

**Comité de Estudio A3 - Equipamiento de Alta Tensión**

**MEDICIONES DE TRANSITORIOS DURANTE LAS MANIOBRAS DE  
SECCIONADORES EN ESTACIONES TRANSFORMADORAS DE 500 KV**

**M. D. del Pozo\***

**D. Esteban**

**P. Issouribehere**

**Universidad Nacional de La Plata Facultad de Ingeniería IITREE  
Argentina**

**A. Funes**

**A. Ledesma**

**YACYLEC  
Argentina**

**RESUMEN** - La falla o el deterioro dieléctrico de Transformadores de Intensidad (TI) en Estaciones Transformadoras (ET) de 500 kV, motivaron el estudio del tema orientado a medir uno de los tipos de solicitaciones transitorias a las que están sometidos los TI en las playas de las ET.

Los transitorios medidos y presentados en el presente trabajo son los que se manifiestan durante la maniobra de apertura y cierre de seccionadores.

Para la medición de los transitorios de tensión generados en las barras, se emplearon sensores de campo eléctrico que no requieren ninguna vinculación galvánica con las barras de la ET.

Este método de medición resulta innovador, dado que su modalidad de sensado de campo permite compatibilizar el gran ancho de banda de medición requerido, con la contaminación electromagnética existente en la playa de la ET. Además es posible la instalación de los sensores sin producir cortes de energía en la ET.

Se midieron los transitorios generados en dos bahías de dos ET. Cada una de las bahías poseía distintos tipos de seccionadores.

Dada la versatilidad de los casos en los que se registraron los transitorios de las maniobras de los seccionadores, es posible indicar que se cubrieron los casos usuales en arreglos de 500 kV para interruptor y medio.

En los registros fue posible encontrar las características de las solicitaciones que inciden en los TI, representadas por las amplitudes de tensión, tiempos de frente, duración y cantidad de reencendidos de arcos.

Conociendo las solicitaciones que se generan en las barras, será posible determinar las corrientes impulsivas que inciden en los TI asociados a la barra.

La captación de los transitorios mediante la medición del campo eléctrico generado, ha sido la base que posibilitó obtener, con la apropiada respuesta, el detalle del fenómeno generado por el reencendido de arcos.

Tanto los sensores de campo eléctrico, fibras ópticas, transductores y registradores resultan de un reducido tamaño y peso, factores que facilitan su transporte hasta el sitio de uso y su correspondiente instalación.

La selección adecuada de los componentes en la construcción de sensores, transductores y otras partes del equipamiento de captación, ha permitido implementar un sistema que registra con 10 MHz de ancho de banda.

**Palabras clave:** Maniobra de seccionadores; transitorios rápidos, Estaciones Transformadoras, técnica de medición, fibra óptica, transformadores de intensidad.

## **1 INTRODUCCIÓN**

Se realizaron mediciones de los transitorios de tensión durante las maniobras de cierre y aperturas de seccionadores, con el fin de establecer las solicitaciones a que son sometidos los Transformadores de Intensidad en el momento que el seccionador asociado es abierto o cerrado como parte de una operación normal dentro de una Estación Transformadora.

El fenómeno en cuanto a la solicitación que recibe el TI, depende básicamente de la tensión del sistema y de las características de las barras asociadas, siendo los parámetros más influyentes la capacidad a tierra y las inductancias del circuito.

Las mediciones in-situ permiten dar un primer paso para conocer las corrientes inyectadas al TI como consecuencia de las maniobras en seccionadores en la instalación real.

Las solicitaciones en los TI con transitorios del tipo impulsivos, están contempladas con el carácter de “Informativo” en el Anexo B de la Ref. [1].

Los reencendidos que se manifiestan en el proceso de apertura de un seccionador entre los contactos que se desplazan desde el cierre hasta la apertura completa o viceversa, generan perturbaciones en tensión, que por lo general son claramente percibidos auditivamente como descargas reiteradas en aire. Una vez iniciadas las descargas o tren de arcos, pueden durar algunos segundos, dependiendo de las características del seccionador, su velocidad de accionamiento y diseño constructivo de los contactos fijo y móvil.

La Ref. [2] no contempla especificaciones, para los seccionadores, que acoten las solicitaciones que se dan en servicio y que se manifiestan como tensiones impulsivas reiteradas en cada operación del seccionador.

Las mediciones se realizaron en dos Estaciones Transformadoras de 500 kV del tipo exterior, la ET Rincón de Santa María y la ET Resistencia.

La ET Rincón posee en 500 kV, siete campos o bahías de Líneas, cuatro campos de Reactores derivación y un campo de Transformador.

La ET Resistencia posee, en 500 kV, dos campos de Líneas, dos campos de Reactores derivación y dos campos de Transformadores.

Ambas Estaciones poseen las configuraciones de Interruptor y medio.

En base a la tarea realizada se han podido medir sin intervenir galvánicamente en la barra y con una aceptable exactitud, el tipo de solicitación que genera el Sistema en los bornes de los TI. La solicitación en el propio TI dependerá de la forma constructiva del aparato y del pedestal soporte.

## **2 SISTEMA DE MEDICIÓN Y REGISTRO**

### **2.1 Sistema**

Las dificultades, tales como la imposibilidad de utilizar transformadores de tensión por la respuesta necesaria para los transitorios esperados en las descargas de arcos durante las maniobras de los seccionadores y los consecuentes reencendidos y las perturbaciones electromagnéticas indeseadas en un lugar altamente “contaminado” como lo es una playa de una Estación Transformadora, llevaron a emplear el sistema descrito a continuación.

La selección adecuada de los componentes ha permitido implementar un sistema de transducción con 10 MHz de ancho de banda. En la Ref. [3], se encuentra una aplicación que sirvió como guía para implementar el Sistema aquí presentado.

### **2.2 Sensores**

El sistema se compone de dos sensores de campo eléctrico con salida para fibra óptica totalmente autónomos merced a su alimentación con baterías recargables, una unidad receptora de dos canales de fibra óptica con sus respectivas salidas eléctricas de señal, para el equipo de registro, y un cargador de baterías dual para la recarga de las baterías de los sensores.

### **2.3 Transductores y registrador**

El transductor correspondiente al punto de medición se encuentra incorporado al gabinete del sensor. Este conjunto resulta de reducido tamaño y peso. En la Foto N° 1 se observa el conjunto.

La vinculación, entre el sensor - trasductor y el receptor es realizada con un enlace por fibra óptica. De esta forma se eliminan las posibles perturbaciones acopladas en los cables de medición permitiendo además la instalación del equipo de registro en un sitio distante para minimizar los acoplamientos indeseados sobre él.

Las fibras ópticas utilizadas son multimodo de 62,5/125  $\mu\text{m}$  de 100 metros de longitud pudiendo ampliarse la distancia hasta 1000 metros si fuera necesario. El sistema de registro se completó con un osciloscopio de 300 MHz de ancho de banda con memoria digital (Foto N° 2).

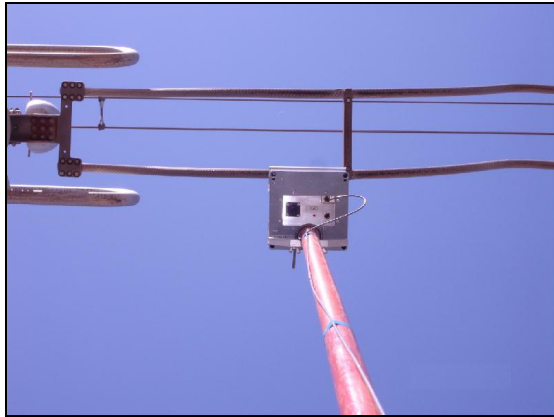


Foto N° 1.- Sensor de campo



Foto N° 2.- Receptor de fibra óptica dual y osciloscopio de registro

### 3 CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

#### 3.1 Resumen

Las bahías o campos de las Estaciones Transformadoras (ET) donde se realizaron las mediciones cubrieron variantes tanto en las capacidades asociadas a las barras, como así también la inclusión de seccionadores diferentes y con diferentes tiempos para completar las maniobras de apertura y cierre.

#### 3.2 Detalles de los campos o bahías en cada ET donde se efectuaron las mediciones

La Fig. 1 muestra los diagramas de las bahías 10 y 2, de la ET Rincón de Santa María.

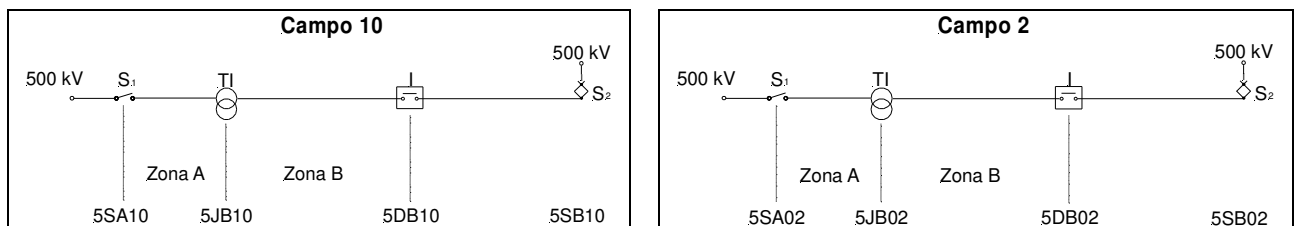


Fig. 1 Diagramas de los campos de la ET Rincón de Santa María

Las distancias entre fases son de ocho metros en todos los casos.

Para los campos 10 y 2, la distancia entre aparatos y alturas de las barras, son:

- $S_1$  a barra alta (23 m) : 2,5 m horizontales
- $S_1$  a TI : 4,5 m
- TI a I : 5,5 m
- I a  $S_2$  a barra baja (15 m): Fase R 22 m; Fase S 13 m; Fase T 4 m
- Alturas de barras: Altas 23 m; Bajas 15; Conexiones de equipos 9 m

La Fig. 2 corresponde a las bahías 3 y 5 de la ET Resistencia.

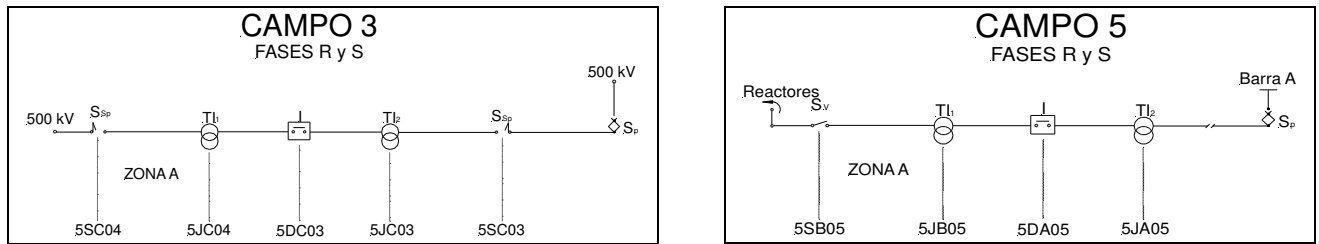


Fig. 2 Diagramas de los campos de la ET Resistencia

Para el campo 3, las distancias entre aparatos y alturas de las barras, son:

- $S_1$  a barra alta (23 m) : 1,5 m horizontales
- $S_1$  a  $TI_{04}$  : 9 m
- $TI_{04}$  a I : 1,5 m
- I a  $TI_{03}$  : 1,5 m
- $TI_{03}$  a  $S_2$  : 2 m
- Alturas de barras: Altas 23 m; Bajas 15; Conexiones de equipos 9 m

Para el campo 5, las distancias entre aparatos y alturas de las barras, son:

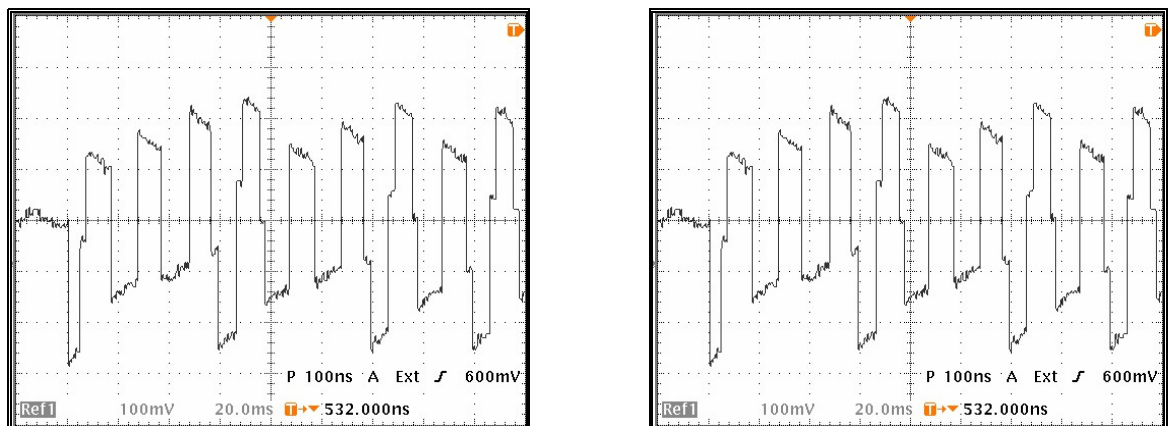
- $S_1$  a barra alta (23 m) : 2,5 m horizontales
- $S_1$  a  $TI_1$  : 5 m
- $TI_1$  a I : 1,5 m
- I a  $TI_2$  : 1,5 m
- $TI_2$  a  $S_2$  a barra baja (15 m): Fase R 22 m; Fase S 13 m; Fase T 4 m
- Alturas de barras: Altas 23 m; Bajas 15; Conexiones de equipos 9 m

## 4 MEDICIONES REALIZADAS

### 4.1 Versatilidad de las mediciones

Para el campo 10, Fig. 1 se efectuaron maniobras de cierre en el seccionador S1. En los registros de la Fig. 3, se muestra el inicio del tren de arcos para la fase R.

En el caso a) corresponde a la perturbación en la zona A y el b), para la misma maniobra, el registro en la zona B.



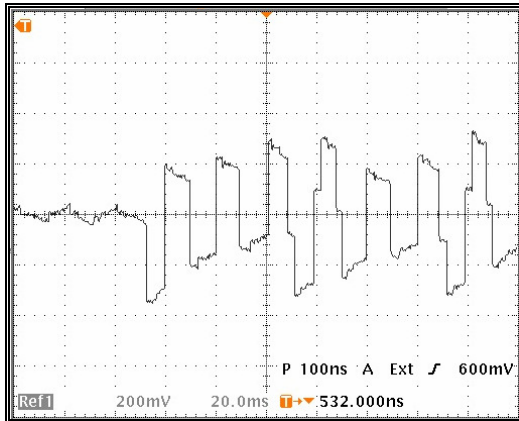
a) Registro TEK20001 Zona A

b) Registro TEK20000 Zona B

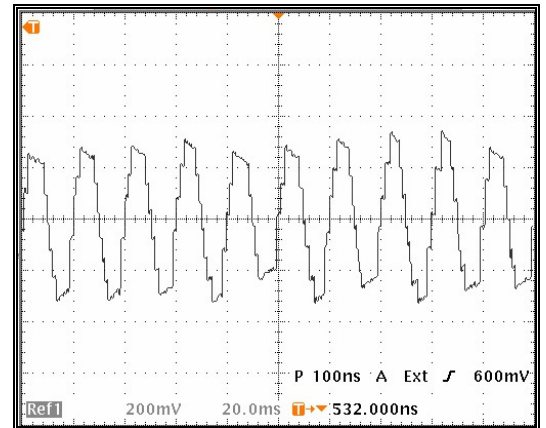
Fig. 3.- Registros de cierre en la fase R, campo 10. Barrido total 200 ms

La Foto N° 3 muestra la ubicación de los sensores para los registros de la Fig. 3.

Para el campo 10, se muestra en la Fig. 4 el cierre del seccionador 5SA10, registrando en la zona A de la Fig. 1. En a) el inicio de los arcos al acercarse los contactos del seccionador y b) en un tiempo intermedio de la operación que en este caso, las descargas finalizaron a los 1240 ms.



a) Inicio del cierre



b) Estado a los 790 ms del inicio

Fig. 4.- Registro TEK 00007. Cierre en la fase R, campo 10, zona A. Barrido 200 ms



Foto N° 3.- Campo 10

Sensores en la misma fase. Zona A y B

Para el campo 2, Foto N° 4, los registros se muestran en la Fig. 5: a) al inicio de la separación de los contactos del seccionador y b) al finalizar las descargas.

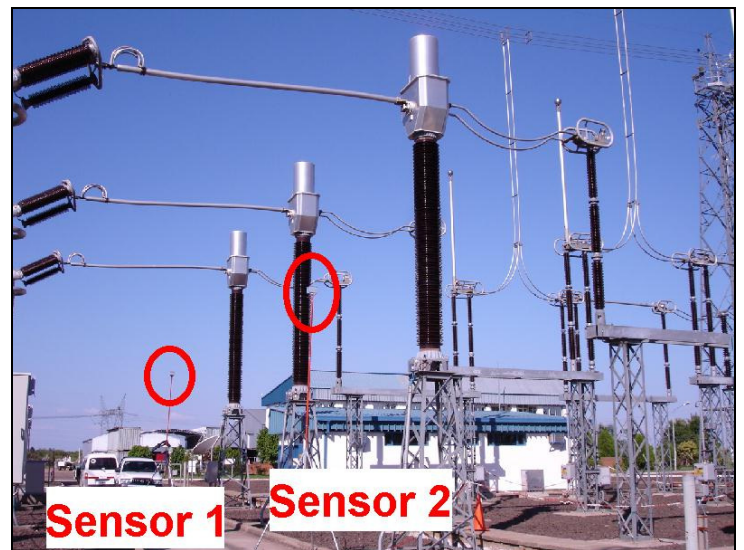
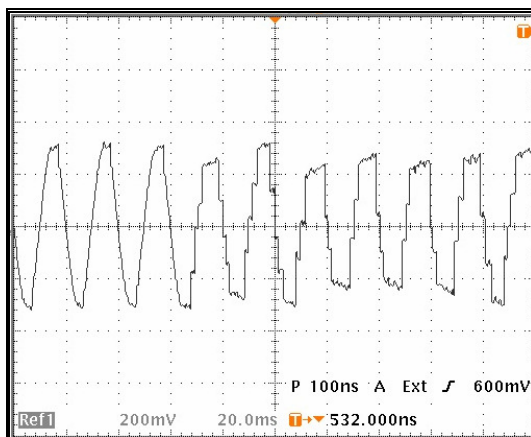
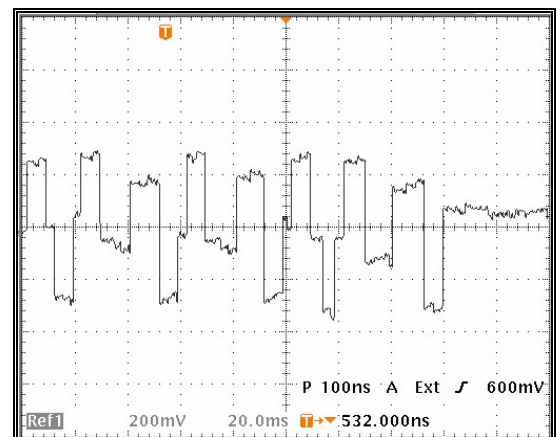


Foto N° 4.- Campo 2

Sensores en las fases R y T. Zona B



a) Inicio de la apertura

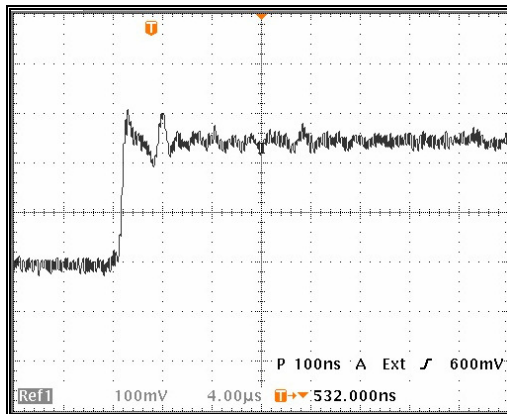


b) Final de la apertura

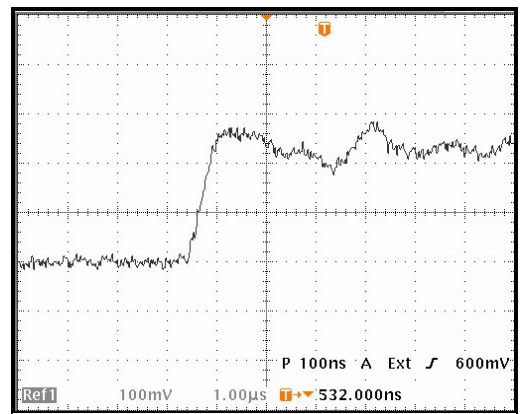
Fig. 5.- Registro TEK23003. Apertura en la fase R, campo 2, zona B. Barrido total 200 ms

#### 4.2 Duración y tiempos de frente de los transitorios

En la Fig. 6 se observa: a) el transitorio que se repite en cada reencendido de los arcos, se extingue en algunas decenas de microsegundos. b) el frente del escalón de tensión de un transitorio.



Apertura. a) Transitorio completo



Cierre. b) Frente del escalón de tensión

Fig. 6.- Operación del seccionador 5SA10. Fase R, Campo 10

La cantidad de operaciones en los seccionadores fueron entre cuatro y quince

Los tiempos de frente medidos se registraron entre los valores indicados en la Tabla I

TABLA I. TIEMPOS DE FRENTE DE LAS PERTURBACIONES

CAMPO	Tiempo de frente medido [ns]		
	Cierre	Apertura	Valor promedio del campo
10	500 a 600	550 a 560	560
02	780	810	800
03	760 a 780	760	770
05	740 a 780	700 a 720	740

De los registros se deduce que los tiempos de frente resultan independientes de la amplitud del escalón de tensión y del tipo de operación que se esté desarrollando, cierre o apertura de los seccionadores.

#### 4.3 Cantidad de reencendidos

La Fig. 4 a) y b), permite apreciar para un cierre, que a medida que transcurre el tiempo, al reducirse la longitud del arco, los transitorios se reducen de amplitud y se incrementa la cantidad de ellos por cada período de la frecuencia del sistema. Sobre el final del arco se pueden contar entre diez y once transitorios por período.

Las características del fenómeno son similares cuando se efectúa una operación de apertura del seccionador, excepto que se invierte la secuencia de los transitorios, es decir que el mayor número de arcos ocurre al inicio y el mínimo a final del evento, Fig. 5 a) y b).

#### 4.4 Duración de los transitorios

Los tiempos de arco medidos se registraron entre los valores indicados en la Tabla II

TABLA II. TIEMPOS DE ARCOS MEDIDOS

CAMPO	Tiempo promedio de arco medido [ms]		
	Cierre	Apertura	Desviación [σ] Cierre / apertura
10	1235	1780	26 / 131
02	345	720	25 / 40
03	1886	1880	18 / 77
05	1310	1822	93 / 251

## Conclusiones de los registros anteriores

### CAMPO 10:

- La operación de apertura es 545 ms más lenta que la de cierre.

### CAMPO 02:

- La operación de apertura es 375 ms más lenta que la de cierre.

### CAMPO 03:

- Las operaciones de apertura y de cierre tienen duraciones similares.

### CAMPO 05:

- La operación de apertura es en promedio 512 ms más lenta que la de cierre.
- Existe una dispersión importante en los tiempos de arco durante las operaciones de apertura.

## 4.5 Amplitud de la tensión de los transitorios

Utilizando la totalidad de los registros de larga duración (4 segundos) realizados durante las operaciones de cierre y apertura de los seccionadores, se determinó la amplitud máxima ( $\Delta U_{\text{máx}}$ ) de los escalones de tensión en cada operación. Los resultados se presentan en la Tabla III.

TABLA III. AMPLITUDES MÁXIMAS DE LAS TENSIONES MEDIDAS

CAMPO	Amplitudes de tensiones medidas $\Delta U_{\text{máx}}$ [kV]		
	Cierre	Apertura	Valor máximo
10	590; 530; 500; 470; 440; 420; 410	560; 530; 480; 400	590
02	520; 450	620; 600	620
03	660; 630; 610; 600	600; 590; 570	660
05	570; 560; 500; 540; 500; 490; 420	660; 610; 580; 570; 560; 520; 480	660

Puede observarse que el seccionador del Campo 03 genera escalones de tensión de valores superiores durante las maniobras.

## 5 CONCLUSIONES

Se ha podido captar un tipo de transitorio, que si bien es originado por una maniobra, tiene asociados tiempos de frente o frecuencias compatibles con fenómenos de descargas atmosféricas.

En el presente trabajo fue posible establecer mediante mediciones in situ, parámetros característicos de las perturbaciones que generan las operaciones de los seccionadores.

Se enumeran a continuación la información considerada relevante por haber sido varios los modelos de seccionadores involucrados, como así también haber podido medir en dos Estaciones Transformadoras con algunas diferencias constructivas entre ellas.

### TIEMPO DE FRENTE:

- El tiempo de frente no depende del tipo de operación que se realice con el seccionador, sea una apertura o un cierre.
  - Comparativamente el tiempo de frente en el Campo 10 resulta 35 % más breve que en el Campo 02.
  - En los Campos 03 y Campo 05, el tiempo de frente promedio medido es prácticamente igual en ambas bahías (736 ns y 768 ns respectivamente)

### TIEMPO DE ARCO:

- En el Campo 10 la duración del intervalo de arco durante el cierre de los seccionadores es 3,6 veces mayor que en el Campo 02. (1235 ms y 345 ms respectivamente).

- En el Campo 10 la duración del intervalo de arco durante la apertura de los seccionadores es 2,5 veces mayor que en el Campo 02. (1730ms y 720 ms respectivamente).
- En el Campo 03 la duración del intervalo de arco durante las operaciones de cierre y apertura de los seccionadores es prácticamente igual mientras que en el Campo 05 la duración del intervalo de arco durante la apertura es en promedio 1,4 veces mayor que durante el cierre (1822 ms y 1310 ms respectivamente).

#### **AMPLITUDES DE LOS ESCALONES DE TENSIÓN:**

- Los valores máximos de los escalones de tensión en los cuatro campos son similares y se encuentran en el rango de los 590 kV a 660 kV. (Diferencia del orden del 10 %).

## **6 REFERENCIAS**

- [1] .- Norma Internacional IEC Publicación 60044-1 Edición 1.2 / 2003-02  
“Transformadores de medida – Parte 1: Transformadores de Intensidad”.
- [2] .- Norma Internacional IEC Publicación 62271-102 Primera edición / 2003  
“Equipamiento de alta Tensión – Parte 102: Seccionadores y seccionadores de puesta a tierra para corriente alternada”.
- [3] .- “Application of Fibre Optics to the Measurements of Corona Losses in UHV Experimental Lines”. Third International Symposium on High Voltage Engineering. Milan, August 1979. L. Thione, G. Costa, E. Elli (CESI – Milano, ITALY). A Manzini, A. Centemeri (ENEL CREL Milano, ITALY).