

# Correlación entre ondas de ensayo para dispositivos supresores de sobretensiones

## Correlation factor between standard surge waves for testing transient overvoltage suppressor devices

Julio Guillermo Zola<sup>1</sup>

*Recepción: 23-ene-2008/Modificación: 04-jun-2008/Aceptación: 05-jun-2008  
Se aceptan comentarios y/o discusiones al artículo*

---

### Resumen

Existe un variado número de ondas impulsivas estándar que se utilizan para ensayar el funcionamiento de los dispositivos supresores de sobretensiones transitorias. En particular, resultan de importancia los ensayos que comprueban la corriente máxima de impulso de descarga. Se analiza en este trabajo la relación existente entre estas distintas formas de ondas impulsivas, de forma tal de poder obtener una correlación entre ellas para aplicar una u otra con similares resultados. Las conclusiones que se alcanzan a partir de un desarrollo teórico simplificado son corroboradas mediante medición en laboratorio y simulación.

**Palabras claves:** corriente impulsiva, sobretensión transitoria, dispositivo supresor.

### Abstract

A wide number of standard surge waves current for testing the behavior of transient overvoltage suppressor devices are currently being used. The value of pick surge current is one of the most important tests. The ratio between the surge waves to obtain a correlation factor between them, so they can be

---

<sup>1</sup> Ingeniero Electrónico, jzola@fi.uba.ar, profesor adjunto, Coordinador Grupo de Investigación del Laboratorio de Circuitos Electrónicos, Departamento de Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires–Argentina

applied to get equivalent results is analyzed in this paper. The theoretical conclusions are verified by simulation and laboratory measurements.

**Key words:** impulse current, transient overvoltage, surge arrester.

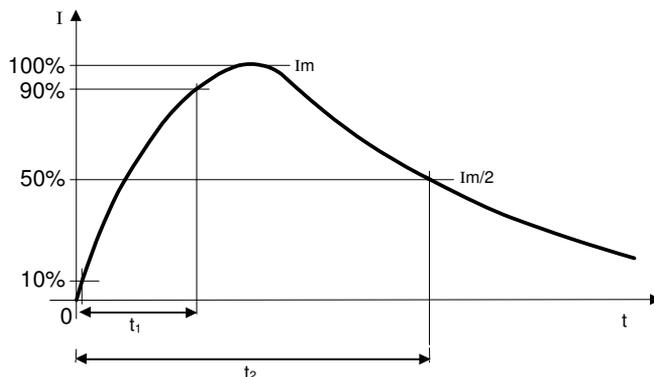
---

## 1 Introducción

De acuerdo a los estándares utilizados para ensayar los dispositivos protectores de sobretensiones transitorias (DPS), se utilizan distintas ondas impulsivas de ensayo, de forma de caracterizar una onda impulsiva de corriente (de naturaleza atmosférica, inductiva, etcétera). Por ejemplo, algunas formas adoptadas son las de impulso de corriente  $\frac{8}{20} \mu\text{s}$  [1],  $\frac{10}{350} \mu\text{s}$ ,  $\frac{10}{1000} \mu\text{s}$  [2], etcétera, caracterizadas por la corriente máxima  $I_m$ [A], la energía específica  $E_i$ [Joule/ohm] y la carga  $Q$ [Coulomb].

En todos los casos, aplicando estas ondas impulsivas al DPS, lo que se pretende obtener como resultado es:

- El tiempo de respuesta del DPS al impulso de corriente cuyo tiempo de crecimiento  $t_1$  es de  $8 \mu\text{s}$  ó  $10 \mu\text{s}$ , según el tipo de onda impulsiva utilizada, figura 1.



**Figura 1:** forma típica de una onda impulsiva de ensayo

- La energía que es capaz de absorber el DPS sin destruirse de acuerdo con la duración del impulso, caracterizado por el tiempo  $t_2$  en que la onda decrece hasta alcanzar la mitad de su valor máximo  $I_m$ , ( $20 \mu\text{s}$ ,  $350 \mu\text{s}$ ,  $1000 \mu\text{s}$ , según corresponda), figura 1.

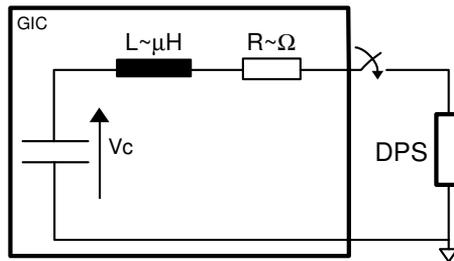
Por ejemplo, la Norma IEC 61312-1 [3], utiliza para caracterizar la forma de onda impulsiva, una ecuación como la indicada en (1)

$$I = \frac{I_m}{h} \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{10}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{10}} e^{\left(-\frac{t}{\tau_2}\right)}. \quad (1)$$

Donde  $\tau_1$  y  $\tau_2$  son constantes de tiempo asociadas al crecimiento y decaimiento de la onda, respectivamente; y la constante  $h$  es un factor tabulado de corrección de la corriente máxima  $I_m$ .

Si bien las ondas de ensayo enumeradas tienen similares características en cuanto a su forma, existen sin embargo, diferencias para implementar un generador que entregue una onda de la forma  $\frac{8}{20} \mu\text{s}$ , respecto de otro que entregue una onda de la forma  $\frac{10}{350} \mu\text{s}$  ó  $\frac{10}{1000} \mu\text{s}$ .

En la figura 2 se muestra el esquema circuital muy simplificado de un generador de impulsos de corriente (GIC).



**Figura 2:** esquema simplificado de un GIC

Por ejemplo, para implementar un GIC que pueda entregar una corriente  $\frac{8}{20} \mu\text{s}$ , con una  $I_m = 10 \text{ kA}$  (valor típico de corriente impulsiva que puede soportar un DPS para líneas de suministros de baja tensión), deberá generarse una tensión en vacío  $V_c$  de varias decenas de kV. Por otro lado, para generar

una onda  $\frac{10}{1000} \mu\text{s}$  que entregue una energía similar al DPS, se necesitaría una  $V_c$  de algunos kV. Esto resulta de importancia por el hecho de la forma de diseño, construcción, funcionamiento y costo del equipo generador.

Estas formas de onda, consensuadas por distintos comités que elaboran los estándares (IEC, UNE, NFPA, IEEE, BS, IRAM, etcétera) fueron obtenidas en base a diferentes análisis de distribuciones probabilísticas a partir de la medición de impulsos de sobretensión bajo condiciones reales, es decir: medición de formas de descargas atmosféricas, de impulsos transitorios por arranque de motores, etcétera. Es por ello que, según la norma que se utilice para el ensayo de los DPS, los resultados de estos ensayos quedarían limitados al tipo de onda impulsiva utilizada.

Una correlación entre estas formas de onda, permitiría comparar el desempeño de diferentes DPS evaluados bajo las recomendaciones de distintas normas y al mismo tiempo, ensayar su desempeño mediante cualquiera de ellas sin necesidad de tener que utilizar equipamiento de alto costo, como sería el caso de un generador  $\frac{8}{20} \mu\text{s}$ .

Sin embargo, las estimaciones de correlación, la mayoría de las veces entre la onda  $\frac{8}{20} \mu\text{s}$  y la  $\frac{10}{350} \mu\text{s}$ , se muestran sólo como datos extra en catálogos comerciales de algunos DPS y están basadas en la igualdad de carga o de energía específica de estas formas de onda, sin tener en cuenta en ningún caso para la comparación, al DPS como parte involucrada del proceso impulso de corriente-absorción de energía.

Por ejemplo, para las formas de onda indicadas, la igualdad de carga (es decir, la integral en el tiempo de las formas de onda de corriente), resulta en una relación de 29 a 1 entre las corrientes máximas del impulso  $\frac{8}{20} \mu\text{s}$  y el  $\frac{10}{350} \mu\text{s}$ . Por otro lado, la igualdad de energía específica (es decir, la integral en el tiempo de las formas de onda de corriente al cuadrado), resulta en una relación de 21 a 1 entre las corrientes máximas del impulso  $\frac{8}{20} \mu\text{s}$  y la  $\frac{10}{350} \mu\text{s}$ .

En este segundo caso, puede notarse que la igualdad de energías específicas correspondería a igualar las energías de los impulsos de corriente sobre una carga resistiva, de valor constante con la tensión y corriente aplicadas, lo cual no es el caso de un DPS, cuya relación corriente-tensión no es lineal.

Es más, según cuál de los dos criterios de igualdad se tome (igualdad de  $Q$  o de  $E_i$ ), un mismo DPS cuya corriente máxima está especificada para una onda  $\frac{10}{350} \mu\text{s}$  (ó  $\frac{10}{1000} \mu\text{s}$ ) alcanzaría o no un desempeño equivalente a

otro DPS cuya corriente máxima está especificada para una onda  $\frac{8}{20} \mu\text{s}$ , en cuanto a soportar una corriente máxima determinada. En la actualidad, esta correlación sigue siendo tema de discusión a nivel normativo.

En este trabajo se intenta llegar a encontrar una correlación basada en la igualdad de energía sobre un DPS bajo ensayo.

Ya que al medir la máxima corriente impulsiva que soporta un DPS, se busca obtener el valor de la máxima energía que puede absorber sin destruirse, se hará inicialmente un análisis simplificado para evaluar la energía absorbida por el dispositivo ante un pulso de corriente de duración variable.

## 2 Análisis de la energía absorbida por el DPS

Tal como se indicó anteriormente, la energía que es capaz de absorber un DPS sin destruirse, está caracterizada por el tiempo  $t_2$  en que la onda impulsiva aplicada decrece hasta alcanzar la mitad de su valor máximo.

Teniendo en cuenta que las diferentes formas de onda, asociadas a ecuaciones como (1), son el resultado de análisis de modelos probabilísticos, el desarrollo de expresiones matemáticas que las involucren sólo mostrarán desarrollos complejos que pueden llegar a enmascarar conclusiones simples a las que se puede llegar analizando formas matemáticas más sencillas, caracterizadas también por el tiempo  $t_2$ , que es el parámetro donde se debe centrar la atención. Es decir, eligiendo una forma simple como un impulso rectangular, no sólo se simplificará cualitativamente el análisis, sino que mostrará, comparando con los resultados obtenidos en un análisis completo utilizando la simulación mediante computadora, que los resultados alcanzados son similares y dependerán siempre del tiempo  $t_2$  con que se caracteriza la duración de la onda impulsiva.

Si se aplican sobre un DPS de característica  $I-V$  conocida, figura 3, un pulso de corriente  $I = I_1$  de  $20 \mu\text{s}$  de duración, alcanzará un valor de sobretensión  $V = V_1$  dada por su curva característica. La energía  $E(20)$  entregada al DPS por el impulso de corriente se obtendrá mediante (2),

$$E(20) = \int_t^{t+20 \mu\text{s}} V_1 I dt = V_1 I_1 20 \mu\text{s}. \quad (2)$$

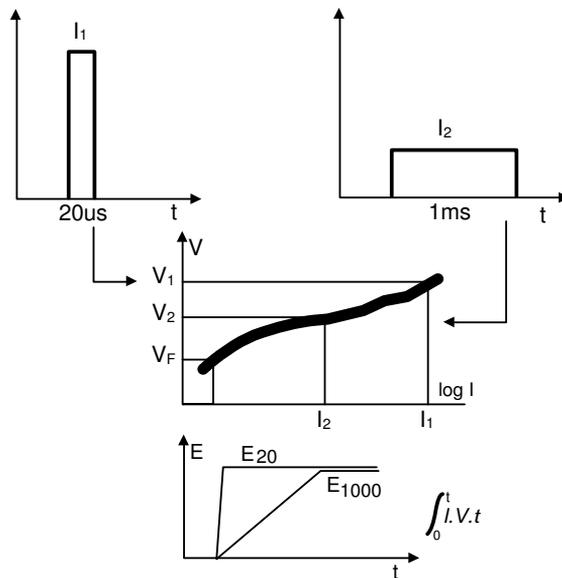
Por otro lado, si se aplican sobre el mismo DPS un pulso de corriente  $I = I_2$  de 1 ms (1000  $\mu\text{s}$ ) de duración, de acuerdo a su característica  $I-V$ , el DPS alcanzará un valor de sobretensión  $V = V_2$ , menor a  $V_1$ . La energía  $E(1000)$  entregada al DPS se obtendrá mediante (3),

$$E(1000) = \int_t^{t+1 \text{ ms}} V_2 I dt = V_2 I_2 1000 \mu\text{s}. \quad (3)$$

Si la energía entregada al DPS es la misma en ambos casos, o sea (2) = (3),

$$V_1 I_1 = 50 V_2 I_2. \quad (4)$$

Admitiendo que  $I_1$  es el máximo impulso de corriente de 20  $\mu\text{s}$  de duración que puede soportar el DPS, el valor alcanzado de  $V_1$  será en general aproximadamente tres veces la tensión máxima de funcionamiento para el cual se utiliza dicho DPS, figura 3.



**Figura 3:** energía absorbida por un DPS de característica  $I-V$  conocida ante pulsos de corriente

$$V_1 \cong 3V_f. \quad (5)$$

La relación (5) es típica en varistores de óxido de zinc, tal como se observa en la figura 4. Cabe aclarar que el hecho de que la tensión en el DPS, para el impulso de corriente máxima que puede soportar, llegue a superar en tres veces la de funcionamiento (ocurre algo similar en los descargadores gaseosos, donde se caracteriza una sobretensión impulsiva varias veces superior a la tensión limitadora especificada para corriente continua), es la causa de que la protección de equipos electrónicos muy sensibles deba realizarse en dos etapas de DPS: una con varistores o descargadores gaseosos que absorban la mayor parte de la energía del impulso de corriente (protección gruesa), y otra (acoplada mediante resistores o inductores) con diodos zener, que absorban la pequeña porción restante de energía (protección fina), manteniendo la tensión de entrada del equipo a proteger lo más cercana a la de su funcionamiento normal.

Volviendo al análisis del DPS de la figura (3), puede observarse que, para lograr entregar igual energía, si bien  $I_2 < I_1$ ,  $I_2$  será suficientemente grande como para obtener una  $V_2$  superior a  $V_f$ , pero inferior a  $V_1$ ,

$$V_f < V_2 < V_1. \quad (6)$$

Reemplazando (5) en (4) y teniendo en cuenta (6), se obtiene (7),

$$I_2 \cong \frac{kI_1}{50}. \quad (7)$$

Donde  $k = \frac{V_1}{V_2}$  y de acuerdo a lo dicho,  $1 < k < 3$ . Es decir, resulta (8),

$$\frac{I_1}{50} < I_2 < \frac{I_1}{15}. \quad (8)$$

O sea que,  $I_2 = I_{(1000 \mu s)}$  será entre 15 y 50 veces inferior a  $I_1 = I_{(20 \mu s)}$  para entregar la misma energía al DPS bajo estudio.

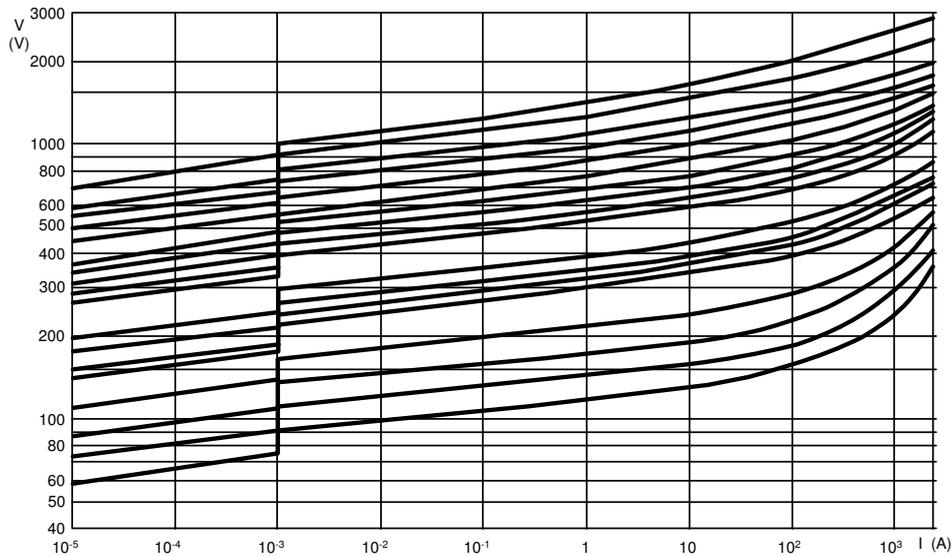
Haciendo igual análisis para un pulso de corriente  $I = I_3$  de  $350 \mu s$  de duración, se alcanzan los valores resumidos en la tabla 1.

**Tabla 1:** relación entre pulsos de corriente para igual energía absorbida por el DPS

Pulso	Relación aproximada con el pulso de 20 $\mu\text{s}$	
1000 $\mu\text{s}$ e $I = I_2$	$I_2 \cong \frac{kI_1}{50}$	$\frac{I_1}{50} < I_2 < \frac{I_1}{15}$
350 $\mu\text{s}$ e $I = I_3$	$I_3 \cong \frac{kI_1}{17}$	$\frac{I_1}{17} < I_2 < \frac{I_1}{6}$

Por ejemplo, observando en la figura 4 las características  $I-V$  típicas de varistores de óxido de zinc [4] para distintas tensiones de funcionamiento  $V_f$ , se tendrá que, para un rango de valores de  $I_{(1000 \mu\text{s})}$  ó  $I_{(350 \mu\text{s})}$  como los indicados en la tabla 1, se cumple aproximadamente la relación  $V_1 \cong 1,5V_2$ . Por lo tanto

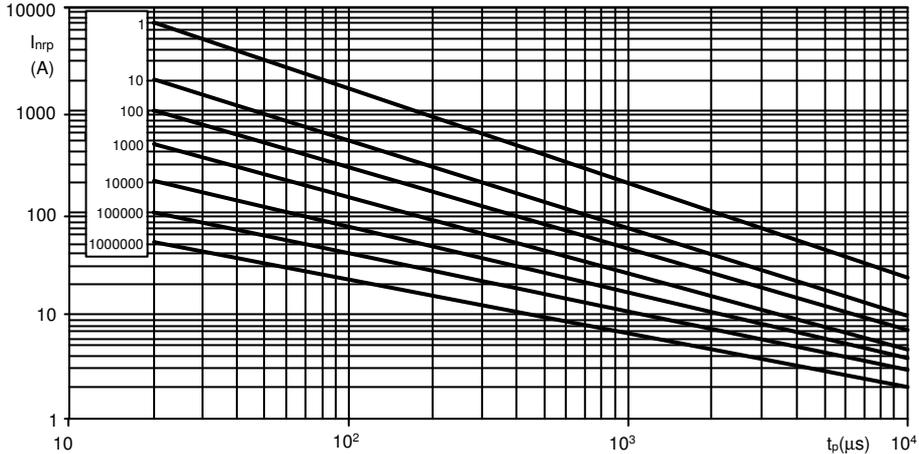
$$I_{(20 \mu\text{s})} \cong 30I_{(1000 \mu\text{s})} \cong 10I_{(350 \mu\text{s})} . \tag{9}$$



**Figura 4:** características  $I-V$  de varistores de óxido de zinc

Estas relaciones, obtenidas en forma simple, pueden verificarse aproximadamente en las características  $I = f(\Delta t)$  de los varistores para distinto número de impulsos de la figura 5. A similar resultado se llega analizando el

comportamiento de diodos zener, si bien su capacidad de absorción de energía es mucho menor a las del varistor y es utilizado casi exclusivamente en configuraciones de DPS de dos etapas como una segunda etapa o protección fina, tal como se aclaró anteriormente.

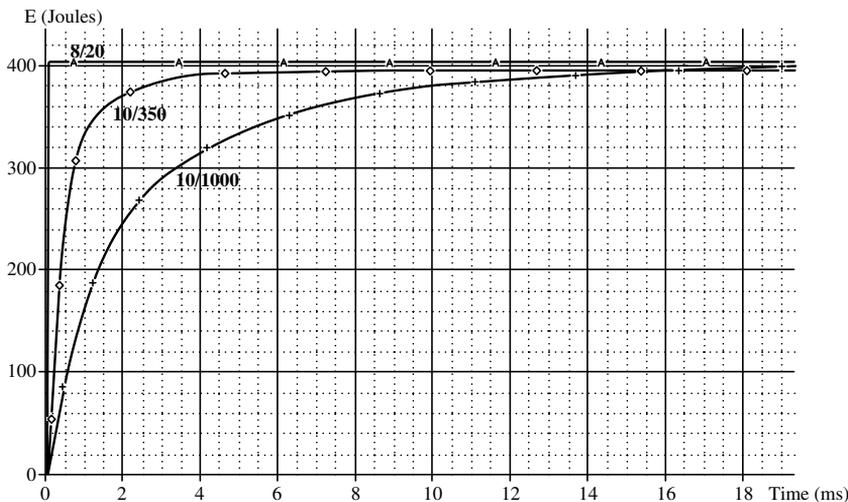


**Figura 5:** características  $I = f(\Delta t)$  para distinto número de impulsos en varistores de óxido de zinc

### 3 Simulación mediante PSpice

Utilizando el programa PSpice [5], se obtuvo, en primera instancia, la respuesta a la aplicación de un impulso de corriente, de un DPS formado por varistores de óxido de zinc para funcionamiento en 220 V(ca), con una capacidad de corriente de descarga  $I_m \left( \frac{8}{20} \mu s \right) = 20$  kA. Para ello se utilizaron modelos para simulación de varistores, adecuándolos a los datos de los parámetros del DPS [6, 7].

Se aplicaron distintos impulsos, variando el valor máximo de corriente de ondas  $\frac{10}{350} \mu s$  y  $\frac{10}{1000} \mu s$  hasta obtener una energía absorbida por el DPS aproximadamente igual que en el caso de aplicar  $I_m \left( \frac{8}{20} \mu s \right) \cong 20$  kA [8, 9, 10].



**Figura 6:** simulación de la energía absorbida por el DPS para distintas ondas impulsivas de corriente

El resultado final, mostrado en la figura 6, se obtuvo para la relación de corrientes (10)

$$I_{\left(\frac{8}{20}\right)} \cong 28I_{\left(\frac{10}{1000}\right)} \cong 11I_{\left(\frac{10}{350}\right)}. \tag{10}$$

Mediante el simulador PSpice se obtiene la energía resolviendo las ecuaciones completas, alcanzándose un resultado (10) similar al obtenido en (9), donde se realizó un análisis simple con pulsos rectangulares. Por esto, queda demostrado el hecho de que el parámetro  $t_2$  (y obviamente la  $I_m$  correspondiente) es el que determina la capacidad de absorción de energía del DPS, por sobre la forma exacta de la onda impulsiva.

Posteriormente se realizó la misma simulación, utilizando en este caso el modelo de un DPS conformado por un varistor de óxido de zinc para funcionamiento en 35 V(ca), con una capacidad de corriente de descarga  $I_m \left(\frac{8}{20} \mu\text{s}\right) = 2$  kA. El resultado final, con curvas de energía de igual forma que las mostradas en la figura 6, se obtuvo para una relación de corrientes similar a la obtenida en (10).

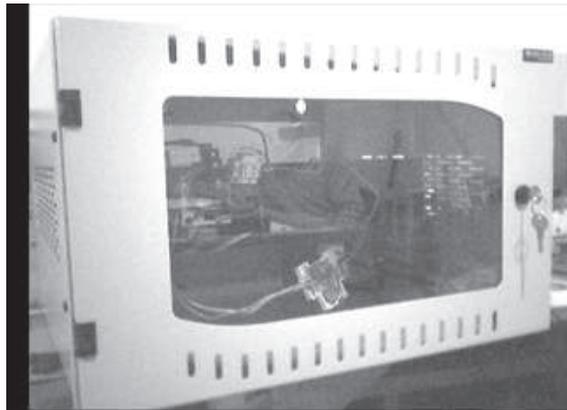
## 4 Medición mediante generador de impulsos de corriente

Se realizaron varias mediciones, con el fin de verificar las expresiones de la tabla 1 y en particular, la relación aproximada (9).

Se aplicó un impulso de corriente  $\frac{10}{1000} \mu s$  sobre distintas muestras de DPS:

- **Grupo de DPS1:** formado por varistores de óxido de zinc para funcionamiento en 220 V(ca) con capacidad de descarga  $I_m \left( \frac{8}{20} \mu s \right) = 20$  kA.
- **Grupo de DPS2:** formado por un descargador gaseoso (tubo de descarga gaseosa) de 90 V con capacidad de descarga de un impulso de  $I_m \left( \frac{8}{20} \mu s \right) = 10$  kA.

Se utilizó un generador de impulso de corriente, GIC2000, que se muestra en la figura 7, el cual entrega una corriente en cortocircuito  $I_s \left( \frac{10}{1000} \mu s \right)$  de 1 kA y una tensión a circuito abierto  $V_o \left( \frac{1.5}{3000} \mu s \right)$  de 2 kV.



**Figura 7:** GIC2000

Mediante un osciloscopio digital se llevó registro de la tensión entre terminales y la corriente circulante a través del DPS a cada impulso de corriente aplicado, figura 8. Se aplicaron a cada DPS un total de diez impulsos de corriente con un tiempo de un minuto entre impulsos sucesivos.

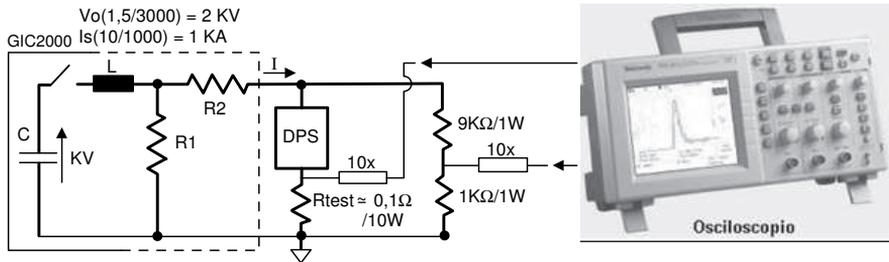


Figura 8: Esquema de medición de los DPS

Previamente, y posteriormente a la aplicación del grupo de impulsos, se observó el comportamiento de cada DPS en condiciones de tensión de funcionamiento,  $V_f$ , midiéndose la corriente de fuga para verificar si se había modificado su estado una vez realizado el ensayo.

En la tabla 2 se indican los ensayos realizados sobre las muestras de DPS del tipo DPS1 y DPS2, que verifican aproximadamente la relación (9).

Se agregaron a los ensayos anteriores las siguientes muestras:

- **Grupo de DPS3:** formado por un varistor de óxido de zinc en encapsulado de disco de 10 mm, para funcionamiento en 220 V(ca) y de capacidad de descarga  $I_m \left( \frac{8}{20} \mu s \right) = 2,5$  kA, con el fin de analizar un caso en que se verifique la relación (9) a partir de no cumplirla, es decir, de la destrucción del dispositivo.
- **Grupo de DPS4:** formado por un varistor de óxido de zinc para funcionamiento en 35 V(ca) y con una  $I_m \left( \frac{8}{20} \mu s \right) = 2$  kA.
- **Grupo de DPS5:** formado por dos varistores de óxido de zinc de 20 mm, para funcionamiento en 14 V(ca) y con una  $I_m \left( \frac{8}{20} \mu s \right) = 4$  kA.

Los resultados de la medición, que también se indican en la tabla 2, verifican la relación aproximada obtenida en (9). Es decir, los resultados obtenidos, tanto teóricamente como a partir de los modelos matemáticos para simulación, resultan aceptables en cuanto a la relación de corrientes y de acuerdo con estos resultados, sería factible considerar como relaciones válidas las dadas en (9) para uso práctico.

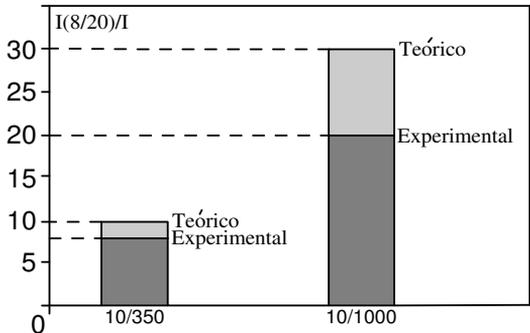
**Tabla 2:** resultados de las mediciones

DPS	$I_m$ medida	N° de impulsos	$\frac{I(\frac{8}{20})}{I(\frac{10}{1000})}$	Resultado	Conclusión
1	700 A	10	28	sin modificaciones	DPS1 puede soportar $I(\frac{10}{1000}) > \frac{I(\frac{8}{20})}{30}$
2	500 A	10	20	sin modificaciones	DPS2 puede soportar $I(\frac{10}{1000}) > \frac{I(\frac{8}{20})}{20}$
3	200 A	1	12	destrucción	DPS3 no soporta $I(\frac{10}{1000}) > \frac{I(\frac{8}{20})}{12}$
4	100 A	10	20	sin modificaciones	DPS4 puede soportar $I(\frac{10}{1000}) > \frac{I(\frac{8}{20})}{20}$
5	200 A	10	20	sin modificaciones	DPS5 puede soportar $I(\frac{10}{1000}) > \frac{I(\frac{8}{20})}{20}$

Como un ensayo final auxiliar de verificación, se modificaron los resistores R1 y R2 del GIC2000, indicados en la figura 8 de modo tal de acercar su funcionamiento a un generador cuya corriente de cortocircuito sea del tipo  $\frac{10}{350} \mu s$ . Aplicando sobre el DPS5 diez impulsos con  $I_m = 500A$ , es decir  $\frac{I(\frac{8}{20})}{I(\frac{10}{350})} = 8$ , no se obtuvo modificación alguna sobre el valor de la corriente de fuga del DPS una vez terminado el ensayo. Cabe aclarar que estas modificaciones en R1 y R2, no se aplicaron para ensayar los DPS de mayor tensión de funcionamiento y mayor capacidad de corriente, dado que para generar una onda  $\frac{10}{350}$  para estos dispositivos se necesitarían tensiones en vacío del generador, superior a los 2 kV máximos que entrega este equipo, tal como se expuso en la introducción de este trabajo.

### 5 Conclusiones

Puede obtenerse una correlación aproximada entre las distintas formas de impulso de corriente de ensayo aplicadas sobre un DPS para evaluar su capacidad de protección contra sobretensiones transitorias, a partir de igualar la energía absorbida por el dispositivo ante la aplicación de cada forma de impulso de corriente. Teniendo en cuenta esta premisa, se verifica teóricamente, por simulación y medición como estimación conservativa, la relación obtenida en la expresión (9): una relación de 30 a 1 entre las corrientes máximas de las formas de onda  $\frac{8}{20}$  y  $\frac{10}{1000}$  y como consecuencia inmediata de esta forma de análisis, una relación 10 a 1 entre las corrientes máximas de las formas de onda  $\frac{8}{20}$  y  $\frac{10}{350}$  (corroborada mediante el ensayo auxiliar realizado en el ítem 4), figura 9.



**Figura 9:** relación entre las  $I_m$  de ondas de ensayo respecto de la  $I_m(\frac{8}{20})$ : valor teórico conservativo y valor obtenido experimentalmente sin registrar cambios en el comportamiento del DPS

Es decir, la relación entre las distintas formas de impulso de corriente no pueden obtenerse sin considerar el dispositivo sobre el cual se la está aplicando, el que presentará una impedancia diferente de acuerdo al nivel de corriente aplicado.

La conclusión de una estimación conservativa queda puesta en evidencia en los casos 2, 4 y 5, donde los DPS soportaron diez impulsos consecutivos de onda  $\frac{10}{1000}$  con una corriente máxima 20 veces menor a la indicada para un único impulso  $\frac{8}{20}$ , habiéndose estimado previamente una relación de 30 a 1, e

incluso para la prueba auxiliar sobre el DPS5, que soportó diez impulsos de onda  $\frac{10}{350}$  con una corriente ocho veces menor a la indicada para un impulso  $\frac{8}{20}$ , habiéndose estimado previamente una relación 10 a 1.

Las conclusiones alcanzadas, pueden servir como referencia para futuras discusiones a nivel normativo, en cuanto a la definición de los parámetros a tener en cuenta en los generadores de ondas impulsivas a utilizar para ensayar el comportamiento de los DPS. Mas aún, podrían ser ampliadas, realizando ensayos utilizando generadores de diferentes tipos de ondas impulsivas con distintos niveles de corriente máxima y de esta forma llegar a resultados generales concensuados, que permitan utilizar una u otra forma de onda de ensayo en forma indistinta, de acuerdo con las necesidades.

## Referencias

- [1] IEC-61643. *Low-Voltage Surge Protective Devices*, 2002. Referenciado en 114
- [2] IEEE Std 62.41.2. *Recommended Practice on Characterization of Surge in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits*, 2002. Referenciado en 114
- [3] IEC 61312-1. *Protection against the lightning electromagnetic impulse (LEMP)*, 1995. Referenciado en 115
- [4] *Littelfuse*. <http://www.littelfuse.com/cgi-bin/r.cgi/index.html>, 2005. Referenciado en 120
- [5] *Cadence Design Systems*. <http://www.cadence.com/orcad/index.html>, 2007. Referenciado en 121
- [6] Julio G. Zola. *Simple model of metal oxide varistor for Pspice Simulation*. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, ISSN 0278-0070. **23**(10), 1491-1494 (October 2004). Referenciado en 121
- [7] Eduardo Mariani, Claudia Piaggio and Julio Zola. *Modelling the TT low voltage distribution system in rural zones of Argentina under the effect of lightning*. IX International Symposium on Lightning Protection, Foz do Iguazu, 26-30 (November 2007). Referenciado en 121
- [8] Ronald B. Standler. *Equations for some transient overvoltage test waveforms*. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, ISSN 0018-9375, **30**(1), 69-71 (February 1988). Referenciado en 121

- [9] Roger A. McConnell. *Amplitude and energy spectra of transient test waveforms*. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, ISSN 0-7803-6569-0, **1**, 243-248 (August 2001). Referenciado en 121
- [10] [10] Charles Fenimore and Francois D. Martzloff. *Validating surge test standards by field experience: High energy tests and varistor performance*. IEEE Transactions on Industry Applications, ISSN 0093-9994. **28**(6), 1234-1241 (1992). Referenciado en 121