



Metodología para determinar la respuesta de los descargadores gaseosos tripolares ante una tensión de impulso dinámico

José A. Martínez
Dennis Yanes
Yadiel Riguera
Reynier García

Recibido: octubre del 2005
Aprobado diciembre del 2005

Resumen / Abstract

Las protecciones utilizadas contra las sobretensiones y sus efectos secundarios provocados por los fenómenos electroatmosféricos, son de vital importancia en un mundo en el que por su desarrollo tecnológico, se requiere de protecciones con un alto nivel de fiabilidad. En este artículo se presenta una metodología para la ejecución del ensayo de tensión de impulso dinámico a descargadores gaseosos tripolares que son utilizados para proteger las tarjetas de abonados contra sobretensiones, las cuales se instalan en las plantas telefónicas del país. Dicha metodología se dirige a obtener y comprobar los valores de tensión de corte y sus tolerancias con los especificados por el fabricante. Se realiza un estudio comparativo del comportamiento entre un grupo de descargadores nuevos y otro sin usar, a partir de una problemática concreta, con el valor de ruptura de corte dado por un fabricante y ante la aplicación de tensión de impulso dinámico. El análisis comparativo se lleva a cabo mediante la técnica estadística de detección de diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de ruptura obtenidos. Palabras clave: descargadores gaseosos tripolares, tensión de ruptura

The protection used against the overvoltage and their secondary effect produced by electro-atmospheric phenomena, results very important due to worldwide technologic development, therefore a protection with a high reliability level are required. This paper presents a methodology for carrying out the dynamic impulse voltage test to tripolar gaseous discharges that are used to protect the subscribers' cards against overvoltages, which are installed in the telephonic plant of the country. This methodology permits to obtain and check the disrupt voltage values and this tolerances in reference to the specified by the manufacturer. It is perform a comparative study of the behavior between a group of not used discharges and other used, based in an actual doubtful, with the specified by the manufacturer and when dynamic impulse voltages are applied. The comparative analysis is carried out by means of the statistic technique of the detection of significative statistically differences between the disruptive mean values obtained.

Key words: tripolar gaseous discharges, disruptive voltage

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta el elevado número de fallas observadas en las tarjetas telefónicas de abonados se plantea realizar un estudio con el fin de determinar

las posibles causas que provoca el inadecuado funcionamiento de las protecciones utilizadas en las mismas. La consecuencia inmediata de la ineficacia de tales protecciones, se refleja en las considerables

pérdidas económicas causadas a la empresa de Telecomunicaciones ETECSA, que solo en el período junio-noviembre de 2003, ascendieron a 999 719,34 USD,¹ y al negativo impacto en la sociedad por la interrupción del servicio telefónico a miles de clientes, tanto privados como estatales, teniéndose un total de 1 061,24 h en igual período.

EVALUACIÓN DEL PROBLEMA

A partir de las consideraciones aportadas por los ejecutivos técnicos de la empresa ETECSA, así como por la evaluación preliminar realizada por los especialistas del Laboratorio de Alta Tensión del Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), se identificaron dos posibles aspectos fundamentales que pudieran estar afectando la correcta operación de las protecciones asociadas a dichas tarjetas. Un primer aspecto está dirigido a verificar el funcionamiento de los descargadores gaseosos de tres electrodos como protección primaria. Un segundo aspecto que se estima que pudiera estar influyendo, es la inadecuada coordinación de operación entre los descargadores gaseosos y la red de protección secundaria constituida por resistencias y varistores.

El trabajo de investigación realizado se concentró en el primer aspecto, al obtenerse los valores de descarga a partir del ensayo de tensión de cebado dinámico uno de los parámetros técnicos especificados por el fabricante, siendo esta la variable experimental a estudiar. Dicha variable es considerada como dependiente, pues se encuentra afectada por diferentes factores como la temperatura. Para ello se implementó una metodología de ensayo la cual se puso a consideración mediante su aplicación a una problemática real.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Planteamiento de las hipótesis experimentales

Para llevar a cabo un análisis experimental confiable debe garantizarse, en primer lugar, la aleatoriedad con la que deben ensayarse los descargadores, de modo que, el efecto de cualquier factor que pueda surgir imprevistamente se presente con la misma probabilidad de ocurrencia sobre cualquier descargador.

Básicamente el análisis experimental se sustenta en la verificación de hipótesis, las cuales están asociadas con los métodos estadísticos a aplicar. En este caso se emplea el estadístico de Fisher para determinar la existencia o no, de diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de ruptura obtenidos para cada descargador.² Se plantean las siguientes hipótesis:

H_0 : No existen diferencias significativas entre los valores medios de ruptura.

H_1 : Existen diferencias significativas entre los valores medios de ruptura.

El nivel de significación (α) escogido para contrastar tales hipótesis fue de 0,05, por lo que las discrepancias con probabilidad de ocurrencia iguales o menores caerán en la región de rechazo y por tanto se producirá el rechazo de H_0 , por lo que se dice que se ha producido una diferencia estadísticamente significativa.

En todos los casos no se apreciaron grandes variaciones de los parámetros: presión, humedad y temperatura, al final y al inicio de cada ensayo.

Trabajo experimental

Se procede a revisar las normas que rigen los ensayos de comprobación del estado técnico del dispositivo en estudio, determinándose aplicar las normas de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones)^{3,4} siguientes:

- K 12: Características de los descargadores de gas para la protección de las instalaciones de telecomunicaciones.
- K 20: Inmunidad del equipo de telecomunicación instalado en un centro de telecomunicaciones contra las sobretensiones y sobrecorrientes. Además de tenerse en cuenta los requerimientos generales normalizados durante los ensayos con alta tensión,⁵⁻⁷ así como los criterios especificados por los fabricantes.

Entre el equipamiento utilizado para la realización de los ensayos de laboratorio pueden mencionarse un osciloscopio marca Hameg de memoria 40 MHz, generador de alta tensión (SIP 10) con forma de onda tipo rayo e instrumentos para la mediciones de variables ambientales.

Metodología de ensayo aplicada

1. Determinación del tamaño muestral y la selección aleatoria de los descargadores a ensayar.
2. Numeración de cada descargador y selección aleatoria del orden en que serán ensayados.
3. Verificación de la forma de onda (1 kV/ μ s) a aplicar.
4. Montaje del descargador a ensayar en el dispositivo de prueba, quedando un terminal de línea desconectado mientras que se aplica la tensión entre terminales de tierra y el otro terminal de línea.
5. Registro de las variables ambientales (temperatura, presión, humedad) antes y después de que cada descargador sea ensayado.
6. Aplicación de diez descargas sucesivas en cada polaridad, garantizando un tiempo mínimo de tres segundos entre las repeticiones de la prueba.

7. Registrar la tensión de corte y el tiempo de operación del dispositivo en cada descarga.
8. Análisis estadístico de los resultados y comparación con lo especificado por el fabricante.

Con el objetivo de organizar el trabajo experimental y tomando en consideración las características de los grupos de descargadores recibidos, se separaron las muestras en dos grupos. En un primer grupo se reunieron aquellos descargadores que ya habían sido utilizados con anterioridad en tarjetas telefónicas, y en el segundo, descargadores nuevos que nunca fueron puestos en operación.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

Después de aplicados los pasos (del 1 al 7) se procedió a realizar los análisis estadísticos, los cuales consistieron en la aplicación del procedimiento estadístico clásico; donde se efectúa, en primer lugar, el análisis exploratorio de los datos muestrales, con el fin de describir sus características generales; posteriormente, se verificó el cumplimiento de las premisas del análisis de varianza. Por último, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) e interpretación estadística y práctica de los resultados.

Análisis estadístico de los resultados experimentales obtenidos de los descargadores nuevos

Exploración de los datos experimentales

Se obtuvieron las llamadas medidas resumen de los datos experimentales de cada descargador. Como estadístico de importancia se destacaron los valores medios de ruptura, pudiéndose apreciar a simple vista diferencias entre los valores de polaridades negativas y positivas.

Una forma de determinar gráficamente la presencia de posibles valores extremos o atípicos dentro de un grupo muestral, resulta al plotear los valores muestrales en un diagrama de caja (*box plot*). Los datos obtenidos en ambas polaridades mostraron diferentes grupos muestrales que presentan al parecer valores atípicos, los cuales podrían afectar adversamente la media muestral. Lo anterior pudiera reflejarse como una alta dispersión de los datos, asimetrías y posibles alejamientos de los grupos muestrales de la distribución normal.

Chequeo de las premisas del ANOVA

Las premisas del ANOVA (aleatoriedad, homogeneidad de la varianza y la normalidad) constituyen los elementos esenciales para poder llevar a cabo el método del análisis de varianza, el cual se

efectúa mediante el estadístico de Fisher. Por tal razón, se verifica su cumplimiento, aunque se reconoce en la literatura estadística que el método de Fisher es potente para determinar la existencia o no de diferencias significativas entre grupos muestrales aunque no se ajusten a la distribución normal.

El criterio para decidir si el estadístico que verifica cada una de las premisas mencionadas es significativo, se tiene cuando su nivel de significación (Sig) es mayor que el nivel significación del error ($\alpha = 0,05$).

La aleatoriedad se verifica si se observa que los niveles de significación (Sig) de cada grupo muestral son superiores a α , en este caso se detecta en todos los grupos una distribución aleatoria de los datos muestrales, cumpliéndose así la principal premisa. El análisis de homogeneidad de la varianza indica el comportamiento del factor o factores que inciden en la dispersión o variabilidad de la variable dependiente (tensión de ruptura dinámica); chequea si es el mismo o los mismos, los que influyen de igual manera para cada grupo muestral, es decir, sus varianzas no diferirán apreciablemente, por lo que se podrán considerar homogéneas. La prueba aplicada consiste en comprobar la existencia de dicha homogeneidad.

En la tabla 1 se observa que los grupos muestrales de polaridad positiva agrupados en (DESCPOS), no cumplen con la homogeneidad de la varianza. Por otra parte, los grupos de la polaridad negativa agrupados en (DESCNEG) cumplen con la homogeneidad de la varianza, ya que (Sig = 0,902) valor mayor que α .

En la tabla 2 se muestran los resultados del análisis de normalidad, donde los grupos muestrales de polaridad positiva agrupados en (DESCPOS) resultan en un nivel de significación (Sig = 0,054) mayor que, por lo que los datos pueden ser descritos por una distribución normal.

Tabla 1
Homogeneidad de la varianza. Descargadores nuevos

Prueba de levene	Nivel estadístico	DF1	DF2	Sig
DESCPOS	2,967	9	190	0,003
DESCNEG	0,456	9	190	0,902

Pero no ocurre igual para los grupos de polaridad negativa, se tiene que el nivel de significación ($\text{Sig} = 0,00$) es menor que α , concluyéndose que los datos no pueden ser descritos mediante una distribución normal.

Depuración de los datos obtenidos. Polaridad positiva

En el caso de los datos positivos no se obtuvo homogeneidad de la varianza, siendo esta una importante premisa a cumplir. Como ya se había indicado en la exploración de los datos, la existencia de posibles valores extremos puede traer como consecuencia una alta dispersión, cuestión que se confirma con los resultados de la prueba de homogeneidad.

Se realiza la depuración de los datos, consistiendo en la eliminación de aquellos valores que por su grado de dispersión o alejamiento respecto a la media muestral, resultan ser valores extremos o atípicos.

Para ello se recurrió a la aplicación de métodos estadísticos como el de coeficiente de apuntamiento como estadístico de comparación, con el fin de determinar si tales valores realmente son atípicos dentro de su grupo muestral.

Tabla 2 Normalidad. Prueba de Kolmogorov-Smirnov. Descargadores nuevos		
Prueba de normalidad	DESCPOS	DESCNEG
N (total de datos)	200	200
Parámetros normales		
Media	871,82	955,74
Desviación estándar	57,02	51,91
Diferencia extrema absoluta	0,10	0,14
Diferencias		
Positiva	0,07	0,06
Negativa	-0,10	-0,14
Kolmogorov-Smirnov Z	1,35	1,95
Sig.	0,054	0,001

Luego de volver a aplicar las pruebas de homogeneidad y normalidad se obtuvieron los resultados siguientes.

Polaridad positiva:

- Homogeneidad de la varianza ($\text{Sig} = 0,051$) valor mayor que α .
- Ajuste a la distribución normal ($\text{Sig} = 0,104$) valor mayor que α .

Análisis de varianza (ANOVA)

De este análisis y como se muestra en la tabla 3, para los descargadores probados bajo la polaridad positiva, se tiene un grado de significación ($\text{Sig}=0,011$) menor que α , por lo que se rechaza la hipótesis H_0 . Se comprueba así, la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios muestrales, aceptándose entonces la hipótesis H_1 .

Una vez comprobada la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de descarga, se realiza otro análisis donde se localizan tales diferencias. Con este fin se aplica en método REGWF, detectándose dos grupos de valores medios con un 95 % de probabilidad, aceptados para la investigación. Los resultados se presentan en la tabla 4.

La tabla 5 muestra el resultado del ANOVA para los descargadores ensayados bajo la polaridad negativa. En este caso se acepta la hipótesis H_0 puesto que el nivel de significación ($\text{Sig} = 0,309$) es mayor que α y por lo tanto, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios muestrales.

Este resultado se corrobora con la aplicación del método de REGWF (tabla 6), en los cuales se obtiene un solo grupo muestral con un 95 % de probabilidad.

Tabla 3 Análisis de varianza de los descargadores ensayados bajo la polaridad positiva (ANOVA)					
Polaridad Positiva	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	Sig
Entre grupos	57 117,957	9	6 346,440	2,463	0,011
Dentro de grupos	474 023,992	184	2 576,217		
Total	531 141,950	193			

Tabla 4
Método de REGWF de los descargadores ensayados bajo polaridad positiva

CODPOS 2		Subgrupo para $\alpha = 0,05$		
REGWF	N	1	2	3
4,00	17	839,1680		
1,00	20	855,0663	855,0663	
10,00	20	863,7530	863,7530	
3,00	20	872,6856	872,6856	
7,00	20	873,5870	873,5870	
9,00	20	875,2260	875,2260	
6,00	17	875,8045	875,8045	
5,00	20	876,7011	876,7011	
8,00	20	895,5496	895,5496	
2,00	20		903,7446	
Sig.		0,82	0,101	

Tabla 5
Análisis de varianza de los descargadores ensayados bajo la polaridad negativa (ANOVA)

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadro medio	F	Sig
Entre grupos	28 402, 808	9	3 155,868	1,181	0,309
Dentro de grupos	507 872,5	190	2 673,013		
Total	536 275,3	199			

Tabla 6
Método de REGWF de los descargadores ensayados bajo la polaridad negativa

		Subgrupo para $\alpha = 0,05$
Código	N	1
4,00	20	939,9665
3,00	20	945,0474
8,00	20	946,0308
1,00	20	947,8337
5,00	20	952,4229
10,00	20	952,7507
2,00	20	955,8648
7,00	20	967,6656
6,00	20	973,8119
9,00	20	976,0245
Sig.		0,309

Análisis de la potencia

Es posible obtener la potencia de la prueba de Fisher cuando se acepta H_0 , lo que es igual a cuantificar el riesgo de cometer el error tipo II, a partir del valor de probabilidad de detectar diferencias entre las variables que se comparan. En este caso la significación de la potencia observada (0,573) superior al nivel de significación de α . Se confirma la aceptación de H_0 (tabla 7).

Análisis de los resultados experimentales obtenidos de los descargadores usados

En este caso se sigue el mismo procedimiento del análisis anterior. La exploración de los datos experimentales verifica diferencias entre los valores de ruptura de polaridades negativas y positivas, además de la posible presencia de valores atípicos en diferentes grupos y en ambas polaridades. En consecuencia, se realiza la depuración de los datos y posteriormente se chequean las premisas resultando lo siguiente:

Aleatoriedad:

El nivel de significación (Sig) de cada grupo muestral es superior a α , por lo que puede concluirse que en todos los grupos, los datos muestrales se distribuyen aleatoriamente, cumpliéndose así la principal premisa.

Homogeneidad de la varianza:

- Polaridad positiva (Sig = 0,145) es mayor que α cumple la premisa.
- Polaridad negativa (Sig = 0,093) es mayor que α cumple la premisa.

Normalidad:

- Polaridad positiva (Sig = 0,148) es mayor que α cumple la premisa.

- Polaridad negativa (Sig = 0,038) es menor que α no cumple la premisa. Este resultado no afecta la utilización del método de Fisher, ya que este es potente para detectar diferencias significativas entre grupos de muestras que no se ajustan a la distribución normal.

Análisis de varianza (ANOVA)

El resultado de la aplicación del método de Fisher muestra que en ambas polaridades el grado de significación (Sig) del estadístico es menor que, por lo que se rechaza la hipótesis H_0 . En consecuencia, puede afirmarse con un 95 % de probabilidad, que si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de ruptura contrastados.

Siguiendo con el procedimiento al aplicar el método de REGWF, se localizaron a tres y cuatro grupos para las polaridades negativa y positiva respectivamente.

Debe decirse que los resultados obtenidos en el análisis estadístico llevado a cabo, caracterizan solamente a la muestra de descargadores sometidos a ensayo.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES CON LO ESPECIFICADO POR EL FABRICANTE

En la tabla 8 se presentan las cotas mínimas (-) de la tensión de descarga dinámica (media menos desviación estándar) obtenida de los resultados experimentales para los descargadores usados y sin usar y en ambas polaridades, el criterio del fabricante con su tolerancia y lo indicado por la norma aplicada.

En todos los casos los valores medios de descarga (tabla 9) son superiores al valor medio indicado por el fabricante incluyendo su (cota +) y al de la norma (700 V), aunque si se analizan los valores de la (cota -) respecto a la (cota +) del fabricante, existen tres valores que son inferiores a esta y solo uno superior.

Asimismo, debe observarse que en todos los casos los valores medios de descarga experimentales, son superiores al valor de tensión final (800 V) que es el especificado por la norma para verificar después de aplicar las pruebas de duración; a pesar de que los descargadores no se sometieron a las mismas y solo a ensayo de choque inicial, ya denotan valores que difieren por arriba del valor especificado.

Tabla 7
Análisis de potencia de la prueba de Fisher

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Sig	Potencia observada
Modelo corregido	28 402,808	9	3 155,868	1,181	0,309	0,573
Intercepto	182 688 506,326	1	182 688 506,3	68 345,5	0,000	1,000
Código	28 402,808	9	3 155,868	1,181	0,309	0,573
Error	507 872,490	190	2 673,013			
Total	183 224 781,624	200				
Corregido Total	536 275,298	199				

^acalculado usando $\alpha = 0,05$

Tabla 8
Análisis comparativo

	Desc. sin usar		Desc. usados		Fabricante	Norma K12 (U cebado por choque 1kV/μs)	
	Positiva	Negativa	Positiva	Negativa	<700 ± 20%	Inic	Final
(Cota -)	821,15	903,83	800,1	831,76	840 (cota +)	700 V	800 V

Un análisis a partir de los resultados estadísticos muestra que los descargadores usados y en las dos polaridades, presentan diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de descarga, con la consecuente detección de varios grupos dentro de una misma polaridad.

Lo anterior permite inferir una mayor dispersión de la respuesta de tal grupo de descargadores ante un impulso dinámico de 1 kV/ μ s, respecto al grupo de descargadores sin usar donde para la polaridad positiva solo se observa un grupo y ninguna diferencia para la polaridad negativa. En tal sentido, esto es de esperar en la práctica, y puede deberse a una posible disminución de sus características físicas al estar sometidos a régimen de explotación.

De forma general se requiere de investigaciones más exhaustivas que involucren a otros tipos de ensayos, de modo que se llegue a conclusiones más precisas del porqué los descargadores sometidos a estudio, tienen un alto valor de tensión de descarga ante impulsos dinámicos.

Tabla 9
Resultados experimentales

	Desc. sin usar		Desc. usados	
Estadístico	Positiva	Negativa	Positiva	Negativa
Valores medios	873,612 4	955,7419	861,988 6	899,998 8
D. st	52,459 8	51,912 0	61,891 0	68,240 8

CONCLUSIONES

La obtención de resultados estadísticos acordes con lo que se espera en la práctica entre los grupos de descargadores gaseosos nuevos y usados, el orden de ejecución del trabajo experimental y el aseguramiento de los requisitos del montaje de los electrodos a ensayar, el tiempo de recuperación posdescarga entre otros, permiten considerar lo satisfactorio de la metodología propuesta.

En otro sentido, el empleo de la metodología en una problemática concreta, permitió mediante ensayos comprobatorios realizados a grupos de descargadores gaseosos, detectar el no cumplimiento de los valores especificados por el fabricante con lo normalizado, después de someter a los dispositivos a pruebas de impulso dinámico inicial para verificar su tensión de corte.

REFERENCIAS

1. *Datos de la dirección de técnica de ETECSA*, Ciudad de La Habana, s/f.
2. **Sánchez de Rivera, D. P.:** *Estadística, modelos y métodos 1. Fundamentos*, Alianza Editorial SA, Madrid, 1992.
3. *K 12:2000. Características de los descargadores de gas para la protección de las instalaciones de telecomunicaciones*, s/f.
4. *K 20:2000. Inmunidad del equipo de telecomunicación instalado en un centro de telecomunicaciones contra las sobretensiones y sobrecorrientes*, s/f.
5. *CEI 60-1: 1989, Técnicas de ensayos de alta tensión. Primera parte: Definiciones y prescripciones generales relativas a los ensayos*, s/f.
6. *IEC 60-2. Measuring Devices. Application Guide for Measuring Devices*, s/f.
7. "Recommended Practice on Surge Voltage in Low-Voltage AC Power Circuits", *IEEE Std., C62.41-1999*.

AUTORES

José A. Martínez Barbado

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail: jamb@electrica.cujae.edu.cu

Dennis Yanes

Ingeniero Electricista, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail: dennisyr@tel.etecsca.cu.

Yadiel Riguera Roque

Estudiante de 5to. año de Ingeniería Eléctrica, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba

Reynier García Corbal

Estudiante de 5to. año de Ingeniería Eléctrica, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba

