

Contrastación de esquemas de ensayo en carros cesta

José A. Martínez Miguel A. Ramírez
 Roberto Ugarte Andy Tarrau
 Gualfrido Hernández

Recibido: Abril del 2008
 Aprobado: Mayo del 2008

Resumen / Abstract

La verificación de las condiciones dieléctricas de los dispositivos y equipos utilizados en trabajos con líneas energizadas resulta vital para la seguridad del personal. Los laboratorios de ensayos especializados en este campo tienen la responsabilidad de aplicar métodos y procedimientos normalizados o validados, con el fin de obtener resultados confiables. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio donde se aplicó el método de ensayo de medición de la corriente de filtración en carros cesta, empleando dos esquemas diferentes. Los resultados indican diferencias estadísticamente significativas en los valores de la corriente de filtración entre ambos esquemas para la sección aislante superior y en dos niveles de tensión de ensayo.

Palabras clave: Carro cesta, corriente de filtración, diferencias estadísticamente significativas

Verification of the dielectric conditions of devices and equipments used in works with energized lines is important for the personnel's security. The specialized test laboratories in this field have the responsibility of applying methods and normalized or validated procedures, with the purpose of obtaining reliable results. In this paper there are presented the results of a study where the test method of the leakage current measurement is applied in bucket trucks, using two different schemes. The results indicate statistically significant differences between both schemes in the leakage current values for the superior boom and two test voltage levels.

Key words: Bucket truck, leakage current, statistically significant differences

INTRODUCCIÓN

Los laboratorios de ensayos de alta tensión, como otros, se rigen por el empleo de normas y procedimientos de ensayos donde se especifican los métodos, requisitos y pasos para la ejecución de diferentes pruebas eléctricas.^{1,2} En el caso particular de la comprobación de las características dieléctricas de las partes aislantes de los carros cesta, se tienen las normativas internacionales ANSI/SIA A92.2-1990 Vehicle-Mounted Elevating and Rotating Aerial Devices³ y la CEI 61057: 1996 Elevadores de brazo aislante utilizados para los trabajos en tensión

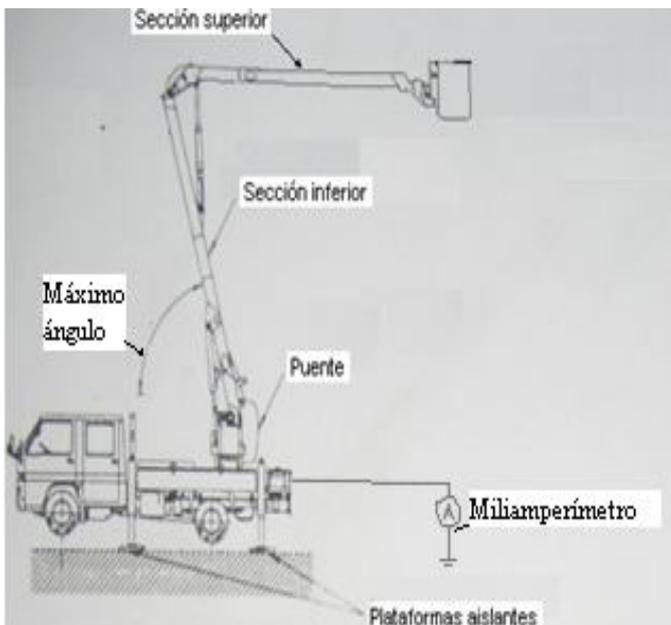
superior a un kilovolt en corriente alterna,⁴ por solo citar dos de las más reconocidas. En ellas se especifican los requerimientos que debe cumplir el aislamiento antes y durante los ensayos, y se describe el método de ensayo. En este sentido, se expresa que el carro tiene que estar a una distancia superior a los 1 500 mm (ANSI/SIA A92.2) respecto a cualquier construcción u objeto y en la CEI 61057, se indica una formulación para la determinación de tal distancia que tiene en cuenta el valor de la tensión de ensayo a aplicar.

La figura 1 muestra una foto donde se puede observar la suficiente distancia existente entre el carro, las paredes y el techo del laboratorio. En ambas normas se indican las posiciones de las secciones aislantes; al tratarse de un carro con sistema articulado, la sección inferior se extiende al máximo y la superior se coloca a 90° con respecto a la inferior, quedando la cesta a una distancia determinada respecto al suelo tal y como se muestra en la figura 2.



Ubicación del carro respecto a las paredes y el techo del laboratorio.

1



Posición para el ensayo de las secciones aislantes inferior y superior.

2

Si bien en la norma CEI, en su anexo C, muestra dos figuras donde se observa que la dirección de entrada de los terminales de ensayo de alta tensión respecto al carro y a su sección aislante superior es perpendicular, en la ANSI no queda claro este detalle. En este último aspecto se centra el trabajo realizado.

En el laboratorio de alta tensión del CIPEL, se ha observado que en dependencia de la dirección de entrada del terminal de ensayo de alta tensión respecto al carro, los resultados de la corriente de filtración medida difieren en magnitud.

El estudio se lleva a cabo sobre carros cesta articulados de categoría C, con sección aislante superior e injerto aislante inferior y tensión nominal de 46 kV.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología en general consta de cuatro partes, las cuales se desarrollan a continuación.

Planteamiento del problema y de las hipótesis

El problema consiste en determinar si existe similitud o no entre las corrientes de filtración (I_f) obtenidas a partir de dos esquemas de ensayo diferentes, de modo que pueda evaluarse en futuros trabajos cuál de los esquemas, refleja con la mayor exactitud posible la corriente de filtración que realmente demanda un carro cesta. La contrastación se realizó mediante las hipótesis:

H_0 : No hay diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de la corriente de filtración obtenida a partir de dos esquemas de ensayos diferentes.

H_1 : Hay diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de la corriente de filtración obtenida a partir de dos esquemas de ensayos diferentes.

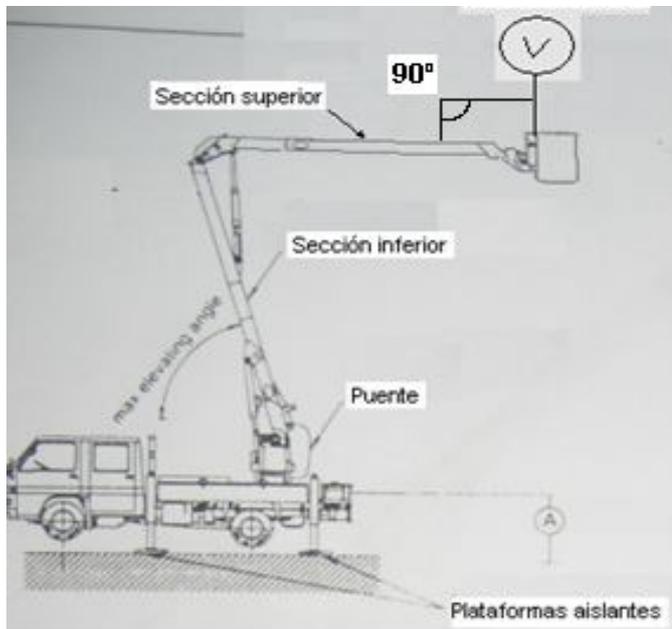
Determinación de los principales factores que influyen sobre la variable dependiente (I_f)

Con el objetivo de lograr la recogida de la información con la mayor homogeneidad de las condiciones durante los ensayos experimentales, así como aumentar la probabilidad de detectar cambios significativos debido a los esquemas de ensayos adoptados y disminuir el error experimental, se realiza un diseño de experimento. En consecuencia se definen los principales factores que influyen sobre la variable dependiente observada. Estos son:

- Variables ambientales.
- Instrumentos de medición.
- Fuente de generación de alta tensión.
- Operadores.
- Esquema de ensayo.

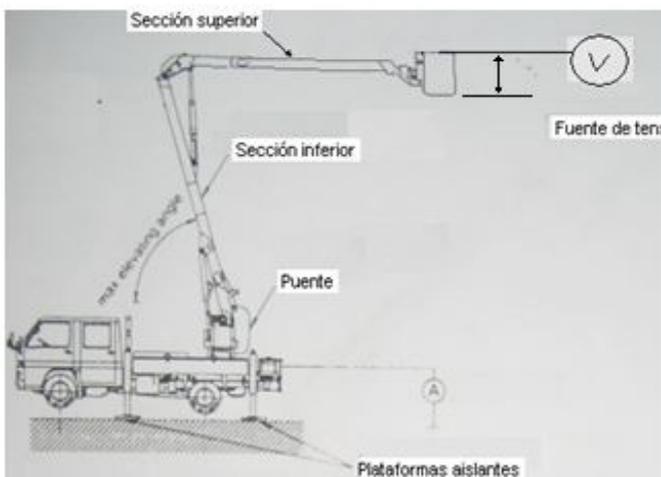
Los cuatro primeros factores son considerados de

efectos fijos, pues durante el desarrollo de los ensayos no cambiaron o lo hicieron muy poco. En el caso de las variables ambientales, la ejecución de los ensayos para los dos esquemas diferentes, se realizaron en un corto tiempo uno del otro, lográndose mantener casi invariables la temperatura y humedad, variables estas que cambian más rápido que la presión atmosférica. El factor esquema de ensayo se varía en dos niveles (esquema perpendicular en figura 3 y esquema paralelo en la figura 4), esta variación de niveles, aplicado sobre cada unidad experimental (carro cesta) escogidos aleatoriamente de una población de carros de igual modelo y fabricante, garantiza la mayor homogeneidad posible entre ellos. Lo anterior permite observar la respuesta de la variable dependiente (I_f) constituyendo esto el principal interés de la contrastación.



Esquema perpendicular.

3



Esquema paralelo.

4

Determinación del tamaño de la muestra y procedimiento experimental

Determinación del tamaño muestral

A partir de conocer que la variable escogida (corriente de filtración) es continua y que la población de carros es finita e igual a $N = 30$, se tiene la siguiente formulación para determinar el tamaño de la muestra.

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot \sigma^2 \cdot N}{d^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \cdot \sigma^2}$$

Además, al fijar un nivel de confianza del 95 % se tiene un $Z_{\alpha} = 1,65$; considerando un error muestral $d = 100 \mu A$ y un valor de la desviación típica poblacional $\delta = 200$ estimada a partir de una muestra piloto. Se obtiene como resultado $n = 9$.

Procedimiento experimental (método de ensayo)

- Selección aleatoria de los carros cesta a ensayar.
- Acondicionamiento de las secciones aislantes y posicionamiento del carro respecto a la fuente de ensayo de alta tensión.
- Aislamiento del carro respecto al suelo.
- Puesta a tierra del chasis a través de un miliamperímetro en serie y con un cable apantallado.
- Registrar los valores de las variables ambientales (temperatura, presión y humedad).
- Colocación de las tensiones de ensayos y medición de la corriente de filtración para el esquema perpendicular.
- Repetir el ensayo desde la segunda viñeta para el esquema paralelo.

Resultados experimentales obtenidos

Análisis estadístico de los resultados

El análisis estadístico efectuado estuvo basado en el análisis de varianza (ANOVA) que tiene como punto de partida la verificación de las premisas de aleatoriedad e independencia de las observaciones, homogeneidad de la varianza y normalidad de la muestra de datos experimentales obtenidos. En todos los casos se cumplieron las premisas.

El análisis de varianza se expresa mediante la aplicación del estadístico de Fisher, el cual permite indagar sobre la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de las corrientes de filtración de los esquemas de ensayos estudiados. Las tablas de la 1 a la 8 muestran los resultados para los cuatro niveles de tensiones de ensayos.

Análisis estadístico para el nivel de tensión de 100 kV. Sección aislante superior

	Esquema perpendicular 100 kV	Esquema paralelo 100 kV
I_f media (μA)	854,67	525,89
Error estándar de la media	18,56	15,55
Mediana	855,00	540,00
Desviación típica	55,69	46,65
Varianza	3 101,25	2 175,86

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Sig
Entre grupos	649 227,18	2	324 613,59	116,27	0,000
Dentro de grupos	67 006,89	24	2 791,954		
Total	716 234,07	26			

gl: Grados de libertad

El resultado que muestra la tabla 2 rechaza la hipótesis H_0 , es decir, se detectan diferencias estadísticamente significativas de los valores medios de corriente de filtración entre los esquemas con un 95 % de confiabilidad. El nivel de significación fijado para el error ($\alpha = 0,05$) es superior a la significación (Sig = 0,0) del estadístico de Fisher (F), que al ser pequeña o nula esta (sig) puede interpretarse como un indicativo de que los resultados probablemente no son debidos a cambios aleatorios, sino, a un efecto sistemático del factor esquema de ensayo que influye de manera consistente sobre la variable dependiente.

La tabla 4 muestra el resultado del estadístico de Fisher para 40 kV, se rechaza la hipótesis H_0 , el nivel de significación fijado para el error ($\alpha = 0,05$) es superior a la significación (sig) del estadístico de Fisher (F). Por tanto, se detectan diferencias estadísticamente significativas de los valores medios de corriente de filtración entre los esquemas con un 95% de confiabilidad.

Análisis estadístico para el nivel de tensión de 40 kV. Sección aislante superior

	Esquema perpendicular 40 kV	Esquema paralelo 40 kV
I_f media (μA)	270,89	186,11
Error estándar de la media	6,49	5,81
Mediana	274,00	189,00
Desviación típica	19,48	17,42
Varianza	379,36	303,61

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Sig
Entre grupos	32 342,72	1	32 342,72	94,71	,00
Dentro de grupos	5 463,78	16	341,49		
Total	37 806,50	17			

Análisis estadístico para el nivel de tensión de 35 kV. Sección aislante inferior

	Esquema perpendicular 35 kV	Esquema paralelo 35 kV
I_f media (μA)	1 148,56	1 131,33
Error estándar de la media	49,81	43,296
Mediana	1126,00	1144,00
Desviación típica	149,43	129,89
Varianza	22 328,53	16 870,75

Tabla 6
Análisis de varianza de nivel de 35kV

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Sig
Entre grupos	1 334,72	1	1 334,72	,068	,79
Dentro de grupos	313 594,22	16	19 599,64		
Total	314 928,94	17			

En este caso ocurre lo contrario que en los niveles de tensión anteriores. La tabla 6 muestra que para 35 kV, no se rechaza la hipótesis H_0 , pues el nivel de significación fijado para el error ($\alpha = 0,05$) es inferior a la significación (sig = 0,79) del estadístico de Fisher (F).

Por tanto, no se detectan diferencias estadísticamente significativas de los valores medios de corriente de filtración entre los esquemas con un 95 % de confiabilidad para este nivel de tensión. Lo anterior lleva a que no se tenga toda la evidencia que permita afirmar que existan diferencias entre los valores de corrientes.

Análisis estadístico para el nivel de tensión de 50 kV. Sección aislante inferior.

Tabla 7
Medidas resumen de las observaciones

	Esquema perpendicular 50 kV	Esquema paralelo 50 kV
I_f media (μA)	1 668,78	1 638,56
Error estándar de la media	63,98	63,6521
Mediana	1 670,00	1 664,00
Desviación típica	191,94	190,96
Varianza	36 840,94	3 6464,28

La tabla 8 muestra que para 50 kV e igual al nivel de tensión anterior, no se rechaza la hipótesis H_0 , pues el nivel de significación fijado para el error ($\alpha = 0,05$) es inferior a la significación (sig = 0,74) del estadístico de Fisher (F). Por tanto, no se detectan diferencias estadísticamente significativas de los valores medios de corriente de filtración entre los esquemas con un 95 % de confiabilidad para este nivel de tensión.

Tabla 8
Análisis de varianza del nivel 50 kV

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Sig
Entre grupos	4 110,22	1	4 110,22	0,112	0,74
Dentro de grupos	586 441,78	16	36 652,61		
Total	590 552,00	17			

CONCLUSIONES

1. A partir de los resultados estadísticos obtenidos en los niveles de tensión de 100 y 40 kV, para la sección aislante superior, se puede expresar que existen diferencias entre los valores medios de las corrientes de filtración para los esquemas estudiados. Queda demostrado que la corriente que demanda un carro cesta durante un ensayo de comprobación de su sistema aislante superior, va a depender de la posición que tenga el carro y de la sección aislante superior respecto a la dirección de entrada del terminal de ensayo de alta tensión. Se observa que en el esquema paralelo se demanda menos corriente respecto al esquema perpendicular. Lo anterior puede deberse a la disminución de la corriente de filtración capacitiva que circula por el aire entre la fuente de alta tensión y las partes metálicas del carro. En tal sentido deben desarrollarse trabajos que profundicen en este esquema paralelo, con el fin de confirmar o no la suposición anterior.

2. Para los niveles de tensión de ensayo de la sección aislante inferior 35 y 50 kV, no se detectan diferencias estadísticamente significativas, por tanto, no se tiene evidencia que niegue la igualdad de estas corrientes para el error muestral escogido. Se recomienda profundizar en estos niveles de tensión con un error muestral (d) menor.

REFERENCIAS

1. CEI 60060-1: 1989, *Técnicas de ensayos de alta tensión. Primera parte: Definiciones y prescripciones generales relativas a los ensayos.*
2. CEI 60060-2: 1994, *Técnicas de ensayos de alta tensión. Segunda parte: Sistemas de medida.*
3. ANSI/SIA A92.2-1990 *Vehicle-Mounted Elevating and Rotating Aerial Devices.*
4. CEI 61057: 1996 *Elevadores de brazo aislante utilizados para los trabajos en tensión superior a 1 kV en corriente alterna.*

AUTORES**José Á. Martínez Barbado**

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas
Investigador Agregado, Centro de Investigaciones y
Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior
Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad
de La Habana, cuba
e-mail:

Roberto Ugarte Berazaín

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica,
Profesor Titular, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José
Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:

Gualfrido Hernández Puentes

Técnico en Sistema Eléctrico Industrial, CIPEL,
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría,
Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:

Miguel Á. Ramírez Moreno

Técnico en Sistema de Energía Eléctrica, CIPEL,
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría,
Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba

Andy Tarrau Frías

Técnico en Electricidad, CIPEL, Instituto Superior
Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad
de La Habana, Cuba

C I E N C I A Y T É C N I C A



PONEMOS
EN SUS
MANOS
REVISTAS
CIENTÍFICAS



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae