilidad de los parámetros al valor de Ll . Variando este valor se obtiene un nuevo conjunto de parámetros. Se puede observar la sensibilidad del cambio de los mismos a esta variación. Los parámetros más sensible a la variación de Ll es $T'd_0$ y $L'd$. Por ejemplo para el caso del ensayo de eje directo de la máquina de Los Reyunos se varió Ll

de 0.04 a 0.1 (250 %), en este rango, los cambios en el resto de los parámetros fueron las siguientes: $L'd$ no varió (0.21 pu), $L'd$ varió un 6 % (desde 0.298 pu a 0.28 pu) y Ld un 0.3 % (de 1.176 pu a 1.18 pu), $T'do$ un 30 % (de 0.2 s a 0.14 s) y $T'do$ un 2.5 % (de 8.7 s a 8.5 s).

En el caso de los ensayos de eje directo en los **generadores de rotor liso**, el modelo supone que el flujo que satura es ϕ'' . En esta condición la ecuación (3) se modifica obteniéndose:

$$Ld = \frac{Efd(0^-) - \frac{Ut(0^-)}{\omega} - \Delta Ladifd}{id} \quad (7)$$

$\Delta Ladifd$: es una función de $\phi''(t) = Ut(t)/\omega$ (curva de saturación). Para $t=0$ es función de $(Ut(0^-)/\omega - id \cdot L'd)$.

Con la ecuación (7) se obtiene directamente Ld , sin necesidad de iterar. Igual que en el caso de rotor de polos salientes usando (2) se obtiene $L'd$, y si es que la tensión de campo no permanece constante y/o el efecto de la saturación permanece durante casi todo el transitorio, se elige un valor de Ll , y usando (6) se obtiene $L'd$. Luego se procede igual que en el caso de rotor de polos salientes descrito anteriormente.

Para la obtención de **los parámetros de eje en cuadratura** si no se logra anular el salto de corriente de campo entre $t=0^+$ y $t=0^-$, pero se han obtenido ya los parámetros de eje directo, se pueden obtener los valores correspondientes de iq , ϕq , y $\phi'' q$ a partir del modelo y las mediciones. Del valor de $\Delta Ifd = [Ifd(0^-) - Ifd(0^+)]$, se obtiene id de (4), y con la corriente total medida se obtiene iq :

$$iq = \sqrt{i^2 - id^2} \quad (8)$$

Para el caso de **máquina de rotor de polos salientes** se obtiene:

Flujo de eje directo:

$$\phi d(0^-) = \frac{Efd(0) - (Ld - L'd)id}{1 + Se} - idL'd \quad (9)$$

Flujo de eje en cuadratura:

$$\phi q(0^-) = \sqrt{\left(\frac{Ut(0^-)}{\omega}\right)^2 - \phi d(0^-)^2} \quad (10)$$

Se calcula Lq :

$$Lq = \frac{\phi q(0^-)}{iq} \quad (11)$$

$$\phi'' d(0) = \frac{Efd(0) - (Ld - L'd)id}{1 + Se} - id(L'd - L''d) \quad (12)$$

$$\phi'' q(0) = \sqrt{\left(\frac{Ut(0^-)}{\omega}\right)^2 - \phi'' d(0)^2} \quad (13)$$

Se calcula $L''q$ a partir de (10) y (13):

$$L''q = \frac{[\phi q(0^-) - \phi'' q(0)]}{iq} \quad (14)$$

Para el caso de **máquina de rotor liso** se obtiene una ecuación equivalente a la (9):

$$\phi d(0^-) = \frac{Efd(0) - Ld \cdot id - L''d \cdot id \frac{\Delta Ladifd}{Ut(0^+)/\omega}}{1 + \frac{\Delta Ladifd}{Ut(0^+)/\omega}} \quad (15)$$

La ecuación equivalente a la (12)

$$\phi'' d(0) = \frac{Efd(0) - id \cdot [Ld - L''d]}{1 + \frac{\Delta Ladifd}{Ut(0^+)/\omega}} \quad (16)$$

Luego se obtiene $L''q$, usando (13) y (14) a partir de la (16).

Para obtener Lq se parte de ϕq obtenido a partir de la (10) usando la (16) y considerando la saturación. Resulta:

$$Lq = \frac{-\phi q(0^-) + \frac{Ll \cdot \Delta Ladifd}{(Ld - Ll) \cdot \frac{Ut(0^+)}{\omega}} [\phi q(0^-) + iq \cdot L''q]}{iq + \frac{\Delta Ladifd}{(Ld - Ll) \cdot \frac{Ut(0^+)}{\omega}} [\phi q(0^-) + iq \cdot L''q]} \quad (17)$$

Para obtener $L'q$ si se observa muy poca variación de $Ifd(t)$ y $Efd(t)$, se puede aplicar el método descrito anteriormente, expresado en la ecuación (1). En este caso el objetivo es extrapolar $E'd(0)$, a partir de la variación temporal de la tensión terminal del generador, suponiendo la extinción previa del régimen subtransitorio y la desaparición de la saturación:

$$E'd(0) \cdot e^{-\lambda t_0} = \sqrt{\left(\frac{Ut(t)}{\omega}\right)^2 - Efd^2} \quad (18)$$

Aplicando logaritmo natural a la (18) se obtiene $E'd(0)$ y $T'q0$

$$E'd(0) + iq \cdot L'q = \sqrt{\left(\frac{Ut(0^-)}{\omega}\right)^2 - Efd^2} \quad (19)$$

Con $E'd(0)$ y la (20) se obtiene $L'q$:

$$L'q = \frac{E'd(0) - \sqrt{\left(\frac{Ut(0^-)}{\omega}\right)^2 - Efd^2}}{iq} \quad (20)$$

Estos valores calculados sirven para inicializar el modelo, luego se deben reajustar estos parámetros logrando que las variables de salida del modelo coincidan con las variables medidas. Como en general se hicieron tres pruebas de rechazo de carga en el eje q , se tienen tres casos que permiten ajustar y verificar la concordancia del modelo con las mediciones.

Para el caso de las máquinas de Agua del Cajón, **tipo brushless**, se dieron por conocidos los parámetros de

eje directo de los generadores, y se reajustaron los valores de K_c , K_d y T_e de la excitatriz con el ensayo de eje directo.

Para obtener los parámetros estimados iniciales K_c y K_d , se parte de las curvas tensión de campo (E_{fd}) en función de la corriente de excitatriz (I_{fe}) para el rotor a circuito abierto y el rotor cargado con la resistencia de su bobinado (R_f). Para el diagrama en bloque de la Figura 3, se pueden obtener las siguientes relaciones:

- La función $F_{ex}=1-0,577I_n$, en estado permanente, ya que el valor de I_n es menor que 0,433 pues K_c resulta en general menor que este valor y la relación I_{fd}/V_e en pu. es siempre menor que uno.
- En estado permanente E_{fd} es igual a I_{fd} en por unidad y V_R es igual a V_{fe} (o corriente de excitatriz I_{fe}) en por unidad.
- $1/F_{ex}=1+0,577 \cdot K_c$
- En por unidad en estado permanente, para la excitatriz cargada con la resistencia del rotor resulta:

$$\frac{E_{fd}_{pu}}{F_{ex}} = I_{fd}_{pu} \cdot K_d = V_{fe}_{pu} \quad (21)$$

- Si se expresa la ecuación (21) en unidades físicas resulta:

$$\frac{E_{fd}}{F_{ex} \cdot E_{fd_{base}}} + \frac{I_{fd} \cdot K_d \cdot R_f}{E_{fd_{base}}} = \frac{I_{fe} \cdot K_{ex}}{E_{fd_{base}}} \quad (22)$$

$E_{fd_{base}}$: Tensión de campo base

$I_{fd_{base}} = E_{fd_{base}} / R_f$

K_{ex} : Relación entre la Tensión de campo y la corriente de la excitatriz para el generador sin excitación o sea excitatriz en vacío.

- De la (22) se obtiene la siguiente relación que permite estimar K_d y K_c .

$$0,577 \cdot K_c + K_d = \frac{I_{fe} \cdot K_{ex}}{E_{fd}} - 1 \quad (23)$$

Donde I_{fe} y E_{fd} se obtienen de la curva de la excitatriz cargada con la resistencia del rotor.

En los ensayo de ejes de cuadratura q , se trató de no tener variaciones en la tensión de campo de la excitatriz V_r y que no variara la corriente de campo de esta excitatriz ($V_{fe}=I_{fe}$). En estas condiciones se asegura que solo se tiene excitado el eje q . Se obtiene E_{fd} a partir del V_r medido y los valores bases correspondientes, obtenidos de las curvas de vacío dadas por el fabricante.

En las Figuras 4 a 9 se presentan a modo de ejemplo alguna de las curvas de los ensayos para las distintas máquinas.

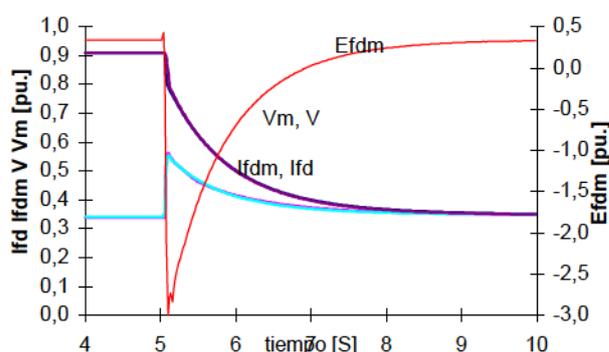


Figura 4. Ensayo de Eje directo Agua del Toro

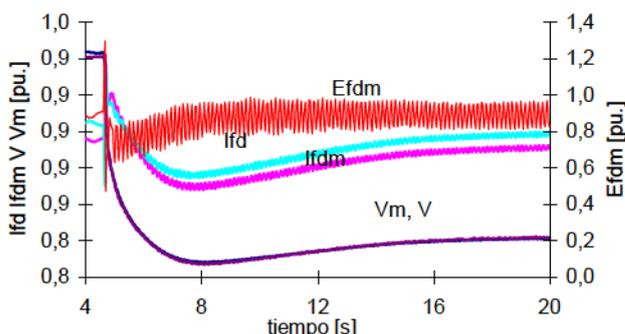


Figura 5. Ensayo de Eje en cuadratura Agua del Toro

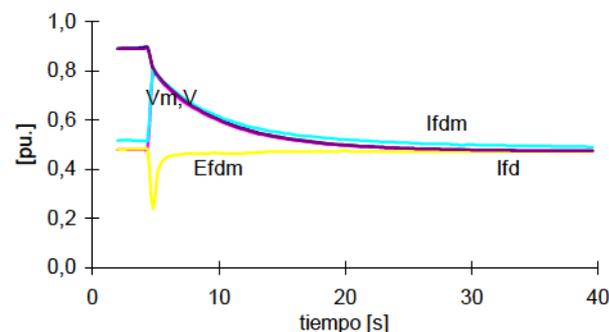


Figura 6. Ensayo eje directo Piedra Buena

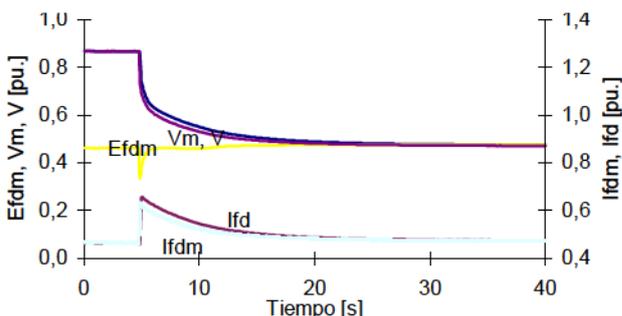


Figura 7. Ensayo de Eje en cuadratura Piedra Buena

La Figura 4 y 5 corresponde a una máquina de polos saliente, y la 6 y 7 a una de rotor liso, la 8 y 9 a una máquina tipo de rotor liso con excitación tipo brushless. La magnitud V_m es el flujo medido (Ut/ω), y V es el flujo modelado. E_{fdm} es la tensión de campo medida, I_{fdm} es la corriente de campo medida y I_{fd} es la modelada. En la máquina tipo brushless, la magnitud V_{rm} es la tensión de campo de la excitatriz medida, I_{fe} es la corriente de campo de la excitatriz modelada, I_{fem} la corriente de campo de la excitatriz medida y

Efd es la tensión de campo del generador principal modelada. El eje de abscisas es el tiempo expresado en segundos. El eje de ordenadas se expresa en por unidad de las variables graficadas. En algunos casos para apreciar mejor alguna magnitud se dibujó un segundo eje a la derecha indicando la magnitud que representa.

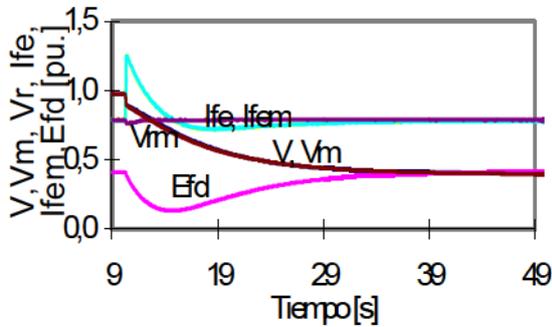


Figura 8. Ensayo eje directo Agua Cajón TG 6

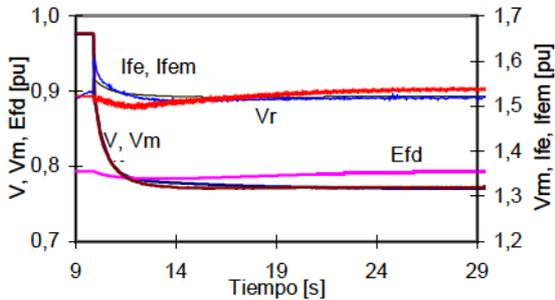


Figura 9. Ensayo eje en cuadratura Agua Cajón TG 6.

7. CONCLUSIONES

- En general, si bien no se pudieron lograr las condiciones ideales de ensayo, la obtención de parámetros resultó tal que se observó una buena concordancia entre las mediciones reales y los resultados obtenidos de los modelos.
- Las modificaciones incluidas en la aplicación del método de la Ref [3], consistió en registrar también la tensión de campo ya que no se puede asegurar la constancia de la misma por distintos motivos y alimentar el modelo numérico con esta para ajustar los parámetros estimados inicialmente. En la estimación inicial también se incluyó el efecto de la saturación.
- La obtención de la frecuencia a partir de la onda sinusoidal de tensión (o medición de la misma) es estrictamente necesaria, pues la variación de ésta durante las pruebas es muy importante, sobre todo en los rechazos de eje q (potencia activa relativamente importante), para poder obtener el flujo (salida del modelo).
- La obtención de los valores iniciales de P y Q a partir de los registros de la tensión y corriente estatísticas alternas permite una muy buena precisión

en estos valores. Igual resultado se obtiene en la determinación del valor eficaz de la tensión terminal.

- Las salida de los modelos resultan más próximas a los resultados de los ensayos en las pruebas de eje directo que en las pruebas de eje en cuadratura.
- La aplicación de este método resultó también muy satisfactoria para los ensayos de las máquinas con excitación tipo brushless.
- En general los modelos elegidos para cada una de las máquina resultaron aceptablemente satisfactorios para su representación.

8. REFERENCIAS

- [1] "PSS/E Power System Simulator". Power Technologies, Inc.
- [2] "IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices in Stability Analyses". IEEE Std. 1110-1991. (Recognized as an ANSI Standard)
- [3] "Derivation of Synchronous Machine Parameters From Test", F.P de Mello, J.R Ribeiro. IEEE Transaction PAS. Vol 96. Julio/Agosto 1977.
- [4] "Identificação de parâmetros de geradores de usinas hidrelétricas a través de ensaios de rejeição de carga", Nelson Zeni Junior, Vasco Emilio Souza Moraes. Seminario nacional de Produção e transmissão de energia eléctrica. Curitiba Parana 1989