

ANÁLISIS DEL ESTADO DE LAS AISLACIONES EN REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA TENSIÓN (13,2 kV y 33 kV) EN LA PROVINCIA DE LA PAMPA PERTENECIENTES A LA ADMINISTRACIÓN PROVINCIAL DE ENERGÍA (A.P.E.).

Alberto Horacio Paesani, Facultad de Ingeniería - UNLPam, paesani@ing.unlpam.edu.ar

Daniel Alberto Mandrile, Facultad de Ingeniería - UNLPam, mandrile@ing.unlpam.edu.ar

Néstor Daniel García, Facultad de Ingeniería –UNLPam, ndgarcia66@gmail.com

Jorge Luis Amigone, Facultad de Ingeniería - UNLPam, amigone@ing.unlpam.edu.ar

Ignacio Zanelli, Facultad de Ingeniería - UNLPam, ingzanelli@gmail.com

Resumen:

El presente trabajo se basa en los resultados de un proyecto de desarrollo realizado en la Facultad de Ingeniería de la UNLPam que consistió en el estudio del comportamiento eléctrico de distintos tipos de aislaciones (porcelana, vidrio templado y material orgánico de distintos compuestos) utilizadas para redes de subtransmisión de energía eléctrica en la provincia de La Pampa, cuya operación y mantenimiento está a cargo de la Administración Provincial de Energía (APE). Este trabajo se realizó en el marco de un acuerdo específico de colaboración entre ambas instituciones.

El análisis citado consistió en seleccionar aisladores de las distintas líneas ubicadas en diferentes zonas (se dividió la provincia en seis regiones) para realizarle una inspección visual detallada, ensayos de corriente de fuga bajo distintas condiciones de los mismos (seco y bajo lluvia) y ensayos de hidrofobicidad. Los aisladores (en sujeción rígida o suspendida) ensayados, extraídos de líneas en servicio, han estado expuestos a diversas inclemencias del tiempo, lo que permitió realizar los ensayos previstos en materiales sometidos a un envejecimiento real.

Con los resultados conseguidos se sacaron conclusiones de la performance de distintos tipos de aislación en función de la zona donde están emplazados y se confeccionó un informe técnico presentado a la empresa.

Palabras clave:

Aislamiento – Redes Eléctricas – Ensayos eléctricos media tensión – Zonificación.

1. Introducción

Los materiales utilizados como aislantes en las líneas de transporte de energía emplazadas en la provincia de La Pampa cumplen con las especificaciones técnicas solicitadas en los pliegos de licitación, sin embargo, la experiencia indica que el comportamiento y la durabilidad de estos elementos es variable de acuerdo a las zonas de emplazamiento y las condiciones ambientales y de servicio.

El estudio de esta situación se debió a sugerencias de personal de la empresa, dado que se ha observado que no existe una metodología o reglamentación que indique los criterios de la aislación a seleccionar para cada situación. A esto debemos sumarle que la Administración Provincial de Energía desde su creación a la fecha ha utilizado en distintos puntos de la provincia de La Pampa, todos los tipos de aislaciones existentes en el mercado eléctrico para sus sistemas de transmisión y subtransmisión.

Existen antecedentes de estudios en sistemas de aislación tales como [1] R. Znaidi, “Research and Assessment of Insulator Performance in Marine and Desert Environment”, en donde plantea ensayos en el laboratorio, para diferentes tipos de aislaciones en condiciones ambientales mucho más extremas que las de nuestro caso, por esta razón el estudio en condiciones de envejecimiento real, permite obtener datos objetivos.

Para ello fue necesario realizar una investigación en líneas que se han montado y puesto en servicio desde hace 50 años, con distintos tipos de materiales y sistemas de sujeción en sus aislaciones.

Por lo tanto, el motivo principal de este estudio, fue realizar un aporte técnico que pueda brindar a la A.P.E. un pormenorizado conocimiento del comportamiento que han mostrado las aislaciones en las distintas zonas y que se recomiende a partir de este momento para los nuevos sistemas a proyectar. En virtud de ello los principales objetivos del trabajo fueron:

- Determinar el comportamiento eléctrico de distintas aislaciones utilizadas en líneas de subtransmisión de energía (13,2 kV y 33 kV).
- Brindar los estudios realizados y el análisis de los mismos.
- Satisfacer una necesidad presente en un organismo del estado y así fortalecer las relaciones de la facultad con el medio.

2. Materiales y Métodos

2.1 – Marco Teórico

El estudio se basó en distintas publicaciones de INMR (Insulator News & Market Report), tales como [1] R. Znaidi, “Research and Assessment of Insulator Performance in Marine and Desert Environment”, [2] Developing an Accelerated Ageing Test for Composite Polymer Insulators: Challenges and a Possible Approach., [3] Research Findings Comparing Performance of Different Insulator Designs on Distribution Lines in Tropical Environments, Además de otros artículos tales como [4]. Ing. José Insogna, Ing. Horacio Parisi, Ing. Gustavo Alonso e Ing. Roberto Ferrell, Experiencias con Aisladores Orgánicos de EPDM, [5] R.S. Gorur y T. Orbeck, “Comportamiento dieléctrico de la Superficie de Aislamiento polimérica bajo condiciones a la intemperie HV”. En ellos en general se siguen distintas metodologías y ensayos basados en normas aplicables en determinadas condiciones ambientales, ya sea en casos de condiciones de laboratorio o en otros casos en condiciones reales, en ambientes extremos en su mayoría.

En función del estudio de los casos y las normas aplicables [6] a [17], para los distintos tipos de aislaciones, teniendo en cuenta las condiciones en las que se encontraban las aislaciones de las líneas a estudiar y fundamentalmente, realizar aportes a la APE (Administración Provincial de Energía), que tiene a su cargo la construcción, operación y mantenimiento de las líneas de

Media y Alta Tensión en la provincia de La Pampa, mediante una metodología y ensayos específicos a los efectos de poseer un elemento técnico adicional para la toma de decisiones en la adopción de aislaciones y el mantenimiento preventivo de las líneas en operación.

2.2 - Metodología

La metodología empleada fue la siguiente

1°- Se dividió el territorio de la provincia de La Pampa en distintas zonas.

2°- Se ubicó dentro de estas zonas las líneas construidas en los últimos 50 años, las tensiones de las mismas, el tipo de aislación (perno rígido o aislación suspendida) y los distintos tipos de aislantes (porcelana, vidrio templado, material orgánico).

3°- Se realizaron los ensayos que se detallan a continuación:

- Ensayos de Hidrofobicidad

1°- Se tomaron las muestras tal como se han retirado de la línea.

2°- Se rociaron con un componente adecuado para el ensayo.

3°- Se determinó el grado de hidrofobicidad en función de comparar con los estándares planteados por [6], la norma STRI Guide 92/1.

- Ensayos de tensión aplicada (corriente de fuga). Normas IRAM [8], [9], [11], [12], [13], [14], [15], [16].

Se le realizaron a los aisladores ensayos para medir corrientes de fuga, aplicándoles tensión en forma ascendente desde 0 V en escalones de 2,5 o 5 kV en función de la tensión de la línea. Para ello tuvimos que desplazarnos al laboratorio de la A.P.E., ya que la facultad no posee ese equipamiento. Se utilizó un equipo que nos permitió determinar si existen pérdidas en las cadenas, realizando ensayos en las siguientes condiciones:

1°- Ensayo del aislador en seco: Se realizaron los ensayos de tensión aplicada en las condiciones que se retiraron de las líneas.

2°- Ensayo del aislador bajo lluvia: Se realizaron los ensayos de tensión aplicada bajo lluvia siguiendo los parámetros establecidos en las normas correspondientes.

- Inspección detallada. Normas IRAM [7], [8], [9], [10], [14], [15], [17].

Se hizo una inspección minuciosa de la superficie de los aisladores, observando el estado general de las mismas y buscando determinar la presencia de posibles caminos de fuga de la corriente (de una manera especial en aisladores orgánicos).

2.3 - Tamaño de la muestra:

La decisión de la cantidad de aisladores a extraer (tamaño de la muestra) se tomó, en función de tratar de minimizar el impacto negativo que provoca la interrupción del servicio eléctrico a las localidades afectadas.

El criterio empleado fue, el de extraer muestras en líneas que vieran afectado el suministro eléctrico por salidas de servicio, ya sea por fallas debido a voladura de ramas, descargas de origen atmosférico, fallas propias de las cadenas, etc. Se aprovechaba el movimiento de la cuadrilla al lugar del defecto para solucionar el mismo y así extraer los aisladores de las fases no averiadas de ese piquete o de un piquete próximo. De esta manera se consiguieron muestras de las distintas zonas en las que dividimos el territorio, tratando que fueran de diferentes compuestos y tipos de sujeción.

En el caso particular de las líneas que unen El Sauzal – Algarrobo del Águila y la doble terna que va de Mauricio Mayer a Victorica y Eduardo Castex fue la A.P.E. la que se interesó en extraer muestras ya que quería saber el estado de las mismas por distintos motivos. En la línea El Sauzal – Algarrobo del Águila debido a un cambio en los soportes (están reemplazando los soportes de madera actuales por soportes de hormigón). La necesidad residía en definir si se reemplazaban los aisladores o colocaban los mismos. En el caso de la doble terna de Mauricio

Mayer el inconveniente era el estado muy deteriorado de la superficie de los aisladores que hacían dudar del buen funcionamiento de la misma.

Las muestras obtenidas se almacenaron en bolsas de polietileno, las cuales fueron cerradas convenientemente e identificadas por el número de piquete y fase a la cual correspondían.

No se utilizaron métodos estadísticos para determinar el tamaño de la muestra ya que el número de ejemplares para que la misma fuera representativa distaba de las posibilidades técnicas y económicas de obtenerlas.

2.4 – División del territorio:

Para este trabajo dividimos el territorio de la provincia en seis (6) zonas en función de la distribución de las líneas tomando como referencia, en general, con la zona de influencia de las estaciones transformadoras que posee la A.P.E. Ellas son:

- Zona Centro-Nordeste (General Pico – Santa Rosa)
- Zona Oeste (El Sauzal – Algarrobo del Águila)
- Zona Centro-Sudeste (Macachín)
- Zona Sudoeste (Gobernador Duval – Villa Casa de Piedra)
- Zona Sudeste (Pichi Mahuida – Cuchillo Có)
- Zona Centro-Sur (Puelches – Chacharramendi)

En la Provincia de La Pampa la A.P.E. posee un total de 2.675,83 km de líneas de 33 kV y 13,2 kV. A continuación se detallan las distancias y características de la líneas.

Zona Centro-Noreste

- 173,93 km de línea de 33 kV con aisladores orgánicos de suspensión.
- 757,50 km de línea de 33 kV con aisladores de porcelana de suspensión.
- 97,33 km de línea de 33 kV con aisladores de porcelana rígidos.
- 58,63 km de línea de 33 kV con aisladores orgánicos rígidos.
- 26,20 km de línea de 33 kV que se utilizan en 13,2 kV con aisladores de porcelana rígidos.
- 24,20 km de línea de 33 kV que se utilizan en 13,2 kV con aisladores orgánicos rígidos.
- 1,23 km de línea de 13,2 kV trifásica con aisladores de porcelana rígidos.

Zona Oeste

- 201,47 km de línea de 33 kV con aisladores orgánicos de suspensión.
- 45,15 km de línea de 33 kV que se utilizan en 13,2 kV con aisladores orgánicos suspendidos.
- 35,12 km de línea de 33 kV que se utilizan en 13,2 kV con aisladores de porcelana rígidos.
- 130,36 km de línea de 13,2 kV trifásica con aisladores de porcelana rígidos.
- 7,53 km de línea de 13,2 kV monifásica con aisladores de porcelana rígidos.

Zona Centro-Sudeste

- 229,62 km de línea de 33 kV con aisladores de porcelana de suspensión.
- 69,67 km de línea de 33 kV con aisladores orgánicos de suspensión.
- 15,85 km de línea de 33 kV con aisladores de porcelana rígidos.
- 37,41 km de línea de 33 kV que se utilizan en 13,2 kV, con aisladores de porcelana rígidos.

Zona Sudoeste

- 105,46 km de línea de 33 kV con aisladores de porcelana rígidos.
- 28,94 km de línea de 13,2 kV trifásica con aisladores de porcelana rígidos.
- 19,96 km de línea de 13,2 kV bifásica con aisladores de porcelana rígidos.

Zona Sudeste

- 153,76 km de línea de 13,2 kV trifásica con aisladores de porcelana rígidos.
- 23,21 km de línea de 13,2 kV bifásica con aisladores de porcelana rígidos.
- 22,42 km de línea de 13,2 kV monofásica con aisladores de porcelana rígidos.

Análisis del estado de las aislaciones en redes eléctricas de media tensión (13,2 kV y 33 kV) en la provincia de La Pampa pertenecientes a la Administración Provincial de Energía (A.P.E.)

Zona Centro-Sur

- 4,16 km de línea de 33 kV que se utiliza en 13,2 kV con aisladores de porcelana suspendidos.
- 78,62 km de línea de 33 kV que se utiliza en 13,2 kV con aisladores de porcelana rígidos.
- 88,70 km de línea de 13,2 kV trifásica con aisladores de porcelana rígidos.
- 113,68 km de línea de 13,2 kV trifásica con aisladores orgánicos rígidos.
- 23,79 km de líneas de 13,2 kV bifásica con aisladores de porcelana rígidos.
- 13,83 km de línea de 13,2 kV bifásica con aisladores orgánicos rígidos.
- 88,10 km de línea de 13,2 kV monofásica con aisladores de porcelana rígidos.

A continuación, y a modo de ejemplo presentamos una de las zonas en que dividimos el territorio con sus correspondientes referencias.

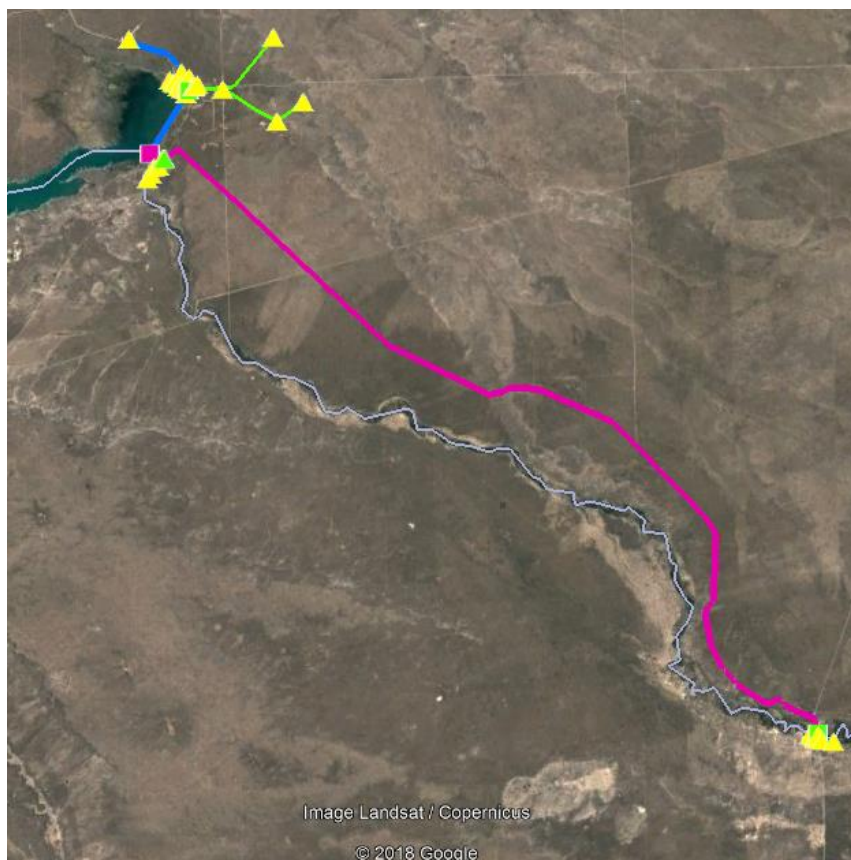









Figura 1: Zona Sudoeste (Gobernador Duval – Villa Casa de Piedra).
Fuente: Elaboración propia.

Referencias:

-  Línea de 33 kV.
-  Línea de 33 kV que funciona en 13,2 kV.
-  Línea de 13,2 kV trifásica.
-  Línea de 13,2 kV bifásica.
-  Línea de 13,2 kV monofásica.
-  Estación transformadora.
-  Subestación transformadora.

3. Resultados y Discusión

3.1 - Ensayos:

3.1.1 - Ensayo de hidrofobicidad:

En líneas generales el ensayo se realizó de la siguiente manera:

1°- Se tomaron las muestras tal como se retiraron de la línea.

2°- Se rociaron las muestras con agua pulverizada.

3°- Se determinó el grado de hidrofobicidad en función de comparación con los estándares planteados por [7], la norma STRI Guide 92/1, clasificando a los mismos.

Este procedimiento se llevó a cabo en la totalidad de los aisladores extraídos de las líneas en servicio.

La hidrofobicidad en un aislador es la capacidad del mismo para repeler el agua. La misma varía con el tiempo, pudiendo cambiar debido a la exposición al entorno exterior y a las descargas parciales (efecto corona).

Hay definidas siete clases de hidrofobicidad (HC 1-7). HC 1 corresponde a una superficie totalmente hidrofóbica (repele el agua) y HC 7 a una superficie totalmente hidrófila (absorbe fácilmente el agua).

Estas clases proporcionan una indicación del estado de humedad y son útiles para comprobar rápidamente los aisladores en el emplazamiento.

Para la realización de las pruebas se utilizó un pulverizador para vaporizar el agua, al cual se lo llenó con agua corriente exenta de productos químicos. También se utilizaron, como equipos auxiliares, una lupa y una cámara fotográfica.

La técnica utilizada fue la de pulverizar la superficie 1 ó 2 veces por segundo desde una distancia de aproximadamente 25 cm durante un tiempo de 30 segundos. La estimación de la clase de hidrofobicidad se realizó 10 segundos después de haber concluido la pulverización, de acuerdo a lo establecido por la guía (Guide 1, 92/1).

En nuestro caso se pulverizó la totalidad del aislador, teniendo en cuenta que la guía establece que el área de la prueba debe cubrir de 50 a 100 cm².

A continuación se vuelcan, a modo de ejemplo, los resultados en las aislaciones correspondientes a las líneas que unen Macachín con Miguel Riglos y El Sauzal con Algarrobo del Águila.

Zona Centro-Sudeste:

Línea Macachín – Miguel Riglos:

- Piquete N°: 73 / Fase 1
- Aislación: Porcelana – Suspensiva (3 platos)
- Tensión: 33 kV

Tabla 1: Ensayo de hidrofobicidad

Aislador	Posición
	T
Superior	HC 1
Medio	HC 1
Inferior	HC 1

Fuente: Elaboración propia.

Zona Oeste:

Línea El Sauzal – Algarrobo del Águila:

Análisis del estado de las aislaciones en redes eléctricas de media tensión (13,2 kV y 33 kV) en la provincia de La Pampa pertenecientes a la Administración Provincial de Energía (A.P.E.)

- Piquete N°: 45 / Fase 1
- Aislación: Orgánica – Suspendida (7 aletas)
- Tensión: 33 kV

Tabla 2: Ensayo de hidrofobicidad

Aleta N°	Posición
	T
1	HC 2
2	HC 2
3	HC 2
4	HC 2
5	HC 2
6	HC 2
7	HC 2

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones de ensayos de hidrofobicidad:

Los aisladores de porcelana, ya sea con sujeción a través de perno rígido o suspendida, han mostrado muy buenos valores de hidrofobicidad en toda la provincia, independientemente de la zona, yendo desde grado HC 1 (Macachín – Miguel Riglos) hasta HC 3, con una mayor incidencia del grado HC 2.

En las aislaciones orgánicas los grados de hidrofobicidad alcanzaron valores hasta HC 4 (Gral. Pico – Ojeda). Hay que destacar que esta línea fue la primera emplazada en La Pampa con esta tecnología (orgánica suspendida) y puesta en servicio en noviembre de 1994. Estos valores son compatibles con el envejecimiento climático (meteorización) de las cadenas de aisladores.

En el caso de la línea El Sauzal – Algarrobo del Águila, que era una de las líneas que la A.P.E. tenía intenciones de conocer su desempeño, podemos destacar que los valores de hidrofobicidad alcanzados son grado HC 2.

Muy distinto es el caso de la línea de doble terna que une las localidades de Mauricio Mayer – Edo. Castex y Mauricio Mayer – Victorica, donde los valores de hidrofobicidad medidos llegaron en todos los casos a HC 7 (línea totalmente hidrófila).

La única línea con aislación de vidrio templado suspendida es la que se encuentra en las cercanías de Macachín y su valor de hidrofobicidad medido fue HC 2.

Por lo tanto podemos concluir que en toda la provincia, a excepción de la doble terna Mauricio Mayer – Edo. Castex / Victorica, los aisladores tienen una muy buena respuesta a los ensayos de hidrofobicidad. Estos valores mejoran cuando se refieren a aislación de vidrio templado y porcelana, mientras que en los orgánicos comienza a haber una tendencia hidrófila a medida que la línea envejece.



Figura 2: Línea El Sauzal-Algarrobo del Águila – Piquete N° 45 – Fase 2 – Aletas 1, 2, y 3.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3: Línea Macachín-Miguel Riglos – Piquete 73 – Fase 2 – Plato Superior.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 - Ensayo de tensión aplicada (corriente de fuga):

El ensayo se realizó siguiendo lo establecido por [12], Norma IRAM 2280-1.

El proceso se llevó a cabo en las instalaciones de la Administración Provincial de Energía (A.P.E.) ubicadas en calle 21 y 36 de la ciudad de General Pico, La Pampa.

Las pruebas fueron realizadas por integrantes del grupo de investigación (incluyendo un becario y un estudiante avanzado de la carrera) y por personal de la A.P.E.

Se realizaron ensayos de tensión aplicada para medir corrientes de fuga, aplicando tensión en forma ascendente desde 0 kV en escalones de 2,5 o 5 kV en las siguientes condiciones:

1°- Ensayo del aislador en seco: Se le aplicó tensión a las cadenas de aisladores en las condiciones que se retiraron de la línea.

2°- Ensayo del aislador bajo lluvia: Se le aplicó tensión a las cadenas de aisladores bajo lluvia siguiendo lo establecido en las normas correspondientes.

Para la realización de las pruebas se utilizó un dispositivo para medición de rigidez dieléctrica propiedad de la A.P.E.

Debido a que los valores que registra este aparato están muy por encima de los previstos para el ensayo, se adquirió un micro amperímetro, con rango de escalas en 2000 μA y 200 μA , colocado entre la salida del aislador a ensayar y la barra de puesta a tierra de la instalación, que permite medir los valores de intensidad de corriente de fuga con una mayor precisión. Además se utilizó un micro amperímetro para medir fugas de corriente por el equipo que inyecta agua para el ensayo bajo lluvia, con seteo de corriente en 800 μA (para evitar tensiones peligrosas en el sistema de agua). Se lo conectó a la estructura del rociador y a la misma barra de puesta a tierra.

Análisis del estado de las aislaciones en redes eléctricas de media tensión (13,2 kV y 33 kV) en la provincia de La Pampa pertenecientes a la Administración Provincial de Energía (A.P.E.)

También se diseñó un sistema para realizar el ensayo bajo lluvia. El mismo está alimentado desde una bomba que provee fluido (agua corriente) al sistema, regulando su presión por medio de válvulas esféricas. El pulverizador está montado sobre una estructura construida a tal fin.

La técnica utilizada fue la de montar cada uno de los aisladores en el dispositivo que ya posee la A.P.E. (aislado de la estructura del edificio por medio de cadenas de aisladores) realizando en primer lugar el ensayo en seco, elevando la tensión desde 0 kV en escalones de 5 kV hasta los 40 kV, en caso de cadenas con tensión nominal de 33 kV y en escalones de 2,5 kV y hasta 17,5 kV en cadenas con tensión nominal de 13,20 kV. Seguidamente se rociaba los mismos con agua corriente durante un minuto y luego se elevaba la tensión de la misma manera que para el ensayo en seco. En todos los casos, y en cada escalón, se dejaba aplicada la tensión durante 20 segundos para estabilizar los valores de corriente de fuga y para el último escalón se la aplicaba durante 60 segundos.

En los casos en que los valores de intensidad de corriente variaban durante el ensayo (oscilaciones entre un máximo y un mínimo muy disímiles) o sus valores se disparaban por encima de los valores testeados en el micro amperímetro, el ensayo se abortaba.

Debido a que se utilizó agua corriente, se realizó un ensayo para determinar su resistividad. Para ello se utilizó un conductímetro y el valor determinado fue de 22 Ω .m, que difiere significativamente de los 100 Ω .m que establece la norma (el ensayo se realizó en condiciones más desfavorables).

El caudal de agua utilizado en el ensayo de los aisladores rígidos a perno MN 14 fue de 2,69 [mm/min], por encima del valor estipulado en [12], la Norma IRAM 2280-1, que establece que debe ser entre 1 – 2 [mm/min], siendo estos valores muy similares a los utilizados en los aisladores de suspensión a rótula MN 12-b.

A continuación se detallan los valores obtenidos en los ensayos para los mismos aisladores seleccionados en el ensayo de hidrofobicidad:

Análisis del estado de las aislaciones en redes eléctricas de media tensión (13,2 kV y 33 kV) en la provincia de La Pampa pertenecientes a la Administración Provincial de Energía (A.P.E.)

Zona Centro-Sudeste:

Línea Macachín – Miguel Riglos:

- Piquete N°: 73 / Fase 1
- Aislación: Porcelana – Suspendida (3 platos)
- Tensión: 33 kV

Tabla 3: Ensayo de tensión aplicada

Tensión nominal aplicada (kV)	Seco	Bajo lluvia
	Corriente de fuga (μA)	Corriente de fuga (μA)
5,00	27	70
10,00	55	142
15,00	81	215
20,00	108	296
25,00	134	368
30,00	160	438
35,00	186	527
40,00	211	599

Fuente: Elaboración propia.

Zona Oeste:

Línea El Sauzal – Algarrobo del Águila:

- Piquete N°: 45 / Fase 1
- Aislación: Orgánica – Suspendida (7 aletas)
- Tensión: 33 kV

Tabla 4: Ensayo de tensión aplicada

Tensión nominal aplicada (kV)	Seco	Bajo lluvia
	Corriente de fuga (μA)	Corriente de fuga (μA)
5,00	3	4
10,00	8	10
15,00	13	16
20,00	17	55
25,00	22	70
30,00	27	121
35,00	32	280
40,00	37	590

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones de ensayos de tensión aplicada:

Los aisladores respondieron muy bien a los **ensayos en seco**. Se alcanzaron en todos los casos tensiones aplicadas muy por encima de los valores máximos (Tensión compuesta máxima $U_{max} = 35$ kV, tensión simple máxima $V_{max} = 20,20$ kV en el caso de utilizar $U_{nom} = 33$ kV) sin que se produzcan contorneos o perforaciones.

Para los aisladores orgánicos suspendidos, las intensidades de las corrientes de fuga en los ensayos realizados a 5 kV (mínima tensión utilizada) oscilaron entre $1 \mu A$ y $4 \mu A$ y para las máximas tensiones (40 kV) entre $25 \mu A$ y $51 \mu A$. Los valores más altos se encontraron en la zona de Macachín. Un posible motivo es la proximidad a la zona de salinas. Incluso la doble terna Mauricio Mayer – Edo. Castex / Victorica respondió muy bien a este ensayo. En todos los casos la relación tensión-corriente siguió una línea recta, compatible con la Ley de Ohm hasta valores próximos a los 30 kV. De aquí en adelante los valores crecieron con una pendiente mayor, pero dentro de valores razonables.

En el caso de los aisladores orgánicos con perno rígido (línea que une Ojeda - Int. Alvear - Bdo. Larroudé, con una longitud próxima a los 70 km) los valores fueron desde los $4 \mu A$ (para 5 kV) hasta los $48 \mu A$ (para 40 kV). La forma de la curva tensión-corriente fue similar a la de las cadenas orgánicas suspendidas.

Las cadenas de aisladores de porcelana (suspendidas) las intensidades de las corrientes de fuga en los ensayos realizados a 5 kV oscilaron entre $20 \mu A$ y $30 \mu A$ y para 40 kV entre $170 \mu A$ y $220 \mu A$. Si bien estos valores son más altos que para el caso de los aisladores orgánicos, las curvas tensión-corriente conservaron la linealidad incluso hasta los valores máximos de tensión. Los aisladores de porcelana rígidos los valores fueron de $10 \mu A$ a $15 \mu A$ para la mínima tensión aplicada a valores que oscilaron entre $90 \mu A$ y $170 \mu A$ para la máxima tensión aplicada. También mantuvieron la linealidad en la relación tensión-corriente. En el caso particular de la línea con tensión en 13,2 kV que une Pichi Mahuida con Cuchillo Có (aislador rígido MN 3) los valores para la mínima tensión aplicada (2,5 kV) estaban entre 0 y $1 \mu A$ y para la máxima tensión (17,5 kV) entre 25 y $40 \mu A$.

Para los aisladores de vidrio templado suspendidos (próximo a Macachín) los valores fueron de $30 \mu A$ para 5 kV a $232 \mu A$ para 40 kV. En este caso la curva tensión-corriente siguió una línea casi perfecta.

Los valores en los **ensayos bajo lluvia** difirieron considerablemente, por lo que vamos a hacer un análisis particular.

Para los aisladores de porcelana con sujeción suspendida los valores para la mínima tensión variaron desde $56 \mu A$ a $85 \mu A$ y para la máxima tensión aplicada desde $476 \mu A$ a $735 \mu A$. En la mayoría de los casos cumplieron con la Ley de Ohm hasta valores próximos a los 40 kV. No hubo problema en ninguno de los ensayos, por lo que podemos considerar que, independientemente de la zona de emplazamiento, respondieron muy bien al mismo.

En lo que respecta a los aisladores de porcelana con sujeción rígida en 33 kV también respondieron muy bien a este ensayo. Los valores oscilaron entre 20 y $35 \mu A$ para 5 kV y entre 210 y $330 \mu A$ para 40 kV. Como se ve, con valores más bajos que en aislación suspendida. La curva tensión-corriente siguió en todos los casos una línea recta. En la línea de aislación rígida de 13,2 kV que une Pichi Mahuida con Cuchillo Có los valores variaron entre $15 \mu A$ y $25 \mu A$ para 2,5 kV y entre $115 \mu A$ y $210 \mu A$ para 17,5 kV. La respuesta tensión-corriente fue lineal, aunque los valores de intensidad de corriente de fuga fueron muy superiores a los medidos en seco.

En este tipo de aislación, ya sea rígida o suspendida, y a excepción de la línea de 13,2 kV, la relación de los valores de intensidad de corriente de fuga realizados bajo lluvia y en seco estuvo entre 2 y 3 ($I_{f \text{ lluvia}} / I_{f \text{ seco}} \cong 2,5$).

Análisis del estado de las aislaciones en redes eléctricas de media tensión (13,2 kV y 33 kV) en la provincia de La Pampa pertenecientes a la Administración Provincial de Energía (A.P.E.)

Los valores en los aisladores de vidrio templado suspendidos (próximo a Macachín) fueron desde 55 μA para 5 kV a 450 μA para 40 kV. Como se ve siguieron una curva tensión-corriente lineal, siendo estos números aproximadamente el doble de los obtenidos para valores en seco.

En el caso de los aisladores orgánicos los valores fueron muy dispares y el motivo de ello no tuvo que ver con la zona donde estaban emplazados, sino con la calidad del producto y con el tiempo que estaban en servicio.

En las líneas que unen Macachín - Rolón o Int. Alvear - Ojeda se aprecia un buen comportamiento en estos ensayos, con valores que duplican los obtenidos en seco, yendo desde aproximadamente 10 μA para 5 kV a 120 μA para 40 kV. En la línea que une El Sauzal con Algarrobo del Águila se ve que responden muy bien en valores bajos de tensión aplicada (4 μA) pero se eleva mucho a valores altos (590 μA). La curva tensión-corriente difiere considerablemente de una recta. Algo similar ocurre en la línea Gral. Pico - Ojeda. En este caso en particular es de destacar que esta línea lleva 23 años en servicio (comienza con valores de 30 μA para 5 kV a 735 μA para 40 kV).

Las cadenas de aisladores de la doble terna que une Mauricio Mayer con Eduardo Castex y Victorica respondieron muy mal a este ensayo. Los valores partían desde números bajos en 5 kV (4 μA), pero empezaban a subir rápidamente a partir de los 10 kV, se aproximaban a 1 mA para 20 kV y se disparaban para 25 kV. Por lo tanto es una línea en riesgo para situaciones donde las cadenas no trabajan con valores bajos de humedad.



Figura 4: Equipo para ensayo de tensión aplicada en seco y bajo lluvia en instalaciones de la A.P.E.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 - Inspección detallada de las cadenas de aisladores:

En general podemos decir que los aisladores de porcelana, con sujeción por perno rígido o suspendidos, y la cadena de aisladores de vidrio templado, presentan sus superficies exteriores en perfectas condiciones.

En el caso de los aisladores orgánicos, aquellos que fueron colocados en los últimos años, presentan superficies en muy buenas condiciones (ejemplo línea Algarrobo del Águila – El Sauzal). En otros casos (líneas Gral. Pico - Ojeda; Ojeda - Bdo. Larroudé) los aisladores muestran en su superficie superior un “tizado” moderado. El tizado es un envejecimiento climático que se manifiesta como una superficie rugosa o pulverizada debido a depósitos blancuzcos (definición de [14] Norma IRAM 2355). Este fenómeno es menos perceptible en el núcleo y en la parte inferior de la aleta.

Posteriormente se cortó, por medio de un cúter, el revestimiento de algunas de las cadenas de aisladores de tal manera que se pueda observar el estado del núcleo. En estos casos se observó que los mismos se encuentran en buen estado.

Asimismo se observó que el revestimiento exterior de las cadenas (aletas y material que recubre el núcleo) se encuentran en muy buenas condiciones, con un alto grado de elasticidad en su estructura.

Sin embargo en la línea de doble terna Mauricio Mayer-Eduardo Castex / Victorica aparecen profundas grietas (fractura superficial de profundidad mayor que 0,1 mm) que pone en riesgo la continuidad del suministro de energía eléctrica, sobre todo en condiciones de lluvia.



Figura 5: Inspección Aislador – Línea Mauricio Mayer-Eduardo Castex – Piquete 93 – Fase 2.
Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones y recomendaciones

Desde el punto de vista técnico y por lo expresado en las conclusiones de ensayos de hidrofobicidad, de tensión aplicada y en inspección detallada podemos inferir que los aisladores de porcelana (sujeción con perno rígido o aislación suspendida) y de vidrio templado respondieron muy bien a los ensayos de tensión aplicada, ya sea en seco o bajo lluvia, conservando en general una curva tensión-corriente que se mantiene prácticamente lineal a lo largo de todo el ensayo. Incluso la relación de valores de fuga de corriente con el aislador bajo lluvia y en seco se mantiene entre 2 y 3. También tuvieron una muy buena respuesta a los ensayos de hidrofobicidad con una tendencia a valores que oscilan en grado HC 2. Se notó que sus superficies se encontraban en un muy estado de conservación (inspección detallada).

En lo que respecta a los aisladores orgánicos (sujeción rígida o suspendida), a excepción de la doble terna de Mauricio Mayer, respondieron muy bien a los ensayos de corriente de fuga con

el aislador en seco, pero en algunos casos en los ensayos bajo lluvia los valores de intensidad de fuga a tensiones elevadas crecieron por encima de los valores esperados. Los grados de hidrofobicidad estuvieron próximos a HC 4, con una tendencia más hidrófila, sobre todo en líneas envejecidas, aunque se encuentran dentro de los parámetros esperados. Mantienen un aceptable nivel de conservación, observada en la inspección visual detallada, así como también cuando se le realizaron los cortes en la superficie. Tienen una muy buena elasticidad, puesta de manifiesto ante deformaciones aplicadas al revestimiento exterior (aletas y material que recubre al núcleo).

Los ensayos se realizaron de acuerdo a las distintas normas mencionadas según las características de las mismas [6] a [17], como así también la base para los criterios de aceptación y rechazo, si bien estos parámetros están normalmente determinados para productos nuevos y no con un determinado tiempo de operación como es este caso y el estudio apunta a generar metodología y la tendencia a lo largo del tiempo de los aisladores utilizados.

Desde otro punto de vista se construyó un dispositivo para la realización de los ensayos de tensión aplicada bajo lluvia, el cual también va a ser de gran utilidad para la A.P.E.. En el mismo colaboró un estudiante avanzado de la carrera. También se incorporó un becario, con Beca de Perfeccionamiento en el Investigación, que colaboró en los ensayos y en la elaboración del informe técnico.

También se cumplió otros de los objetivos del trabajo como fue la de satisfacer una necesidad de una institución del medio, fortaleciendo las relaciones de la facultad con la misma a través de un trabajo en conjunto que involucró a un número importante de personas, ya sea de la facultad como de la A.P.E. incluyendo un laboratorista que colaboró en los ensayos, personal de las cuadrillas que mantienen las líneas y fueron los encargados de la extracción de las muestras, personal de relevamiento y planimetría quien proveyó los planos con información de las líneas, etc. Por otra parte, a partir de las tareas realizadas para el proyecto se estableció una metodología de trabajo en cuanto a los ensayos a realizar para las distintas cadenas de aisladores y se sentaron las bases para establecer procedimientos operativos de ensayo, registros estandarizados, criterios de aceptación y de rechazo, etc.

Las recomendaciones en función del estudio, es la continuación de los ensayos a distintas cadenas de aisladores, que sean retiradas de las líneas en operación, realizando las mismas como procedimiento operativo con los registros correspondientes generando una estadística que enriquezca el estudio descripto, sistematizando los mismos.

Además, en la medida de las posibilidades se podrán incorporar algunos ensayos mecánicos que correspondan según tipo y norma y exigir en las compras determinados ensayos de tipo, rutina y especiales.

5. Referencias

- [1] R. Znaidi, "Research and Assessment of Insulator Performance in Marine and Desert Environment". INMR, pp. 12- 22, 2000.
- [2] Developing an Accelerated Ageing Test for Composite Polymer Insulators: Challenges and a Possible Approach. Pag. 54-59. Nov.-Dic. 2000. Vol. 8 N° 6
- [3] Research Findings Comparing Performance of Different Insulator Designs on Distribution Lines in Tropical Environments. Pág. 47-52. Nov.-Dic. 1999. Vol. 7 N° 6.
- [4] Ing. José Insogna, Ing. Horacio Parisi , Ing. Gustavo Alonso e Ing. Roberto Ferrell, Experiencias con Aisladores Orgánicos de EPDM, Empresa TRANSBA S.A. y HANGAR SERVICIOS S.A. CACIER 2005. Pág. 1-11.
- [5] R.S. Gorur y T. Orbeck, "Comportamiento dieléctrico de la Superficie de Aislamiento polimérica bajo condiciones a la intemperie HV". IEEE Trans. Aislamiento Eléctrico. Vol. 26. Pág. 1064-1072. Año 1991.

Normas:

- [6] STRI Guide 1, 92/1 (1992). Hydrophobicity Classification Guide.
- [7] IRAM 2077 (1981): Aisladores de porcelana o de vidrio para líneas aéreas con tensión nominal mayor que 1000 V.
- [8] IRAM 2234-1 (1997): Aisladores para líneas aéreas con tensión nominal mayor que 1000 V. Parte 1: Elementos de cadenas de aisladores de material cerámico o de vidrio para redes de corriente alterna. Definiciones, métodos de ensayo y criterios de aceptación.
- [9] IRAM 2234-2 (1998): Aisladores para líneas aéreas con tensión nominal mayor que 1000 V. Parte 2: Cadenas de aisladores y cadenas equipadas para redes de corriente alterna. Definiciones, métodos de ensayo y criterios de aceptación.
- [10] IRAM 2235 (1998): Aisladores para líneas aéreas con tensión nominal mayor que 1000 V. Aisladores de caperuza y badajo. Tipificación de características. (IEC 61109).
- [11] IRAM 2246 (1991): Aisladores soporte de interior de material orgánico destinados a sistemas con tensión nominal mayor que 1000 V y menor que 300 kV. Métodos de ensayo.
- [12] Norma IRAM 2280-1 (1994): Técnicas de Ensayo con Alta Tensión. Definiciones y requisitos generales para los ensayos.
- [13] Norma IRAM 2280-2 (1998): Técnicas de Ensayo con Alta Tensión. Parte 2: Sistemas de medición.
- [14] IRAM 2355 (1998): Aisladores de material orgánico de suspensión y de retención para líneas aéreas de corriente alterna con tensión nominal mayor que 1000 V. Definiciones, métodos de ensayo y criterios de aceptación.
- [15] IRAM 2406 (1996): Aisladores soporte para líneas aéreas. Aisladores con núcleo y envoltura de material compuesto para corriente alterna con una tensión nominal mayor que 1000 V.
- [16] IRAM 2408 (1995): Aisladores de material orgánico, de montaje rígido a perno, para líneas aéreas de media tensión. Método para la realización de los ensayos.
- [17] IRAM 2455-471 (2003): Vocabulario electrotécnico internacional. Versión Argentina. Capítulo 471: Aisladores.