

Comité de Estudio A3 - Equipamiento de Alta Tensión

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE REGISTROS PARA
ENSAYOS DE IMPULSOS ATMOSFÉRICOS**

L.J. CATALANO*
IITREE-FI-UNLP
Argentina

R.E. ÁLVAREZ
IITREE-FI-UNLP
Argentina

M.D. DEL POZO
IITREE-FI-UNLP
Argentina

Resumen – Los ensayos de impulso atmosférico son fundamentales para asegurar una adecuada coordinación del aislamiento en los sistemas eléctricos de potencia. Los sistemas de adquisición de los registros de ensayos han evolucionado notoriamente en los últimos años gracias al tratamiento digital de las señales. En esta publicación se presenta el desarrollo de un equipo digital para la medición y registro implementado en el sistema de impulsos atmosféricos 1,2/50 del Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (IITREE-FI-UNLP).

Palabras clave: Impulso atmosférico – Ensayos – Medición – Registros – Oscilogramas – Interface GPIB – Software – Evaluación de parámetros de impulso – IEC 61083-1 – IEC 61083-2

1 INTRODUCCIÓN

Durante las condiciones de operación, los sistemas de potencia están sometidos a sobretensiones de diferente naturaleza, en particular las de origen atmosférico. Los aislamientos de los equipos deben ser capaces de soportar estas sollicitaciones; y en este sentido los ensayos de impulso en laboratorio son imprescindibles para comprobar si el diseño cumple el desempeño establecido por las diferentes normativas.

Las técnicas y los equipos de generación de impulsos de alta tensión siguen siendo los mismos desde antaño, con la lógica evolución de los materiales aislantes.

En lo que respecta a la medición de los impulsos, los registros analógicos han sido ampliamente superados por los digitales, permitiendo:

- *Adquisición y almacenamiento sencillo y seguro.*
- *Adecuación digital de las señales (eliminación de ruido, niveles de offset, etc.).*
- *Obtención inmediata de parámetros del registro.*
- *Flexibilidad con respecto a diferentes ensayos y normativas.*
- *Disminución de los tiempos de interpretación y de los errores de medición de la técnica fotográfica.*

Dadas estas notables ventajas en el Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (IITREE), se reemplazó la tradicional técnica de registro analógica por la digital de nueva generación. En este trabajo, se presentan los principales aspectos desarrollados para el diseño e implementación de un equipo digital para la medición y registro de impulsos atmosféricos 1,2/50.

2 ANTECEDENTES

2.1 Sistema de medición analógico

El equipamiento de la sala de ensayos del IITREE, para pruebas de impulso atmosférico está compuesto por un generador de 8 etapas de 4 kJ y de hasta 600 kV de tensión máxima. El sistema de medición se compone de un divisor resistivo apantallado de hasta 600 kV y un voltímetro de pico. El sistema de registros tradicional estaba compuesto originalmente por un osciloscopio analógico; con una cámara fotográfica con la que se capturaba la señal obteniéndose el registro permanente del impulso.

2.2 Primer registrador digital, RADAT

A principio de los años 90 el IITREE, implementó un sistema de adquisición digital denominado “RADAT” (Registrador-Analizador digital de Alta Tensión), bajo los lineamientos de IEC 790 [1] y de IEC 601083-1 [2]; el cual estaba integrado por:

- *Osciloscopio digital, 200 Ms/s, 10 bits, BW = 100 MHz, 2 canales, conexión a PC a través de GPIB*
- *Atenuadores x 15 (desarrollo IITREE).*
- *1 PC XT 386, con placa GPIB*
- *Un software en base DOS (desarrollo IITREE).*

Si bien se trataba de un sistema innovador frente a la tradicional técnica del registro fotográfico de los oscilogramas, las posibilidades de hardware/software disponibles en ese momento, hacían que el proceso de adquisición y almacenamiento entre cada registro fueran muy prolongados. Esta característica hizo que el sistema analógico, por expeditivo y confiable, continuara usándose.

2.3 Sistema Integrado de Medición de Impulso

Con el fin de innovar el instrumental de ensayos, en el año 2006 se estableció como objetivo reemplazar el sistema analógico por uno de nueva generación. Para ello se consideraron tres alternativas:

- *Alternativa 1: adquisición de un registrador especialmente diseñado para ensayos de impulso atmosférico; incluyendo software de adquisición y evaluación*
- *Alternativa 2: reemplazo del osciloscopio del RADAT por otro que dispusiera de interface para conexión a PC, con software de adquisición convencional.*
- *Alternativa 3: adecuación del RADAT, incorporando una PC moderna y una placa GPIB-USB, con el agregado de un software desarrollado a medida.*

Los costos relativos de cada alternativa se resumen en la Tabla I.

Tabla I

Alternativa	Costo relativos [pu]					
	Registrador	PC	Desarrollo atenuador	Placa GPIB-USB	Desarrollo software	Total
1	100	0	0	0	0	100
2	7	2	12	0	12	35
3	0	2	0	3	12	17

No habiendo significativas diferencias técnicas entre las opciones, se decidió por la tercera por ser la más conveniente económicamente.

Para la implementación de la alternativa 3, se reemplazó la antigua PC con sistema operativo DOS por otra moderna con Windows XP. Fue necesario contar con una nueva interface GPIB; optándose por una con interface USB. Una vez establecida la comunicación entre los dos dispositivos fue necesario el desarrollo íntegro del un nuevo software. El sistema se instaló en un rack conjuntamente con el voltímetro de pico. El nuevo equipo fue designado SIMI (Sistema Integrado de Medición de Impulso).

La Fig. 1 muestra el sistema desarrollado, y la Fig. 2 el esquema interno de los distintos dispositivos que conforman el SIMI.



Fig. 1. Sistema Integrado de Medición de Impulsos.

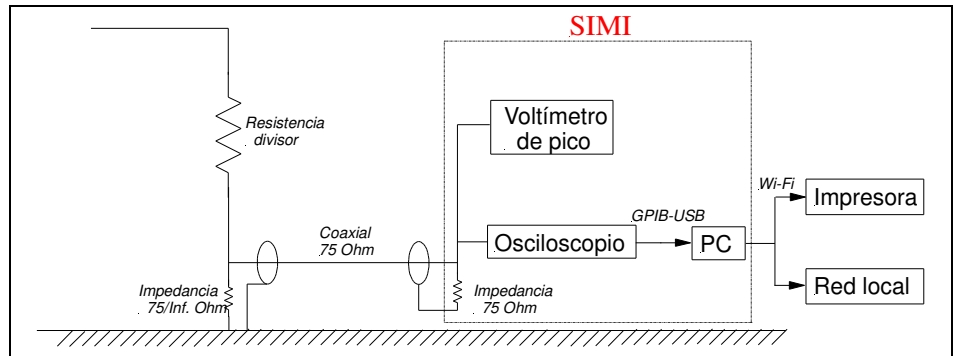


Fig. 2. Diagrama de conexiones del SIMI

3 DESARROLLO DEL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE IMPULSO

3.1 Lenguaje de programación

El software fue desarrollado con lenguaje de entorno gráfico G. El mismo permite la fácil realización de interfases de instrumentación con los que se generan instrumentos virtuales.

La Fig. 3 se puede observar una fracción del código del software desarrollado.

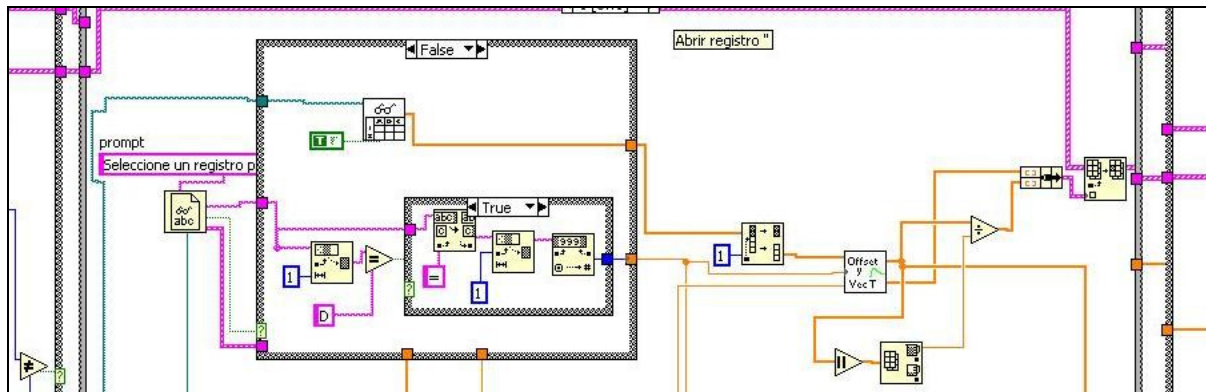


Fig. 3 - Parte del código del software

3.2 Filosofía de programación

El software se desarrolló con la idea de que la operación del mismo fuera semejante al del sistema tradicional, con las siguientes prestaciones adicionales:

- Configuración automática de los controles del osciloscopio según rango y polaridad del impulso.
- Cálculo automático de los parámetros de impulso.
- Almacenamiento permanente en archivos con formato *txt*.
- Generación de curvas promedio en impulsos con oscilaciones o sobreimpulsos.
- Elaboración de un reporte en *pdf* con la forma de onda de la señal aplicada.

Una especial atención en el diseño del software fue la seguridad de almacenamiento de los datos. Una vez adquirido el impulso por el osciloscopio, la información queda guardada en la memoria interna del mismo. Luego es transferido a la PC donde se almacena temporalmente, mientras esté en la pantalla de visualización.

Esta información puede guardarse en un archivo “txt” (preámbulo y vector de muestras) o su gráfica tensión/tiempo en formato “pdf”. Por lo tanto el impulso medido puede estar almacenado en 4 tipos de memoria antes de decidir la adquisición de un nuevo registro, donde sólo los archivos quedan como soporte lógico. Por otro lado se instaló una UPS de manera que el SIMI no quede sin alimentación en caso de corte de energía.

3.3 Oscilaciones y sobreimpulsos

Cuando los impulsos presentan oscilaciones en el frente se debe seguir el criterio de la norma IEC 60060-1 [3], donde las oscilaciones de frecuencia mayores a 500 kHz o sobrepicos de tiempos menores a 1 μs, son promediados por una curva media mientras que se toma la curva original si las oscilaciones son de frecuencias menores a 500 kHz o los sobrepicos con tiempos mayores a 1 μs.

El software permite la generación de una curva media la cual se obtiene con una doble exponencial de la forma de la expresión (1) ajustada por mínimos cuadrados.

$$u_d(t) = A \left(e^{\frac{(t-D)}{B}} - e^{\frac{(t-D)}{C}} \right) \quad (1)$$

Además se genera una curva media obtenida según el método presentado en [4]. Este método consiste en obtener el residuo de la diferencia de la señal original y la curva doble exponencial. Este residuo se hace pasar por un filtro digital IIR de segundo orden sin desplazamiento temporal, el cual se ajusta al Factor K propuesto en [5] y graficado en la Fig. 4. Luego este residuo filtrado se suma a la doble exponencial obteniéndose una curva cuyas oscilaciones están atenuadas según el Factor K.

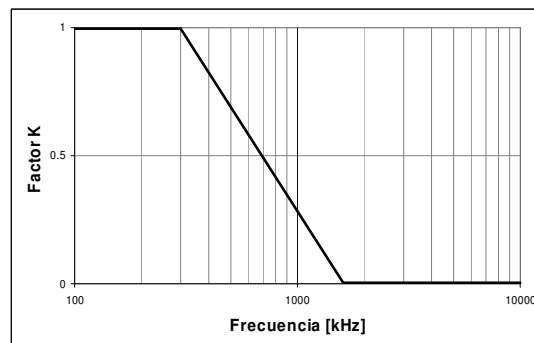


Fig. 4 – Característica del Factor K

Este criterio reemplazaría al tradicional de la norma IEC 60060-1 [3] en la evaluación de impulsos con oscilaciones o sobreimpulsos. Investigaciones experimentales [6] han demostrado que la tensión de descarga de los materiales aislantes (aceite, SF₆, aire, polietileno y papel-aceite) depende de la frecuencia de las oscilaciones sobreimpuestas en la cresta de la onda. En correspondencia con la norma actual, se demostró que para oscilaciones de baja frecuencia la tensión de descarga se asocia al valor máximo medido y para oscilaciones de alta frecuencia la tensión de descarga se corresponde al valor de la curva media (por ejemplo una doble exponencial).

Por lo tanto para estos dos casos extremos las tensiones de descarga se corresponden con las tensiones medidas según la normativa vigente. Sin embargo no se ha encontrado que exista una frecuencia umbral (en el caso de la norma IEC 60060-1 500 kHz) para la cual las oscilaciones soliciten según su tensión cresta o tensión de la curva media. La influencia del valor cresta se reduce continuamente al aumentar la frecuencia de las oscilaciones. Este comportamiento se refleja en la forma propuesta del Factor K de la Fig. 4.

3.4 Rutina de adquisición

El diagrama de flujo de la Fig. 5 muestra la secuencia de tareas que comprenden la adquisición de un impulso.

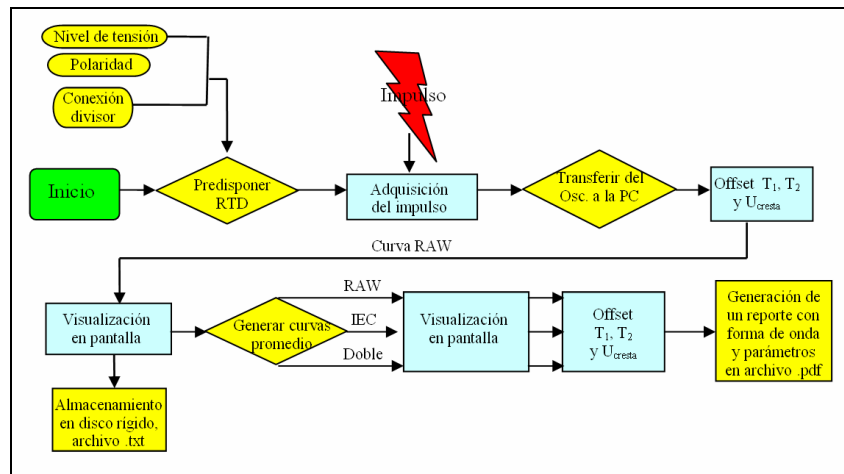


Fig. 5 – Diagrama de flujo de una adquisición

En el diagrama se denomina curva **RAW** a la señal original escalada restado el nivel de offset, **Doble** a la doble exponencial y **Curva K** a la obtenida por el procedimiento de [4].

3.5 Principales operaciones del software

En la Fig. 6 se puede ver la pantalla principal del programa desarrollado. Desde ella a través de los botones del margen izquierdo y según se quiera se operaran en forma descendente y se transita el diagrama de flujo de la Fig. 5. Se observan además dos gráficas tensión vs. tiempo en las cuales, normalmente, en la superior se muestra en detalle el frente de la onda mientras que en la inferior se presenta el impulso completo. Otras utilidades para estas dos gráficas son: comparar distintos impulso grabados anteriormente, o si se adquirieron los dos canales del osciloscopio, el resultado de cada canal. Con todas estas opciones el software resulta una herramienta dinámica y versátil para todo tipo de pruebas.

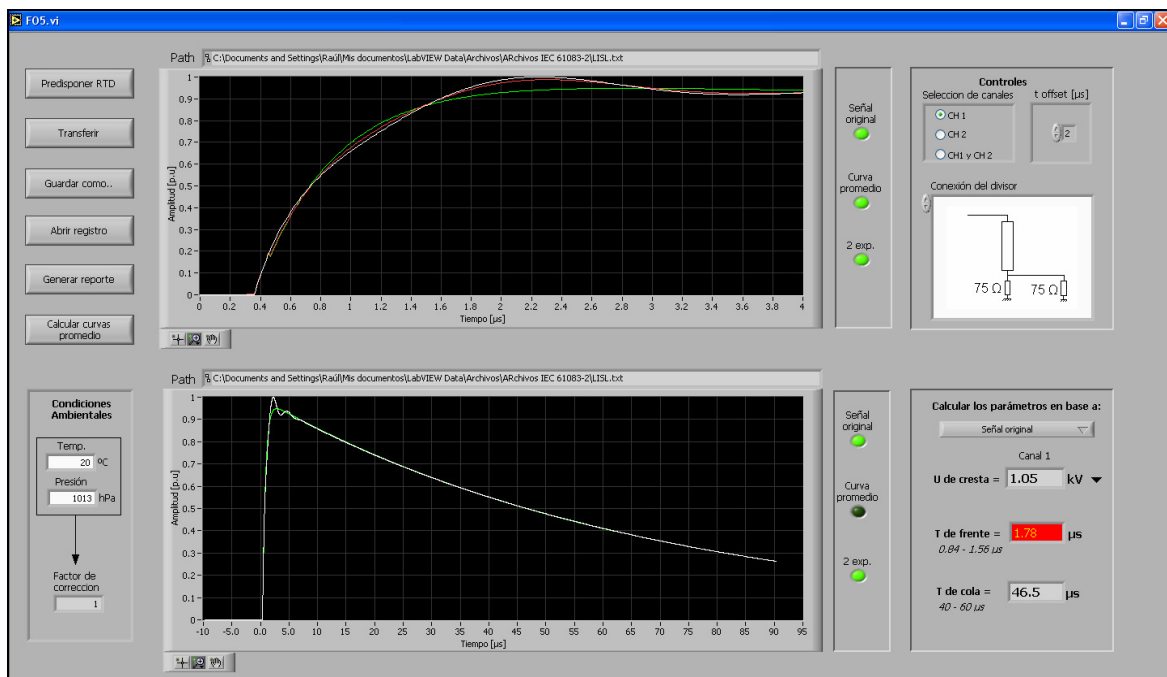


Fig. 6 – Pantalla principal del software

La Fig. 7 muestra un reporte en pdf generado en la realización de un ensayo de impulso atmosférico. Este documento se anexa directamente al informe de laboratorio de la prueba en cuestión.

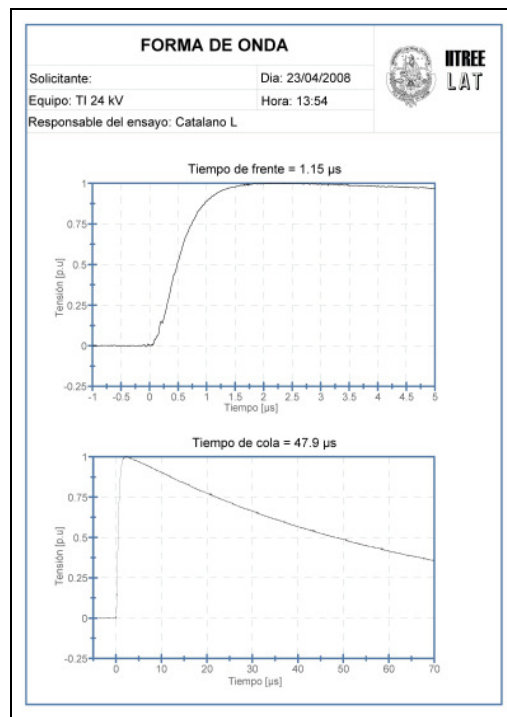


Fig. 7 – Reporte de la forma de onda de un impulso.

El software realiza automáticamente la determinación de los principales parámetros de los impulsos: tensión de cresta, tiempo de frente, tiempo de cola. La medición de las oscilaciones/sobreimpulso se realiza mediante el uso de los cursores disponibles en pantalla. En la Fig. 8 se muestra la operación de la medición de un sobreimpulso.

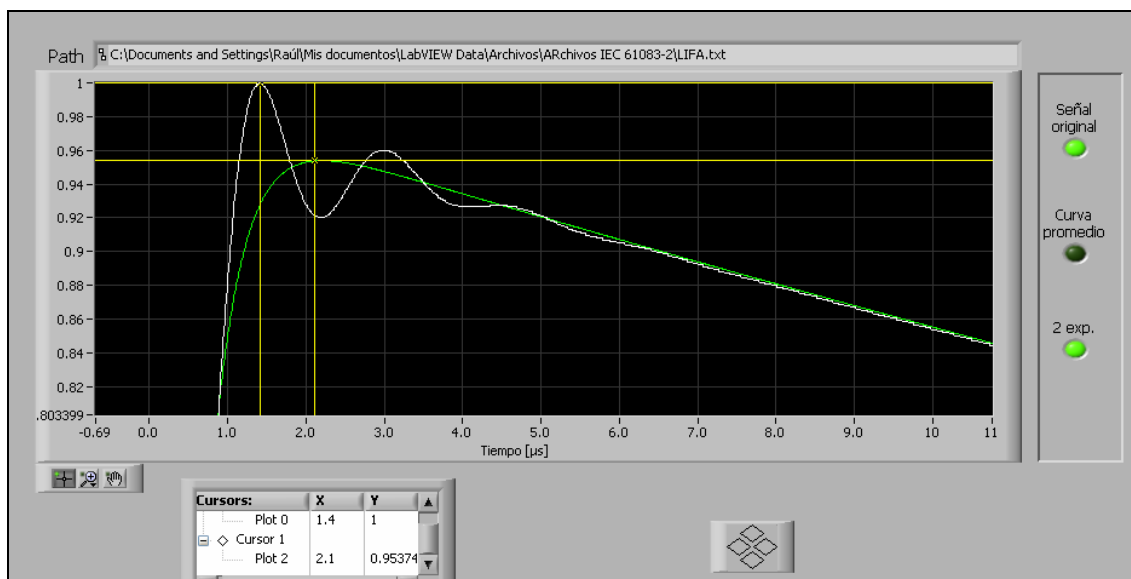


Fig. 8 – Medición del sobreimpulso

4 EVALUACIÓN DEL SOFTWARE CON RESPECTO A LA NORMA IEC 61083-2/1996 [7].

La norma IEC 61083-2 [7] trata específicamente sobre la evaluación del software o soporte lógico utilizado para la obtención de los parámetros de impulso. El Comité Técnico 42 de IEC ha estado trabajando en la preparación de la nueva versión de esta norma que será publicada en 2009.

La norma IEC 61083-2 [7] brinda una serie de curvas (y parámetros asociados), descritas en la Tabla II. Con estas curvas se realizó una evaluación – contrastación del software desarrollado. En la Tabla III se presentan los resultados de esta evaluación.

TABLA II. CURVAS DE EVALUACIÓN

Curva	Descripción
LI	Impulso tipo rayo pleno
LIFA	Impulso tipo rayo con oscilaciones rápidas
LIC	Impulso tipo rayo cortado
LIFO	Impulso tipo rayo con oscilaciones en el frente
LILO	Impulso tipo rayo con sobreimpulso de larga duración
LICFO	Impulso tipo rayo cortado con oscilaciones en el frente
LISO	Impulso tipo rayo con sobreimpulso de corta duración
LISL	Impulso tipo rayo con oscilaciones lentas

TABLA III. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN

Curva	Software				Valores de referencia de norma IEC 61083-2:1996							
	Valor de cresta [MV]	T1 [μs]	T2 [μs]	Amplitud/Sobreimpulso/oscilaciones [μs]/ [kHz]/ [% U _{cresta}]	Valor de cresta [MV]		T1 [μs]		T2 [μs]		Amplitud/Sobreimpulso/oscilaciones [μs]/ [kHz]/ [% U _{cresta}]	
LI	1,05	0,84	60,1	–	1,04	1,06	0,81	0,87	57,5	62,5	–	
LIFA	0,98	1,1	50,0	$f = 625$ $A = 5\%$	0,96	0,99	1	1,1	48	52	$f > 500$ $A > 5\%$	
LIC	0,87	0,51	–	–	0,86	0,88	0,49	0,53	0,55	0,59	–	
LIFO	0,96	1,26	84,5	–	0,94	0,96	1,07	1,19	82	91	–	
LILO	-1,07	3,59	58,1	$\tau = 1,5$ $\beta = 10\%$	-1,08	-1,06	3,4	3,76	56	62	$\tau > 1$ $\beta > 5\%$	
LICFO	0,86	0,54	–	–	0,84	0,87	0,48	0,54	0,51	0,56	–	
LISO	-0,97	1,81	44,4	$\tau = 1$ $\beta = 10\%$	-0,97	-0,95	1,85	2,05	43	47	$\tau < 1$ $\beta > 5\%$	
LISL	1,05	1,78	46,5	$f = 435$ $A = 5\%$	1,04	1,06	1,6	1,7	45	49	$f < 500$ $A < 5\%$	

4.1 Observaciones

La medición del tiempo de frente para la curva LIFO se encuentra fuera de los límites establecidos. Esta curva posee oscilaciones en el frente de frecuencias mayores a 500 kHz de manera que debe ser utilizada la curva promedio. Como se explicó anteriormente se utiliza una doble exponencial ajustada por mínimos cuadrados como curva promedio. Es posible que la falta de precisión en la definición de la curva promedio por parte de la normativa sea la causa de este error.

El tiempo de frente de la curva LISL se encuentra fuera de los márgenes de norma. Por definición y por medición esta curva posee un sobreimpulso con tiempo mayor a 1 μs y, por ende, la curva original debe ser usada en la determinación de los parámetros. No se encontró error de procedimiento en la medición del tiempo de frente, el cual fue revisado minuciosamente.

En todas las demás curvas se cumplen los límites establecidos.

A través de las publicaciones [4, 5 y 6] se dan a conocer las intenciones de modificar el procedimiento de la norma IEC 60060-1:1989 [3] de evaluación de los impulsos con oscilaciones/sobreimpulsos en el frente de la onda. En esta nueva versión se introduciría el Factor K de atenuación de las oscilaciones estableciendo un procedimiento preciso de evaluación de los parámetros evitando la libre y ambigua interpretación del método actual.

5 CONCLUSIONES.

El estudio realizado determinó conveniente la adecuación de un osciloscopio de uso convencional a la medición de impulsos atmosféricos de altas tensión. En particular se actualizó un sistema digital de comienzos de los años 90. Si el proyecto comienza desde cero sólo se podrán comparar las alternativas 1 y 2 de la Tabla I.

El desarrollo de un software a medida permitió una interfase hombre-máquina altamente versátil y de fácil manejo. La filosofía de programación permite gran seguridad de resguardo y una rápida evaluación de los principales parámetros de los impulso.

La evaluación del software detectó un correcto funcionamiento si la onda no posee oscilaciones. Esta limitación se debe mayormente a la ambigüedad del método establecido en la norma IEC 60060-1 [3]. La incorporación del factor K para la evaluación de estas ondas, sitúa al software en estado del arte de la técnica mundial.

6 REFERENCIAS

- [1] IEC 790: "Oscilloscopes and peak voltmeters for impulse test" 1984.
- [2] IEC 61083-1: "Instruments and software used for measurement in high-voltage impulse test. Part 1: Requirrements for instruments" 2001.
- [3] IEC 60060-1 "High-Voltage Test Techniques Part 1: General Definitions and Test Requirements" 1989.
- [4] Lewin, Tran, Swaffield and Hällström: Zero Phase Filtering for Lightning Impulse Evaluation: A K-factor Filter for the Revision of IEC60060-1 and -2, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, NO 1, January 2008.
- [5] K. Hackemack, E. Gockenbach: Robust Evaluation Procedure for Lighting Impulses. Proceeding of the 7th International Conference on Properties and Applications of dielectric Materials June 1-5 2003 Nagoya.
- [6] F. Garnacho, P. Simón, E. Gockembach, K. Hackemack, S. Berlijn, P. Werle: Evaluation of Lighting Impulse Voltaes Based on Experimental Results. Proposal for the revision of IEC 60060-1 and IEC 61083-2. Revista ELECTRA No. 204 - Octubre 2002.
- [7] IEC 61083-2: "Instruments and software used for measurement in high-voltage impulse test. Part 2: Evaluation of software used for the determination of parameters of impulse waveforms" 1996.