



MEDICIONES DE TRANSITORIOS EN LA OPERACION DE MOTORES DE GRAN POTENCIA Y MEDIA TENSION

Pedro E. ISSOURIBEHERE
IITREE-UNLP (*)
Argentina

Jorge L. AGÜERO
IITREE-UNLP (*)
Argentina

Juan C. BARBERO
IITREE-UNLP (*)
Argentina

Salvador CATULLO
ESEBA S.A. (**)
Argentina

RESUMEN

Las maniobras de conexión y desconexión de grandes motores en media tensión ocasionan tensiones transitorias que solicitan las aislaciones de estos equipos. Estas solicitaciones suelen ser importantes en instalaciones con cables de acometidas cortos y con interruptores de vacío como elementos de maniobra.

En este caso se trata de motores de hasta 10,4 MW alimentados en 6,6 y 11 kV, utilizados como impulsores de bombas y ventiladores en una central termoeléctrica de la empresa ESEBA S.A.

Se muestra la experiencia obtenida en la medición y registro de tales fenómenos, que ocasionan ondas con altos contenidos en frecuencia y no repetitivos, explicando los métodos de control de las maniobras, en la búsqueda de condiciones de magnificación de los fenómenos de prearco y reencendidos, que dan lugar a solicitaciones muy severas en los motores.

La información obtenida permite validar modelos del circuito y poner a punto programas de simulación empleados para la evaluación completa de la coordinación de la aislación.

PALABRAS CLAVE

Transitorio - Adquisición - Técnica - Medición - Sincronizador - Secuenciador - Prearco - Reencendido - Motor - Media tensión.

1. INTRODUCCION.

Las maniobras de conexión y desconexión de grandes motores en media tensión ocasionan tensiones transitorias que suelen ser importantes en instalaciones con cables de acometidas cortos, y con interruptores de vacío como elementos de maniobra.

A fin de registrar los transitorios producidos durante dichas maniobras, se efectuaron maniobras de cierre y apertura de interruptores, y de arranque, sobre motores de hasta 10,4 MW alimentados en 6,6 y 11 kV, utilizados como impulsores de bombas y ventiladores en una central termoeléctrica de la empresa ESEBA S.A.

Las mediciones tuvieron por objeto registrar los transitorios producidos en la tensión de alimentación de los motores durante la ejecución de las maniobras.

En este trabajo se describen las técnicas de medición empleadas y los métodos de control de las ma-

niobras, tendientes a buscar las condiciones de magnificación de los fenómenos de prearco y reencendidos, que dan lugar a las solicitaciones más severas de los motores.

Los motores bajo estudio fueron cinco en barras de 6,6 kV y uno en 11 kV, a saber:

- Motor Ventilador de Recirculación de Gases VRG.
- Motor Ventilador de Tiro Inducido VTI.
- Motor Ventilador de Tiro Forzado VTF.
- Motor Bomba de Agua de Circulación BAC.
- Motor Bomba de Agua Contra Incendio BACI.
- Motor Bomba Agua de Alimentación BAA (11 kV).

La información obtenida acerca de los parámetros eléctricos, permitió ajustar los modelos matemáticos para un estudio de la coordinación de la aislación de estas instalaciones.

2. DESCRIPCION DEL CIRCUITO ELECTRICO.

La Figura 1 muestra un diagrama unifilar simplificado y genérico de la parte de la instalación involucrada en cada circuito de medición. Solamente se representa la parte del circuito de interés para el presente trabajo, y es aplicable para todos los motores ensayados. Los divisores capacitivos (DC1 y DC2) incluidos en el esquema permiten individualizar los puntos de medición. Además se incluye el TI de la instalación a cuyo secundario se vincularon las puntas de corriente.

Los interruptores involucrados en todas las maniobras realizadas, son del mismo tipo, y sus características son las siguientes:

Fabricante: Ansaldo.
Tipo: Kenarc KE12-40-1600
Identificación: KE2Y2EC 110X BC1.
Tensión nominal: 12 kV.
Corriente nominal: 1600 A.
Frecuencia: 50/60 Hz.
Capacidad de interrupción: 40 kA a 12 kV
Capacidad de cierre: 140 kA.
Nivel de aislación: 75/28 kV.
Ciclo: 0-0.35-CO-30-CO.
Tiempo de cierre: 90 ms.
Tiempo de apertura: 45 ms.
Tiempo de arco: 15 ms.

Los datos característicos de los motores involucrados en las maniobras realizadas, se presentan en la Tabla 1.

(*) Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos - Universidad Nacional de La Plata. Calle 48 y 116. (1900) La Plata. Argentina. Tel. (054)-(21)-36640/37017. Fax (054)-(21)-250804.

(**) Empresa Social de Energía de Buenos Aires S.A. Calle 49 Nro. 683. (1900) La Plata. Argentina.

Tabla I. Características eléctricas y mecánicas de los motores ensayados.

	VRG	VTI	VTF	BAC	BACI	BAA
Fabricante	TENAS	SIEMENS	SIEMENS	TENAS	ACEC	ANSALDO
Tipo	Asinc. Trif.	Asinc. Trif.	Asinc. Trif.	Asinc. Trif.	Asinc. Trif.	Asinc. Trif.
Modelo	OC 1344	MOT1 RN7 637-6	MOT1 RN5 634-4	MAN 1770/14	K400 LL4 SE	CR 900 X4
Conexión	Estrella	Estrella	Estrella	Estrella	Estrella	Estrella
Tensión Nominal	6,6 kV	6,6 kV	6,6 kV	6,6 kV	6,6 kV	11 kV
Frecuencia	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz \pm 2%
Potencia Nominal	550 kW	2300 kW	1900 kW	1300 kW	427 kW	10400 kW
Corriente Nominal	58,3 A	245 A	197 A	147,5 A	45,7 A	629,1 A
Cos ϕ	0,88	0,85	0,88	0,82	0,88	0,89
Velocidad Nominal	990 rpm	990 rpm	1490 rpm	428 rpm	1500 rpm	1490 rpm

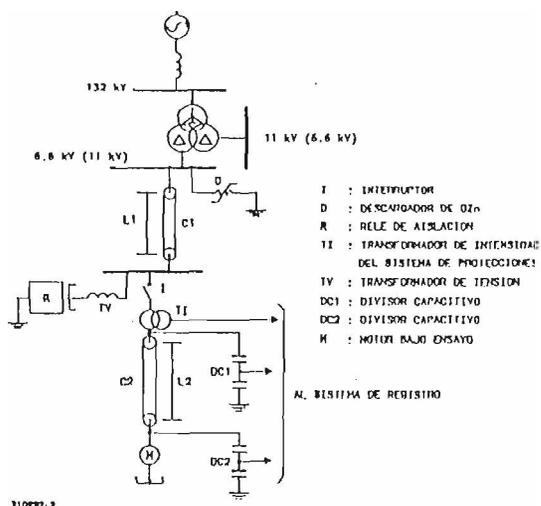


Figura 1. Esquema simplificado de la red eléctrica de suministro a los motores ensayados. Ubicación de los puntos de medición.

3. TECNICAS DE COMANDO Y MEDICION. INSTRUMENTAL EMPLEADO.

Las maniobras de cierre y apertura del interruptor provocan transitorios sobre las tensiones y corrientes, caracterizados por valores instantáneos superiores a los nominales, tiempos de crecimiento breves, y un amplio contenido de frecuencias. Los valores esperables de estos parámetros definieron las características del equipamiento de registro, incluyendo en el mismo los transductores de tensión y corriente, y el conexionado respectivo.

Por otra parte, la necesidad de cerrar y abrir el interruptor en tiempos breves y en sincronismo con la tensión de red, impuso la necesidad de contar con un equipamiento especial, que sea capaz de enviar los órdenes a las correspondientes bobinas de cierre y apertura en forma automática y con una secuencia previamente programada.

De este modo, se definió el esquema de comando y registro que puede verse en la Figura 2.

La forma de operar consistió en cerrar y abrir el interruptor mediante los respectivos comandos, enviados por el conjunto Secuenciador-Sincronizador a las bobinas auxiliares de cierre y apertura.

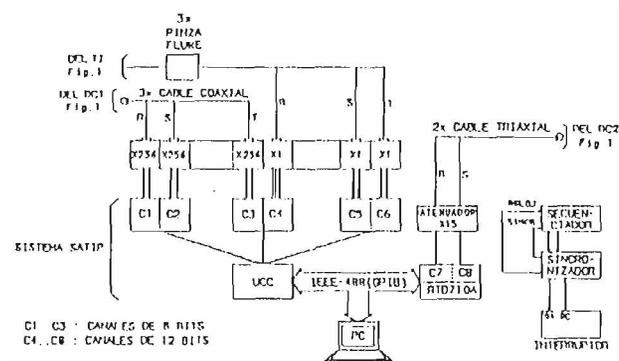


Figura 2. Esquema del sistema de comando y registro utilizado.

Disparando los equipos de adquisición en el instante adecuado, se registraron las corrientes y tensiones del lado interruptor en las tres fases, las tensiones del lado motor en dos fases.

Para registrar las corrientes se empleó el SATIP (Apartado 3.3.1.) configurado con convertidores de 12 bits y de frecuencia de muestreo máxima 20 Mmuestras/s. El objetivo de estos registros fue visualizar la corriente durante toda la maniobra, y dado que el contenido en frecuencia de estas señales está limitado por la propia cadena de medición, no fue necesario muestrear a una frecuencia mayor.

Por el contrario para registrar las tensiones se utilizaron el R1D 710A (lado motor, DC2 en la Figura 1) cuya frecuencia de muestreo máxima es 100 Mmuestras/s, y el SATIP equipado con convertidores de 8 bits y frecuencia de muestreo máxima 2 MHz (lado interruptor, DC1 en la Figura 1). El objetivo de estos registros fue obtener información de los transitorios que se producen durante las maniobras del interruptor, de alto contenido en frecuencia y valores que pueden ser muy superiores a la tensión nominal.

3.1. Transductores de tensión.

En las mediciones de tensión, para adaptar los niveles a los manejados por los equipos registro, se emplearon divisores capacitivos y atenuadores resistivos.

Los divisores capacitivos utilizados en los distintos puntos de medición, tienen las siguientes características:

Tensión Nominal: 11 kV.
 Tensión de 50 Hz, 1 min.: 28 kV.
 Tensión de impulso 1.2/50 μ s: 75 kV.
 Tiempo de respuesta: < 50 ns.
 Constante de División: aproximadamente 250.

Los atenuadores resistivos utilizados en los distintos puntos de medición, tienen las siguientes características:

- Mediciones lado motor:
 - Impedancia de entrada: 1.15 M Ω \pm 2% // 25 pF.
 - Factor de Atenuación: 15.
- Mediciones lado interruptor:
 - Impedancia de entrada: 1 M Ω \pm 1% // 15 pF.
 - Factor de Atenuación: seleccionable entre 1, 16, 256.

3.2. Transductores de corriente.

Para los registros de corriente se utilizaron puntos de corriente (Fluke, modelo Y8100; respuesta en frecuencia: 0-1000 Hz) sobre los secundarios de los transformadores de intensidad de los circuitos de protecciones propios de la instalación (Figura 2).

3.3. Sistema de Registro.

El sistema de registro empleado consta de dos equipos que muestrean, digitalizan y almacenan en su memoria las señales presentes en sus entradas, luego de producido un determinado evento que desencadena este proceso (disparo).

El otro elemento del sistema es una computadora del tipo personal, que mediante una interfaz de instrumentación IEEE-488, controla los equipos de registro. Desde la computadora se pueden configurar los adquisidores, y luego de realizada la adquisición, transferirla para su almacenamiento en discos y posterior procesamiento.

En lo que sigue, se describen las características principales de los equipos de adquisición utilizados.

3.3.1. SATIP (Mediciones lado interruptor).

El Sistema Adquisidor de Transitorios en Instalaciones de Potencia (SATIP), de diseño y construcción propios del IITREE-UNLP está compuesto por una Unidad de Control y Comunicaciones, y un conjunto de Unidades de Adquisición-Registro, cada una de las cuales aloja dos canales de registro [1].

Las características principales del SATIP son:

- Número de canales: 6 utilizados (máximo 12).
- Interfaz con computadora: IEEE-488 ó RS232.
- Impedancia de entrada: 1 M Ω .
- Rango: 4.5, 2.25, 1.125, ó 0.5625 Vpp.
- Conversor: 8 ó 12 bits:
 - Conversor de 8 bits.
 - Memoria: 4 segmentos (4096 muestras) por canal.
 - Frecuencia de muestreo: entre 61.035 Hz y 2 MHz.
 - Conversor de 12 bits.
 - Memoria: 4 segmentos (2048 muestras) por canal.
 - Frecuencia de muestreo: entre 0.61035 Hz y 20 KHz.
 - 4 entradas SI/NO, registradas con cada muestra.
- Tiempo de pre y posdisparo: desde el tiempo que corresponda (a la frecuencia de muestreo empleada), a un segmento completo previo al disparo, hasta el que corresponda a 31 segmen-

tos completos posteriores al disparo. El paso es de 1/8 de segmento.

- Señal de disparo: cualquier combinación entre:
 - Interna:
 - Nivel.
 - Pendiente.
 - Nivel o pendiente.
 - Nivel y pendiente.
 - Externa:
 - TTL activa baja (open collector).
 - Entradas SI/NO 1 y 2. Nivel seleccionable.
 - Calificación:
 - Entradas SI/NO 3 y 4. Nivel seleccionable.
- Salidas de disparo:
 - Interna: Salida señal de disparo interna. TTL activa baja (open collector).
 - Salida: Salida señal de disparo interna o externa. TTL activa baja (open collector).

- Fechado: automático para todos los registros.

Para el presente trabajo se empleó una Unidad de Control y Comunicaciones, con tres Unidades de Adquisición-Registro con 6 canales de 4 segmentos cada uno, con conversores de 8 bits en 3 canales, y de 12 bits en los otros 3.

3.3.2. Adquisidor HP RTD 710A (Mediciones lado motor).

El RTD 710A es un registrador digital de Hewlett Packard, con dos canales de adquisición.

La configuración del equipo puede hacerse desde el panel frontal, o desde una computadora (interfaz IEEE-488).

Dado que este es un instrumento comercialmente disponible, sólo se destacan algunas de sus características:

- Canales de adquisición: dos canales de entrada, con la posibilidad de funcionar en la modalidad "solo canal 1".
- Frecuencia de muestreo: programable hasta 100 Mmuestras/s en el modo normal, y 200 Mmuestras/s. en el modo "alta velocidad" (o "solo canal 1").
- Cambios de frecuencia de muestreo ("break points"): se pueden programar hasta cinco puntos de cambio de frecuencia de muestreo. Esto permite efectuar detalles de muy alta resolución sobre las partes del registro que así lo requieran.
- Memoria de registro: 128 Kmuestras por canal en el modo "doble canal" y 256 Kmuestras en el modo "solo canal 1". La memoria puede ser particionada en segmentos para hacer registros sucesivos cuando el tiempo entre los fenómenos a registrar sea suficiente como para armar nuevamente el disparo.
- Rango de entrada: 0.1 a 50 Vp en 28 pasos. La secuencia es 1; 1.25; 1.6; 2; 2.25; 3.2; 4; 5; 6.2; 8.
- Tiempo de pre y posdisparo: Desde el tiempo previo al disparo, que corresponda a 256 Kmuestras con la frecuencia de muestreo considerada, hasta el tiempo posterior al disparo, que corresponda a 256 Kmuestras con la frecuencia de muestreo considerada.

3.4. Instrumental de sincronización y comando.

Para realizar las maniobras de cierre y apertura del interruptor en tiempos breves y sincronizados con la tensión se utilizaron conjuntamente dos equipos: el secuenciador y el sincronizador.

3.4.1. Secuenciador.

De diseño y construcción propios del IITREE-UNLP, permite generar una secuencia de comandos en sus salidas, para realizar operaciones automáticamente y en instantes precisos, a partir de una orden de comienzo.

La secuencia puede programarse desde el panel frontal, o desde una computadora por medio de una interfaz IEEE-488.

Posee 80 salidas lógicas, de las cuales 78 son de uso general y 2 cumplen funciones específicas: definir la parada de la secuencia (salida 1), y reciclar la secuencia (salida 2).

A cada una de las 78 salidas se le puede programar el estado lógico inicial o de reposo, y luego los tiempos de operación en los que se desea que cambie el estado. Cada uno de estos cambios de estado se denomina operación, y pueden programarse en el tiempo hasta 127 operaciones independientes.

La secuencia de operaciones se inicia, previa habilitación manual o remota, con una señal de sincronismo externa aplicada sobre la correspondiente entrada del secuenciador (disparo).

Los órdenes de apertura y cierre de los interruptores fueron dadas a través del secuenciador. El empleo de este equipo, cuya base de tiempo y señal de sincronismo se obtuvo del sincronizador, permitió referir las maniobras, en grados eléctricos de la frecuencia industrial (50 Hz).

3.4.2. Sincronizador.

De diseño y construcción propios del IITREE-UNLP, está compuesto por un lazo de enganche de fase para generar una frecuencia 360 veces mayor que la de referencia, siendo ésta extraída de la frecuencia industrial presente en su propia alimentación. La frecuencia así generada, disponible en un borne BNC, suministra la base de tiempo al secuenciador, lo cual permite programar en el mismo los tiempos de accionamiento en grados eléctricos.

También entrega una señal de frecuencia industrial, con una adecuada amplitud, que es usada por el secuenciador como señal de sincronismo para la referencia de tiempos una vez que éste ha sido habilitado para comenzar la secuencia programada. El tiempo 0 de referencia es el cruce por 0 de esta señal, con pendiente positiva.

Esta unidad de sincronismo incluye la interfaz de potencia entre las salidas de comando del secuenciador, y el comando del interruptor. Estas salidas son contactos libres de potencial, en serie con contactos de un contactor de seguridad, accionado por llave eléctrica. El comando de apertura puede enviarse también en forma directa desde un pulsador de emergencia.

4. CLASIFICACION DE LAS MANIOBRAS REALIZADAS.

Durante la campaña de medición se efectuaron diversas maniobras sobre los motores ensayados.

Estas maniobras pueden clasificarse en tres grupos, cuyas características generales se describen a continuación.

4.1. Maniobras de cierre y apertura del interruptor.

El objetivo de estas maniobras fue determinar por medición, las características transitorias de conexión y desconexión de motores, por medio de interruptores de vacío. En particular, se puso énfasis en la obtención de información de detalle en el cierre, mostrando el fenómeno de prearco, y en la apertura, buscando la aparición de reencendidos del arco.

A tal fin, y para favorecer la ocurrencia de los reencendidos, se realizaron maniobras de cierre/apertura del interruptor, con una duración de menos de 100 ms, de manera de abrir las corrientes de arranque del motor, de valores muy superiores a las nominales. En estas condiciones, los motores no alcanzan a girar.

Estas maniobras normalmente fueron registradas tanto del lado motor, como del lado interruptor.

En todos los casos, lo primero que se buscó fue, que de las dos fases registradas (lado motor), una de ellas correspondiera al primer polo que abriera. Después, en sucesivas maniobras se varío la ubicación temporal de la orden de apertura, normalmente en pasos de 1 ms, buscando que el interruptor produjera reencendidos. Para este fin se utilizó la característica del conjunto Secuenciador-Sincronizador que permite referir los tiempos de comando a la fase de una tensión de referencia, y ubicarlos temporalmente con una resolución de 1 grado eléctrico, cualquiera sea la frecuencia industrial real en el sistema eléctrico.

El intervalo de registro fue lo suficientemente prolongado como para capturar tanto los transitorios del cierre como los de la apertura.

4.2. Maniobras de arranque.

El objetivo de estas maniobras fue registrar la evolución de la corriente de arranque del motor, hasta llegar a la corriente de régimen, para la correspondiente carga mecánica acoplada (en este caso la carga mecánica fue mínima, es decir los ventiladores con clapetas cerradas, por razones operativas de la Central).

De este modo, estas maniobras consistieron en el cierre del interruptor y apertura al cabo de varios segundos, una vez alcanzada la corriente de régimen del motor.

Los registros se efectuaron durante decenas de segundos, según el motor, de manera de incluir en el mismo la apertura del interruptor.

4.3. Maniobras para determinar el modelo de barras de 6,6 kV.

Estas maniobras tuvieron como objetivo determinar por medición, el circuito equivalente de la barra de 6,6 kV, es decir la potencia de cortocircuito y la capacidad a tierra de esa barra.

A tal fin, y no estando disponible la barra para efectuar mediciones directamente sobre ella, la tensión de barra se midió conectando previamente un motor, el VRG, con lo cual luego de transcurrido el transitorio provocado por su conexión (aproximadamente 100 ms), la tensión en la celda correspondiente es la tensión de barra.

El transitorio para determinar el circuito equivalente de la barra, correspondió a la conexión/desconexión del motor VII.

La secuencia operativa de esta maniobra fue la que se indica a continuación:

- Cierre del interruptor del motor VRG, comandado por el conjunto secuenciador-sincronizador;
- 100 ms después, cierre del interruptor del motor VTI, comandado por el conjunto secuenciador-sincronizador;
- 100 ms después, apertura del interruptor del motor VTI, comandado por el conjunto secuenciador-sincronizador;
- apertura del interruptor del motor VRG, comandado manualmente.

El intervalo de registro es lo suficientemente prolongado como para capturar tanto los transitorios de cierre producidos por las energizaciones de los motores VRG y VTI, como los de la desenergización del motor VTI.

5. RESULTADOS OBTENIDOS.

Se presentan, a modo de ejemplo, algunos de los registros obtenidos, seleccionados por su representatividad respecto de los transitorios registrados.

5.1. Registros de maniobras de cierre y apertura.

Las Figuras 3 y 4 muestran los oscilogramas registrados con el RTD 710A durante una maniobra de cierre y apertura del interruptor del motor VTI. Son las formas de onda de la tensión (fases R y T respectivamente) en bornes del motor.

Los puntos de cambio de frecuencia de muestreo se adoptaron para adquirir los primeros 2 ms a 10 MHz, los siguientes 98 ms a 100 kHz, y a partir de los 100 ms, continuar muestreando a 5 MHz. El tiempo de adquisición previo al disparo fue de 500 μ s.

En estos registros se observa que los cierres de las fases R y T se producen con posterioridad al de la fase S (no adquirida). Aproximadamente a los 1.28 ms de registro, se produce el cierre de las fases R y T, y se observa el fenómeno de prearco durante aproximadamente 500 μ s. Entre los 2 y 100 ms (muestreados a baja velocidad) no hay información referida al transitorio.

En las aperturas de los polos se observa que la fase T fue la primera en abrir, aproximadamente a los 115 ms, y la fase R abre aproximadamente a los 120 ms.

La Figura 5 muestra un detalle de la Figura 3, correspondiente al fenómeno de prearco (cierre del polo de la fase R del interruptor).

La Figura 6 es un detalle del intento de apertura del interruptor en la fase R, observado en el centro del oscilograma de la Figura 3 (aproximadamente a los 111.8 ms).

5.2. Registros para determinar el modelo de barras.

Se presentan los registros correspondientes a una de estas maniobras (apartado 4.3.), obtenidos con el adquirente RTD 710A.

La Figura 7 muestra el registro sobre fase T de la tensión en bornes del VRG durante la maniobra. Se puede observar el transitorio de inserción del motor VRG, hasta establecerse la onda de tensión de frecuencia industrial. A partir de entonces la onda se corresponde con la tensión en barras de 6.6 kV.

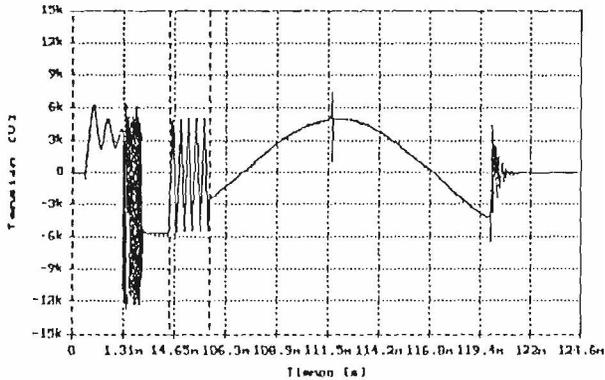


Figura 3. Cierre y apertura interruptor Motor VTI. Tensión fase R en bornes del motor.

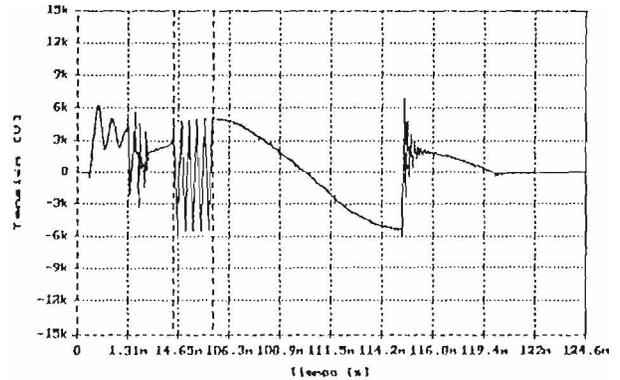


Figura 4. Idem Figura 3, tensión fase T.

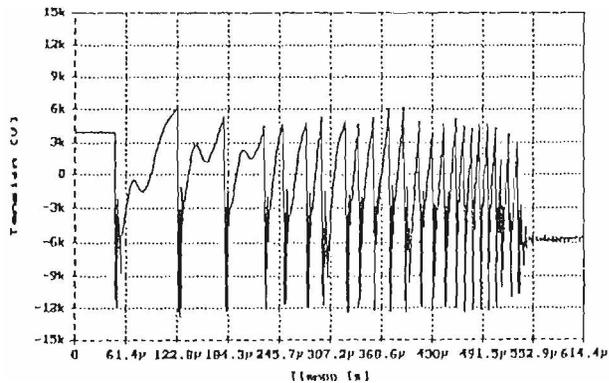


Figura 5. Detalle de la Figura 3 (614 μ s posteriores al instante 1,28 ms). Fenómeno de prearco.

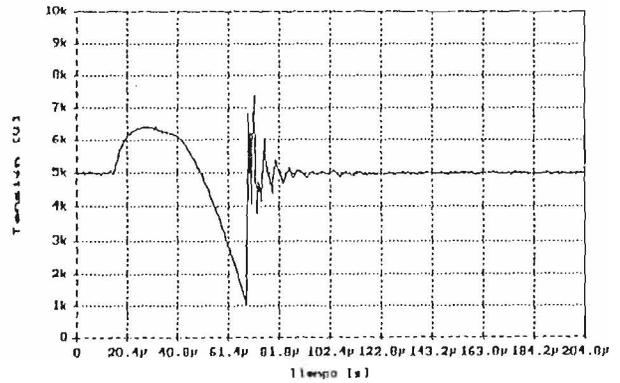


Figura 6. Detalle de la Figura 3 (205 μ s posteriores al instante 111,8 ms). Intento de apertura.

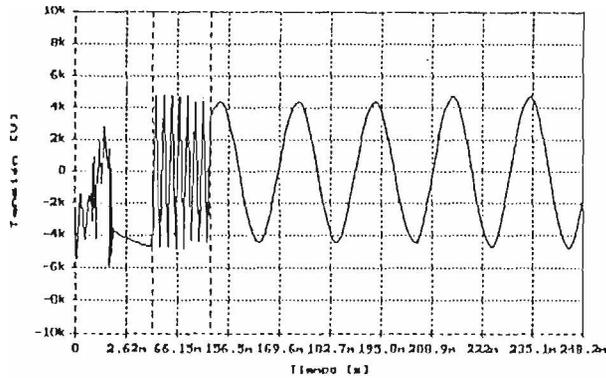


Figura 7. Maniobra para determinar el modelo de barras de 6,6 kV. Oscilograma de la tensión fase I.

Al cerrarse el interruptor del motor VII, se produce una caída de tensión (Figura 7, parte muestreada a baja velocidad), y al abrirse, la tensión vuelve a subir (Figura 7, parte muestreada a alta velocidad, a partir de los 205 ms).

Durante esta apertura, se produce un transitorio oscilatorio sobre la tensión de barras, hasta alcanzar el nuevo régimen permanente (aproximadamente a los 205 ms), cuyo detalle ampliado se muestra en la Figura 8.

5.3. Registros de maniobras de arranque de motores.

A modo de ejemplo, se presentan los oscilogramas correspondientes a una maniobra de arranque del motor VII, hasta alcanzar la corriente de régimen correspondiente a la carga mecánica.

Estos registros fueron obtenidos con el adquirente RTD 710A. Se efectuaron a alta velocidad en los 4 ms iniciales, y el resto de la información fue adquirida a baja velocidad.

La Figura 9 muestra la tensión de barras (fase I) durante dicha maniobra. El instante de apertura del interruptor (aproximadamente a los 60 s de registro) puede identificarse por un escalón en la corriente del motor, acompañado por una sobreten-sión con decrecimiento exponencial, debido a que en esas condiciones el motor se comporta como un generador. El detalle de esta parte del registro de tensión se observa en la Figura 10.

6. CONCLUSIONES.

Durante las campañas de medición objeto de este trabajo, se efectuaron numerosas maniobras sobre los motores bajo estudio.

Los registros de transitorios obtenidos, permitieron extraer la información pretendida en cada uno de los tipos de maniobras descriptos, y a efectos de los estudios posteriores y ajustes de modelos de simulación, tuvieron la utilidad que se había previsto Ref. [2].

7. REFERENCIAS.

- [1] Sistema registrador de transitorios en subestaciones eléctricas. SATIP. - P.E. Issouriberhere, J.L. Agüero, D.E. Esteban, G. Casas, E.G. Antonelli - G.T.33, II ERLAC, CIGRE. 1987.
- [2] "Estudio de transitorios rápidos producidos por la maniobra de motores con interruptores de vacío". P.Arnera, D.Llarena, R.Bianchi Lastra, F.Matzkevich. V ERLAC, CIGRE. 1993.

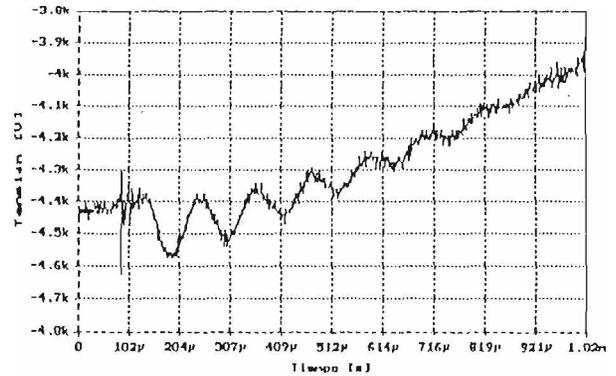


Figura 8. Detalle de la Figura 7 (1 ms posterior al instante 205,3 ms).

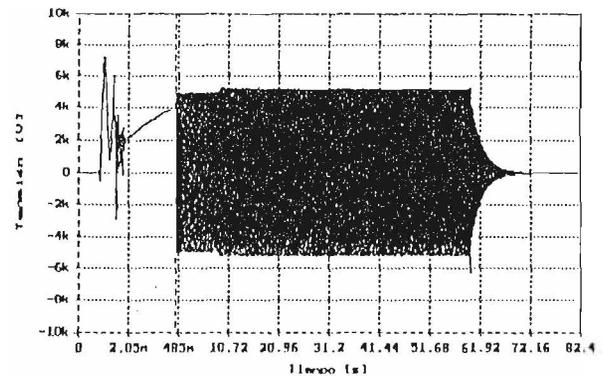


Figura 9. Maniobra de arranque del motor VII. Tensión de barras de 6,6 kV (fase I).

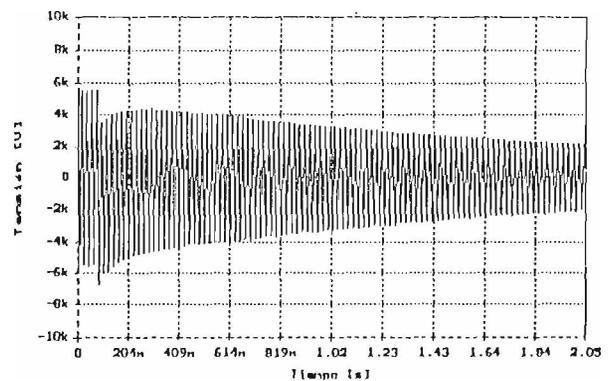


Figura 10. Detalle de la Figura 9 (2 s posteriores al instante 60 s).