

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Metodología adecuada para medir el aislamiento del  
devanado del estator en las unidades generadoras del  
Complejo Hidroenergético Mantaro**

Demetrio Pelayo Guerrero Meza

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**ASESOR**

MSc. Ing. Joel Colonio Llacua

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por el don de la vida, sabiduría y la fuerza de voluntad que benefició la realización de esta tesis.

A mi familia, por su amor y confianza y ayuda incondicional.

A la Universidad Continental, por dejar ser parte de esta casa superior de estudios con el fin de ampliar el conocimiento en ingeniería con un carácter ético.

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica por impartir su experiencia profesional e instrucción teórica.

Al Gerente General Ing. CIP Emiliano Contreras Cana de la empresa T&D Electric S.A.C. por permitirme utilizar el instrumento analizador de aislamiento M4100 y *software* Doble Test Assistant (DTA) con tecnología doble en sus instalaciones de proyectos e ingeniería.

**DEDICATORIA**

A Don Isaías Guerrero Ch. y Doña Anita Meza Q, mis padres, por el inmenso sacrificio y la gran oportunidad de brindarme una educación con valores para así cumplir mis objetivos.

A mis hijos Johar Fabrizio y Luciana Jade, que son el don más valioso que recibí de mi esposa Sarita Arias y a Dios que me ha encomendado.

## ÍNDICE

ASESOR .....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
DEDICATORIA .....	III
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	2
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema .....	2
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Justificación e Importancia .....	4
1.4. Hipótesis y Descripción de Variables .....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes del Problema .....	6
2.2. Bases Teóricas .....	9
2.3. Definición de términos básicos .....	13
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	15
3.1. Métodos y Alcance de la Investigación .....	15
3.2. Diseño de la investigación .....	15
3.3. Población y Muestra .....	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	16
3.5. Medición de capacitancia y $\tan \delta$ en el generador síncrono .....	16
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
4.1. Resultado de las Pruebas .....	21
4.2. Prueba de Hipótesis .....	75
4.3. Discusión de Resultados .....	75
CONCLUSIONES .....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
ANEXOS .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables</i> .....	5
Tabla 2 <i>Clase de aislamiento (clasificación de clase térmica)</i> .....	12
Tabla 3 <i>Voltaje de prueba recomendado</i> .....	18
Tabla 4 <i>Test Procedure for Units Without Water Cooling</i> .....	20
Tabla 5 <i>Condiciones ambientales de la prueba G2- C.H. RON</i> .....	21
Tabla 6 <i>Resultados de factor de potencia G2- C.H. RON</i> .....	22
Tabla 7 <i>Condiciones ambientales de la prueba G1- C.H. RON</i> .....	28
Tabla 8 <i>Resultados de factor de potencia G1- C.H. RON</i> .....	29
Tabla 9 <i>Condiciones ambientales de la prueba G3- C.H. RON</i> .....	35
Tabla 10 <i>Resultados de factor de potencia G3- C.H. RON</i> .....	36
Tabla 11 <i>Condiciones ambientales de la prueba G7- C.H. SAM</i> .....	42
Tabla 12 <i>Resultados de factor de potencia G7- C.H. SAM</i> .....	42
Tabla 13 <i>Condiciones ambientales de la prueba G1- C.H. SAM</i> .....	48
Tabla 14 <i>Resultados de factor de potencia G1- C.H. SAM</i> .....	49
Tabla 15 <i>Condiciones ambientales de la prueba G5- C.H. SAM</i> .....	56
Tabla 16 <i>Resultados de factor de potencia G5- C.H. SAM</i> .....	56
Tabla 17 <i>Condiciones ambientales de la prueba G6- C.H. SAM</i> .....	62
Tabla 18 <i>Resultados de factor de potencia G6- C.H. SAM</i> .....	63
Tabla 19 <i>Condiciones ambientales de la prueba G2- C.H. SAM</i> .....	69
Tabla 20 <i>Resultados de factor de potencia G2- C.H. SAM</i> .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación del principio de funcionamiento de la Máquinas Eléctricas.....	10
Figura 2. Circuito equivalente eléctrico para un sistema de aislamiento con una pérdida dieléctrica en paralelo .....	11
Figura 3. Circuito equivalente eléctrico para un sistema de aislamiento con una pérdida dieléctrica en serie.....	11
Figura 4. Circuito dieléctrico y procedimiento de prueba para el devanado ensamblado de una Máquina trifásica / de seis terminales con los devanados trifásicos separados. ....	17
Figura 5. Conexión para Medir CA y CAB .....	19
Figura 6 Conexión para medir CB y CBC .....	19
Figura 7 Conexión para medir CC y CCA.....	20
Figura 8. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases del G2-C.H. RON.....	23
Figura 9. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases del G2-C.H. RON.....	23
Figura 10. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases del G2-C.H. RON.....	24
Figura 11. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases del G2-C.H. RON.....	24
Figura 12. Tip up de los valores de tangente delta “fase vs tierra” del G2-C.H. RON.....	25
Figura 13. Tendencia en el tiempo a 2 Kv Tangente delta “fases vs tierra” G2-C.H. RON. ...	25
Figura 14. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra” G2-C.H. RON.....	26
Figura 15. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs fase” G2-C.H. RON.....	26
Figura 16. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs fase” G2-C.H. RON. ....	27
Figura 17. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra del G2-C.H. RON. ....	27
Figura 18. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases del G1-C.H. RON.....	30
Figura 19. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases del G1-C.H. RON.....	30
Figura 20. Tangente delta “Fase vs Fase” de las tres fases. G1-C.H. RON.....	31
Figura 21. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G1-C.H. RON. ....	31
Figura 22. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G1-C.H. RON. ....	32
Figura 23. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “Fase vs tierra”. G1-C.H. RON....	32
Figura 24. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “Fase vs tierra”. G1-C.H. RON.....	33
Figura 25. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs fase”. G1-C.H. RON.....	33
Figura 26. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “Fase vs Fase”. G1-C.H. RON.....	34
Figura 27. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G1-C.H. RON .....	34
Figura 28. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G3-C.H. RON. ....	37
Figura 29. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G3-C.H. RON. ....	37
Figura 30. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G3-C.H. RON. ....	38
Figura 31. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G3-C.H. RON. ....	38
Figura 32. Tip-up de los valores de tangente delta “Fase vs Tierra”. G3-C.H. RON.....	39
Figura 33. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs tierra”. G3-C.H. RON.....	39
Figura 34. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra”. G3-C.H. RON.....	40
Figura 35. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs fase”. G3-C.H. RON.....	40
Figura 36. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs fase”. G3-C.H. RON. ....	41
Figura 37. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G3-C.H. RON. ....	41
Figura 38. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G7-C.H. SAM. ....	43
Figura 39. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G7-C.H. SAM. ....	43
Figura 40. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G7-C.H. SAM. ....	44
Figura 41. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G7-C.H. SAM. ....	44
Figura 42. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G7-C.H. SAM. ....	45
Figura 43. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs tierra”. G7-C.H. SAM. ....	45
Figura 44. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra”. G7-C.H. SAM. ....	46

Figura 45. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs fase”. G7-C.H. SAM. ....	46
Figura 46. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs fase”. G7-C.H. SAM. ....	47
Figura 47. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G7-C.H. SAM. ....	47
Figura 48. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G1-C.H. SAM. ....	50
Figura 49. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G1-C.H. SAM. ....	50
Figura 50. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G1-C.H. SAM. ....	51
Figura 51. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G1-C.H. SAM. ....	51
Figura 52. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G1-C.H. SAM. ....	52
Figura 53. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs tierra”. G1-C.H. SAM. ....	52
Figura 54. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra”. G1-C.H. SAM. ....	53
Figura 55. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs fase”. G1-C.H. SAM. ....	53
Figura 56. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs fase”. G1-C.H. SAM. ....	54
Figura 57. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G1-C.H. SAM. ....	54
Figura 58. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G5-C.H. SAM. ....	57
Figura 59. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G5-C.H. SAM. ....	57
Figura 60. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G5-C.H. SAM. ....	58
Figura 61. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G5-C.H. SAM. ....	58
Figura 62. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G5-C.H. SAM. ....	59
Figura 63. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs tierra”. G5-C.H. SAM. ....	59
Figura 64. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra”. G5-C.H. SAM. ....	60
Figura 65. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs fase”. G5-C.H. SAM. ....	60
Figura 66. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs fase”. G5-C.H. SAM. ....	61
Figura 67. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G5-C.H. SAM. ....	61
Figura 68. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G6-C.H. SAM. ....	64
Figura 69. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G6-C.H. SAM. ....	64
Figura 70. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G6-C.H. SAM. ....	65
Figura 71. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G6-C.H. SAM. ....	65
Figura 72. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G6-C.H. SAM. ....	66
Figura 73. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs tierra”. G6-C.H. SAM. ....	66
Figura 74. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “Fase vs tierra”. G6-C.H. SAM. ....	67
Figura 75. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “Fase vs Fase”. G6-C.H. SAM. ....	67
Figura 76. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs fase”. G6-C.H. SAM. ....	68
Figura 77. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G6-C.H. SAM. ....	68
Figura 78. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G2-C.H. SAM. ....	70
Figura 79. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G2-C.H. SAM. ....	70
Figura 80. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G2-C.H. SAM. ....	71
Figura 81. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G2-C.H. SAM. ....	71
Figura 82. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G2-C.H. SAM. ....	72
Figura 83. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “Fase vs tierra”. G2-C.H. SAM. ...	72
Figura 84. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra”. G2-C.H. SAM. ....	73
Figura 85. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “FASE VS FASE”. G2-C.H. SAM.	73
Figura 86. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs fase”. G2-C.H. SAM. ....	74
Figura 87. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G2-C.H. SAM. ....	74

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo proponer una metodología adecuada para medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del Complejo Hidroenergético Mantaro.

El método que se utilizó en la investigación es del tipo experimental; el nivel de investigación, descriptiva; el tipo investigación, aplicada, y el tipo de diseño de investigación, correlacional. Asimismo, para la técnica de recolección de datos se analizaron la documentación proporcionadas y el instrumento de la recolección de datos fueron las fichas de los ensayos que se realizaron con el equipo DOBLE M4100-DTA, en los generadores del Complejo Hidroenergético Mantaro.

Entonces, los resultados presentan valores aceptables del factor de potencia que son menores a los recomendados. Además, los valores de Tip-up indican que es posible la presencia de niveles moderados de descargas parciales.

Asimismo, se analizó la tendencia de la tangente delta con resultados obtenidos en el 2007, 2008 y 2015, 2016 en las gráficas se puede apreciar que los valores medidos no han variado significativamente respecto a los medidos en la presente investigación.

**Palabras clave:** ensayos de tangente delta, diagnóstico.

## ABSTRACT

The objective of this thesis aims to propose an appropriate methodology to measure the isolation of the winding of the stator in the generating units of the Mantaro Hydroenergy Complex.

The method used in the research is of the experimental type; the level of descriptive research; applied research type and correlational research design type. For the data collection technique, the documentation provided and the data collection instrument were analyzed by the test sheets that were carried out with the DOBLE M4100-DTA equipment, in the generators of the Mantaro Hydroenergy Complex.

The results have acceptable power factor values that are lower than recommended. Tip-up values indicate that moderate levels of partial discharges are possible.

The trend of delta tangent was analyzed with results obtained in 2007, 2008 and 2015, 2016 in the graphs it can be seen that the measured values have not changed significantly from those measured in this research.

**Key Words:** delta tangent tests, diagnosis

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la tecnología nos permite realizar pruebas en los generadores, que nos ayudan a diagnosticar el estado y el funcionamiento de las máquinas síncronas, para prever que ante una falla en el aislamiento del devanado del generador síncrono se puede generar interrupciones en el suministro eléctrico y así perjudicar a las empresas comercializadoras del sector distribución y por ende a los clientes finales que conforman el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

El presente estudio de investigación, titulado “Metodología adecuada para medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del complejo Hydroenergético Mantaro”, detalla los procedimientos de las pruebas de tangente delta, tip-up y la capacitancia de los devanados del estator en los generadores de la central hidroeléctrica del Mantaro.

Asimismo, la presente tesis cuenta con cuatro capítulos. En el capítulo I se presenta el planteamiento del problema, se establece su formulación, se plantea el objetivo, la justificación, la importancia, la hipótesis y las variables de la investigación.

El capítulo II contiene el marco teórico, en donde se encuentra los antecedentes de la investigación y los fundamentos teóricos de la investigación. El capítulo III es sobre la metodología de la investigación donde se define el método, nivel, tipo y el diseño de la investigación. Y finalmente se presenta el capítulo IV, en donde se muestra los resultados de los ensayos realizados, la discusión de los resultados y la prueba de la hipótesis formulada en la investigación.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y Formulación del Problema**

#### **1.1.1. Planteamiento del problema**

Electricidad del Perú, denominada ELECTROPERU S.A., es una empresa nacional con privilegio privado, constituida el 5 de setiembre en el año de 1972, por el Decreto Ley N.19521, suma con dos centrales de generación hidráulicas que comprende el Complejo Hidroenergético del Mantaro que a su vez forma parte del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

El Complejo Hidroenergético Mantaro se localiza en la ciudad de Huancavelica, que da origen a las operaciones en el año de 1973, que engloba la Represa de Tablachaca en el distrito de Quichuas, que embalsa una capacidad de ocho millones de m<sup>3</sup> de agua almacenada procedente de del río Mantaro. El agua atraviesa por una longitud de 19,8 km de túnel hacia la turbina de diseño Pelton de los 07 generadores síncronos, que genera 114 MW cada una, de la Central Santiago Antúnez de Mayolo denominada SAM, generando 798 MW de potencia instalada. Y en cascada se canaliza hacia la turbina de diseño Pelton de los 03 generadores síncronos, que genera 70 MW de la Central Restitución (RON) generando 210 MW de potencia instalada, a una tensión nominal de 13.8 KV. La energía generada en las 02 centrales se enlaza a la subestación de potencia en Campo Armiño mediante las Líneas de Transmisión de 220 KV al SEIN, abarca la región Norte, Sur y Centro del País con un aporte de energía que supera los 7000 GWH anuales con respecto a los 20000 GWH de las centrales de generación hidroeléctrica nacional, encontrándose en una posición esencial de estabilización en forma técnica y económica del SEIN.

Del 2014 al 2017 en el Complejo Hidroenergético Mantaro se reportó interrupciones de servicio en sus unidades de generación. Esto se puede evidenciar con

el informe de estadísticas de fallas que presenta cada año el COES en donde se reporta las interrupciones de las unidades generadoras del complejo hidroeléctrico Mantaro (ELECTROPERU).

La causa probable que originó la situación problemática es posiblemente la degradación en la estructura del aislamiento en el devanado del estator que es una de las partes determinantes para el funcionamiento de la máquina síncrona. Si esta situación continua podría tener como consecuencia salidas de servicios imprevistos con mayor tiempo de duración que afectaría enormemente al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

El tema de investigación tiene por objetivo el proponer una metodología adecuada para medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del complejo Hidroenergético Mantaro.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### ***1.1.2.1. Problema general***

¿Cuál es la metodología adecuada para medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del Complejo Hidroenergético Mantaro?

#### ***1.1.2.2. Problema específico***

¿Cuál es el procedimiento para medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del Complejo Hidroenergético Mantaro?

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo general**

Proponer una metodología adecuada para medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del Complejo Hidroenergético Mantaro.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Establecer un procedimiento para medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del Complejo Hidroenergético Mantaro.

## **1.3. Justificación e Importancia**

### **1.3.1. Justificación técnica**

En la presente investigación se cuenta con justificación técnica, debido a que aporta en la rapidez y fácil la obtención de condiciones de cómo se encuentra el generador síncrono.

### **1.3.2. Justificación económica**

La presente tesis tiene justificación económica porque evita pérdidas económicas, multas y penalizaciones debido a la salida de generadores no programados.

### **1.3.3. Justificación metodológica**

La justificación metodológica, en la presente tesis, se da en razón del uso de las recomendaciones de la norma IEEE, publicada en la norma IEEE Std 286-2000, “práctica recomendada por IEEE para medición del factor de potencia tip-up en el aislamiento de la bobina del estator de máquinas eléctricas”.

### **1.3.4. Importancia**

Debido que el generador síncrono es sometido a diferentes condiciones durante su vida útil los aislamientos se deterioran. La metodología adecuada nos permitirá que el procedimiento se realice adecuadamente con el fin de contar con los datos de ensayo correctos.

## 1.4. Hipótesis y Descripción de Variables

### 1.4.1. Hipótesis

#### 1.4.1.1. *Hipótesis general*

Con una metodología adecuada se logrará medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del Complejo Hidroenergético Mantaro

#### 1.4.1.2. *Hipótesis específica*

Con los procedimientos adecuados se logrará medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del Complejo Hidroenergético Mantaro.

### 1.4.2. Descripción de variables

Las variables de la investigación son las siguientes:

Variable independiente (x): Metodología adecuada.

Variable dependiente (y): Medir el aislamiento del devanado del estator.

### 1.4.3. Operacionalización de variables

En la siguiente tabla se muestra la operacionalización de las variables del proyecto de investigación.

Tabla 1  
*Operacionalización de variables*

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	INDICADOR
Variable Dependiente	Medir el aislamiento del devanado del estator.	Son medidas de las pérdidas dieléctricas en el aislamiento, relacionadas con la condición del mismo.	Determina la calidad del aislamiento.	Número (N)
Variable Independiente	Metodología adecuada.	Procedimientos adecuados utilizando métodos.	Son conjunto de métodos de medición para diagnosticar.	Predicciones del estado del generador.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del Problema**

#### **Antecedentes internacionales 1**

Villaverde (25) en su tesis, titulada “Diagnostico al estator del generador eléctrico de la central termoeléctrica Francisco Pérez Ríos”, planteó el objetivo de “realizar un diagnóstico fuera de línea al estator del generador eléctrico de la unidad 3 de la central termoeléctrica Francisco Pérez Ríos”, recopilar los datos obtenidos de cada una de las pruebas que fueron realizadas durante el periodo de mantenimiento mayor del generador eléctrico (proporcionados por la CFE), corregir los datos sobre la base de las normas vigentes y correspondientes a cada una de la pruebas, comparar los datos con los criterios establecidos en la normativa vigente, interpretar los resultados obtenidos en cada prueba y realizar el diagnostico final. La tesis es de tipo descriptivo experimental. Para poder recolectar la muestra se utilizó equipos de medición AVO modelo BM25, Doble M4100-DTA, M4100, M4150, M4300, resonador tipo C, ADWEL modelo PPM-97. Los resultados el factor de disipación y capacitancia es satisfactorio también indicando un nivel bajo de perdidas eléctricas y cumpliendo con el criterio de aceptación para esta prueba un valor menor a 1”.

Asimismo, entre las conclusiones a las que se arribó se encuentran las siguientes: “el diagnostico fuera de línea realizado al estator del generador eléctrico de la central termoeléctrica Francisco Pérez Ríos mediante las pruebas resistencia de aislamiento e índice de polarización, factor de disipación y capacitancia, descargas parciales a la ranura, el CID y resistencia de devanados, muestran que la adecuada selección y realización de las pruebas permiten obtener un diagnóstico preciso”.

#### **Antecedentes Internacionales 2.**

López (26) en su tesis, titulada “Estudio del estado de aislamiento de los generadores, a través del análisis de las descargas parciales, en la Central Geotérmica

de Berlín Usulután, El Salvador”, planteó su objetivo principal que es realizar un estudio del estado de aislamiento de las bobinas instaladas en los estatores de los generadores 1, 2 y 3, a través del análisis de las descargas parciales, en la central geotérmica de Berlín y Crear un programa en Matlab 7.8 que ayude al usuario a analizar las descargas parciales y presentar los resultados en el formato establecido por LaGeo. Entre sus principales conclusiones mencionó que los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en planta permiten conocer el estado del aislamiento de los generadores dando como resultado que el generador 2 resultó con niveles de descargas parciales más altas que los otros dos generadores

En el análisis hecho al generador 2, se diagnosticó descargas parciales en las cabezas de bobinas por suciedad, al comparar los resultados con otras pruebas realizadas a este generador en los mantenimientos anteriores se verificó que la suciedad en esa zona había provocado descargas parciales, comprobándose el diagnóstico inicial

La base de datos de LaGeo es un elemento básico para el análisis de las descargas parciales, ya que representa toda la información comprimida de una fuente particular de descargas parciales y puede ser comparada con otras fuentes.

### **Antecedente Nacionales 1**

Güere (27) en su tesis, titulada “Diagnóstico en línea mediante descargas parciales como técnica de mantenimiento predictivo del devanado estatórico de los alternadores de ELECTROPERU S.A.”, propuso como su objetivo principal “identificar los problemas del aislamiento en los estatores de los grupos de generadores de las centrales de ELECTROPERU S.A. mediante el monitoreo e interpretación de descargas parciales utilizando el equipo IRIS POWER PDA – IV para lograr la correcta confiabilidad de los grupos”. Entre sus principales conclusiones mencionó que la prueba mediante descargas parciales (DP’s) constituye una herramienta muy

importante de diagnóstico del devanado del estator dado que “permite obtener los datos de las magnitudes de los pulsos de las DP’s generalmente en milivoltios (mV) con la ventaja de que el generador eléctrico está en condiciones operativas (C.H. SAM: 114 MW, 13.8 kV, 450 RPM y C.H. RON: 72 MW, 13.8 kV, 200 RPM) bajo los esfuerzos eléctricos, mecánicos y térmicos propios de esa condición; evitando así parar los grupos generadores para la toma de medidas de las DP’s y pérdidas económicas de generación”.

### **Antecedentes Nacionales 2**

Huane (28) presentó su informe de suficiencia titulado “Medición de tangente delta en Generadores Síncronos”, su objetivo fue constituir lo siguiente:

“Establecer un procedimiento y metodología para medición de tangente delta y capacitancia en generadores síncronos, sirviendo de modelo para demás máquinas rotativas; medir los valores de la capacitancia y de tangente delta de las diferentes combinaciones del sistema de aislamiento en el estator del generador síncrono y sumar esta información a criterios de medición ya existentes”. Los resultados de pruebas permiten conocer que el factor de potencia y capacitancia deberá ser comparado entre fases con resultados previos de la prueba con los datos anotados para unidades similares del sistema con los datos del fabricante y con los datos tabulados de unidades similares en la sección de máquinas rotativas del libro de referencias doble de datos de prueba de factor de potencia. Entre las conclusiones a las que se llegó se encuentra que “el sistema de medición de tangente delta y capacitancia es un reconocido e importante método de diagnóstico de aislamiento pues permite identificar oportunamente el estado de aislamiento sometido a su condición de trabajo y evaluar su evolución en el tiempo”

## **Antecedentes Regionales 1**

Galván (29) en su tesis, titulada “Criterios de análisis de patrones gráficos de las mediciones de descarga parciales en línea para el diagnóstico del devanado estatórico en generadores hidroeléctricos”, planteó su objetivos “el desarrollo de la tesis se basa principalmente en describir los fundamentos básicos del monitoreo de “descargas parciales en línea” en generadores hidroeléctricos y la identificación de mecanismos de falla que inciden directamente en la salud del aislamiento principal de los devanados estatórico en generadores hidroeléctricos”. Entre sus principales conclusiones a la que se llega es que “un efecto negativo de la carga en los niveles de DP es indicador de que se está produciendo fatiga del sistema aislante debido a los ciclos de carga variables”. Por lo cual se llegó a la conclusión de que la fortaleza del aislamiento ante los esfuerzos eléctricos solo depende del polímero utilizado.

### **2.2. Bases Teóricas**

#### **2.2.1. Máquina eléctrica**

Se puede interpretar por máquina eléctrica a toda la agrupación de mecanismos capaz de generar, emplear o aplicar la energía eléctrica en los siguientes casos. Si la máquina transforma energía mecánica en energía eléctrica se llama generador, mientras que si transforma energía eléctrica en energía mecánica se designa motor. Esta correlación se entiende como el principio de conservación de la energía electromecánica.

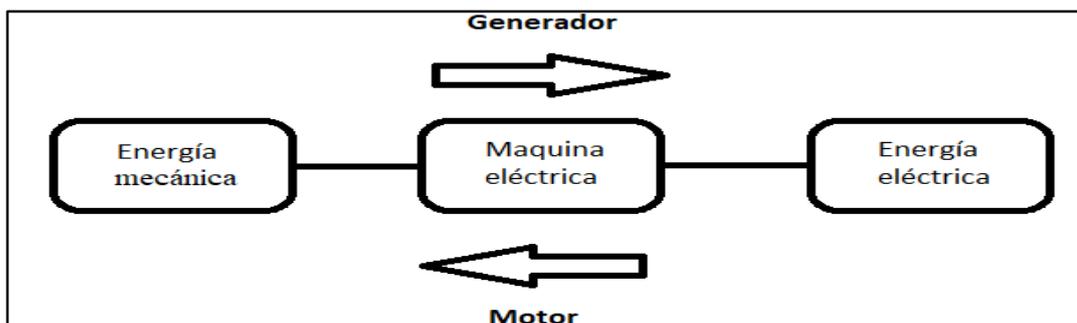


Figura 1. Relación del principio de funcionamiento de la Máquinas Eléctricas.

### 2.2.1.1. Máquinas eléctricas rotativas

La constitución de toda máquina eléctrica rotativa (tanto de c. c. como de c. a.) es muy similar. Si sacrificamos un excesivo rigor científico por brevedad y sencillez, describiremos a continuación las partes más relevantes de toda máquina eléctrica rotativa, lo cual nos permitirá conocer tanto sus limitaciones como sus aplicaciones más adecuadas. Toda máquina eléctrica rotativa consta de los siguientes elementos básicos:

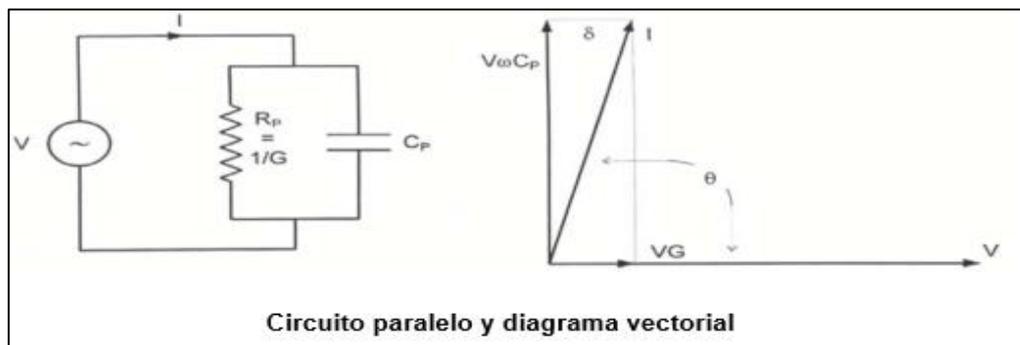
- Inductor.
- Inducido.
- Escobillas.
- Culata o carcasa.
- Entrehierro.
- Cojinetes.

### 2.2.2. Aislamiento

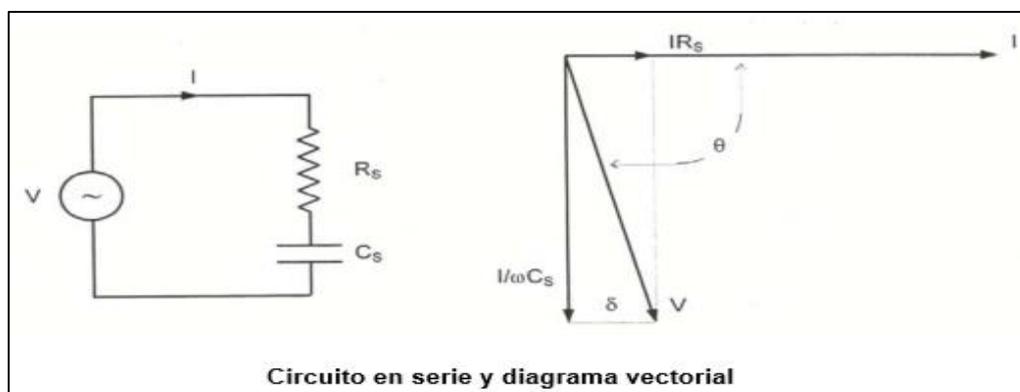
“Material o combinación de materiales no conductores que generalmente provee aislamiento eléctrico entre dos puntos con diferencia de potencial.” (1).

“Un sistema de aislamiento se puede considerar como un condensador real, el cual representa la capacitancia propia del elemento al que pertenezca ya sea un cable, una máquina rotativa, un transformador etc., siendo esta capacitancia prácticamente constante en el tiempo, pero tiene otra componente resistiva que depende del estado del aislamiento.” (1)

- $C_p$  = Capacitancia en paralelo.
- $C_s$  = Capacitancia en serie.
- $R_s$  = Resistencia en serie.
- $R_c$  = Resistencia en paralelo.
- $\Theta$  = Ángulos de fase.
- $\delta$  = Ángulos de pérdida.
- $\omega = 2\pi f$  (para una onda sinusoidal)



*Figura 2.* Circuito equivalente eléctrico para un sistema de aislamiento con una pérdida dieléctrica en paralelo. Tomado de “IEEE. Std 286-2000”, por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, 2000, New York, Estados Unidos de América, ISBN 0-7381-2491-5-SS94854



*Figura 3.* Circuito equivalente eléctrico para un sistema de aislamiento con una pérdida dieléctrica en serie. Tomado de “IEEE. Std 286-2000”, por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, 2000, New York, Estados Unidos de América, ISBN 0-7381-2491-5-SS94854

### 2.2.2.1. Clases de aislamiento

“La siguiente tabla muestra las cuatro principales clases de aislamiento, y que son coincidentes en las normas NEMA e IEC. Además, describe los materiales aislantes usados, el impregnante o barniz, así como aplicaciones más comunes en máquinas eléctrica rotativas.” (3)

Tabla 2  
Clase de aislamiento (clasificación de clase térmica)

Clase de aislamiento	Material aislante	Impregnante o barniz	Aplicaciones
<b>A</b> (105 °C)	Algodón, seda, rayón. Poliamida, acetato de celulosa.	Barnices naturales y sintéticos.	Recubrimiento conductor y ranuras. Tubos flexibles (Spaguetis)
	Esmaltes de resinas de poliéster		Recubrimiento de conductores
<b>B</b> (130 °C)	Tejidos fibra de vidrio y amianto. Mica, solo o con soporte de papel.	Barnices y resinas a base de: Epóxicos, melamina, poliéster reticulado	Aislamiento de ranuras y bobinas. Separadores de delgas de colectores.
	Esmaltes a base de: poliuretano y polivinilos. Caucho etileno-propileno. Cintas fibra de vidrio y mica		Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados.
<b>F</b> (155 °C)	Tejidos fibra de vidrio barnizado. Papeles de mica y amianto	Barnices y resinas a base de: Poliéster, poliuretano, epoxicas.	Recubrimiento de conductores y ranuras. Tubos flexibles. Sujeción de armaduras.
	Esmaltes y barnices a base de: Poliéster modificado, polietileno, poliuretano, poliamida, Resinas Epoxi		Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados
<b>H</b> (180 °C)	Tejidos de fibra de vidrio, amianto, mica, impregnados con silicona.	Resinas de silicona	Recubrimiento de conductores y ranuras. Tubos flexibles
	Fibras de vidrio y caucho silicona. Esmaltes de silicona, poliéster, poliuretano y poliesterimida.		Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados

*Nota.* Tomado de “IEEE. Std 286-2000”, por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, 2000, New York, Estados Unidos de América, ISBN 0-7381-2491-5-SS94854

### 2.2.3. Pruebas Tan $\delta$

También conocido como Factor de Disipación (FD), es la medición de pérdidas eléctricas en un aislamiento.

“En un condensador ideal el ángulo de desfase entre la tensión y corriente es de 90°. A consecuencia de las pérdidas en un sistema real representado por una resistencia,

el ángulo de fase varía un ángulo  $\delta$  con respecto a  $90^\circ$ . El ángulo  $\delta$  puede ser muy pequeño en el caso de un aislamiento en buen estado, del orden de  $10^{-5}$ " (1).

Dependiendo del resultado que nos arroja la prueba tangente delta, el objeto sometido a ensayo nos podría presentar:

- Descomposición y envejecimiento del aislamiento
- Grietas en el aislamiento
- Ruptura de capas del aislamiento
- Descargas parciales
- Humedad

### 2.3. Definición de términos básicos.

**Capacitancia.** “Es una medida de la cantidad de energía eléctrica almacenada para una diferencia de potencial eléctrico dada” (1).

C = Capacitancia

q = es la razón de una cantidad de carga eléctrica almacenada en un condensador

V = Diferencia de potencial

$$C = \frac{q}{V}$$

*Nota.* Tomado de “IEEE. Std 286-2000”, por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, 2000, New York, Estados Unidos de América, ISBN 0-7381-2491-5-SS94854

**Tensión eléctrica.** “Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de una red eléctrica.” (4).

**Tip-up.** “Ensayo a distintas tensiones” (5)

**Datos.** “Medidas de diversas variables, principalmente de forma automática por medio de un equipo del que forma parte un ordenador.” (4)

**Diagnóstico.** Proceso para determinar las causas de una falla o mal funcionamiento de un equipo.

**Diseño.** “Es un proceso de planificación en el que se persigue la solución para algún problema concreto” (6).

**Energía.** “Cada una de las magnitudes físicas cuyos valores se pueden intercambiar entre sí y con trabajo.” (4)

**Condensador.** “Conjunto de dos conductores separados por un dieléctrico” (4)

**Descarga parcial.** Ruptura dieléctrica localizada en la región de aislamiento.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Métodos y Alcance de la Investigación**

#### **3.1.1. Método de investigación**

Para realizar el trabajo de investigación “Metodología adecuada para medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del Complejo Hidroenergético Mantaro”, se utilizó el siguiente método: método experimental.

#### **3.1.2. Nivel de investigación**

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio descriptivo, siendo descrito los ensayos efectuados (27).

#### **3.1.3. Tipo de investigación**

El tipo de investigación de la presente tesis es aplicada, puesto que se tomarán los datos reales para desarrollar la presente investigación (27).

#### **3.1.4. Alcance de la investigación**

El alcance de la presente tesis es descriptivo porque se establece una metodología adecuada para medir el aislamiento del devanado del estator.

### **3.2. Diseño de la investigación**

La investigación de la tesis es de correlacional aplicativo, se obtiene los datos de ensayo a través del procedimiento adecuado con el equipo Doble-M4100 y de acuerdo con las recomendaciones de la norma IEEE Std 286-2000.

### **3.3. Población y Muestra**

#### **3.3.1. Población**

La población para llevar a cabo la presente tesis está conformada por los generadores del Complejo Hidroenergético Mantaro.

### **3.3.2. Muestra**

La muestra de la presente tesis está conformada por los generadores SAM y RON del Complejo Hidroenergético Mantaro.

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1. Técnicas de recolección de datos**

La técnica de recolección de datos utilizada en la presente tesis es el análisis documental, información de manuales de fabricantes, catálogos, artículos científicos, publicaciones físicas y virtuales. Además, de capacitaciones impartidas por la empresa e ingenieros con amplio conocimiento en temas de medición.

### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

Para realizar los ensayos de medición se utilizó el equipo DOBLE M4100-DTA DTAF, con tensiones de prueba escalonadas para las pruebas Tan  $\delta$  y capacitancia de acuerdo con la norma de la IEEE.

## **3.5. Medición de capacitancia y tan $\delta$ en el generador síncrono**

### **3.5.1. Prueba de tan $\delta$ y Capacitancia**

En estos ensayos se evaluará las pérdidas dieléctricas, de la homogeneidad del aislamiento y de la capacitancia del devanado. De estos ensayos se pueden obtener indicios certeros de estas posibles fallas:

- Deterioro o envejecimiento
- Determinar la presencia de humedad y otros contaminantes.

La medición de tangente delta al estator se realizó en forma escalonada desde el 25% de la tensión de fase hasta la tensión de fase ( $V_L/\sqrt{3}$ ).  $V_L = 13.8\text{kV}$ . Asimismo, el ensayo de tangente delta y capacitancia se realizó de acuerdo con la recomendación de la norma IEEE Std. 286-2000. Cabe destacar que en la norma referenciada no se indican los valores de tangente delta considerados aceptables por lo que para el análisis de los

resultados se hará referencia a la norma VDE que establece 4% al 20% de la tensión de fase como un valor aceptable.

Los valores de TIP-UP se han calculado restando el valor de tangente delta al 100% de la tensión nominal de fase del valor al 20% de la tensión nominal de fase.

### 3.5.2. Procedimiento para la realización de ensayos en la bobina

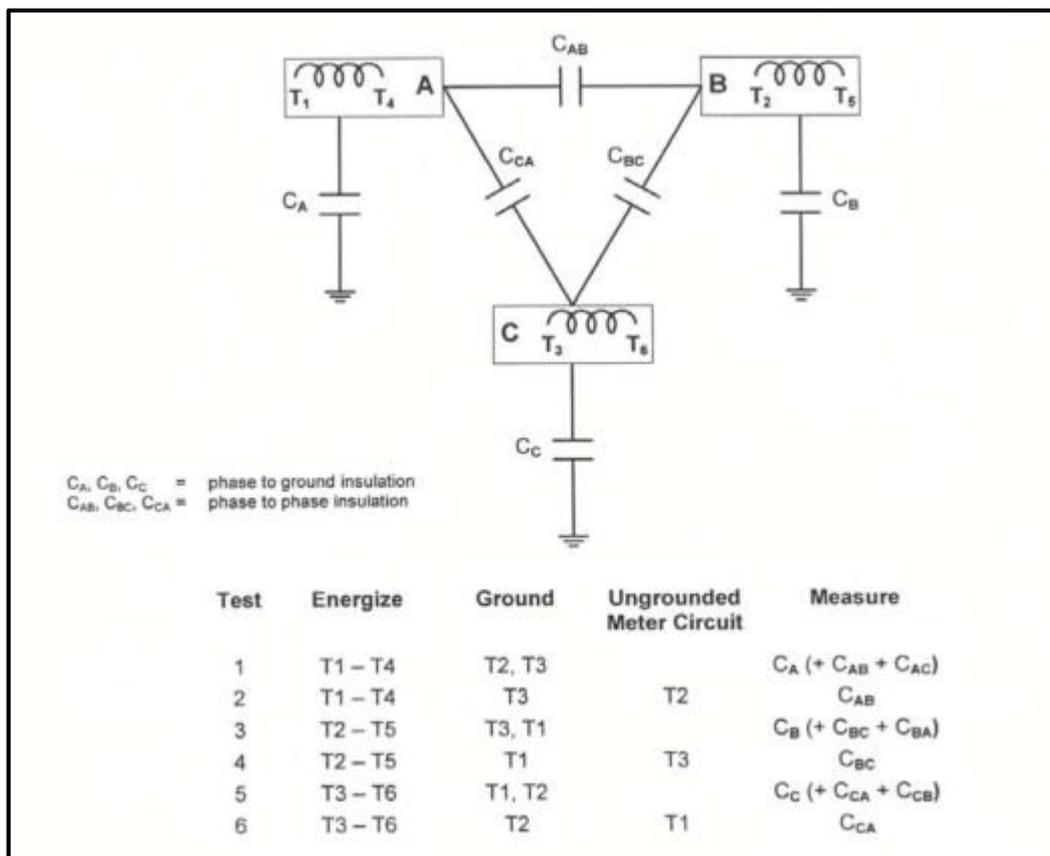


Figura 4. Circuito dieléctrico y procedimiento de prueba para el devanado ensamblado de una Máquina trifásica/de seis terminales con los devanados trifásicos separados. Tomado de “IEEE. Std 286-2000”, por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, 2000, New York, Estados Unidos de América, ISBN 0-7381-2491-5-SS94854

- i. Los ensayos de tangente delta se realizarán con el generador fuera de servicio (sin tensión).
- ii. Aislar o separar las fases tanto, es decir, que cada fase pueda ser probada por separado.

- iii. Proceder a realizar el cortocircuito entre las fases y neutro (A-neutro, B-neutro, C-neutro).
- iv. Desconectar los sensores RTD's (si los hubiera) cortocircuitar y ponerlos a tierra.
- v. Proceder con la realización del ensayo según corresponda (protocolo de Doble Engineering CO):
- vi. Tensiones de prueba, las pruebas dobles de aislamiento fase a tierra del devanado estático son realizadas a diferentes tensiones, empezando desde 2 KV y continuando, en pasos, arriba del rango de la tensión nominal línea a tierra hasta alcanzar esta la tensión. Ver la siguiente tabla:

Tabla 3  
*Voltaje de prueba recomendado*

<b>Machine Voltage Rating (kV)</b>	<b>Test Voltage (kV)</b>
2.4	1.4
4.16	0.5, 2.4
7.2	1, 4
12.47	2, 4, 6, 7, 2
13.8	2, 4, 6, 8
14.4	2, 4, 6, 8, 8.3
18	2, 4, 6, 8, 10.4
20	2, 4, 6, 8, 10, 11.5

*Nota.* Tomado de "IEEE. Std 286-2000", por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, 2000, New York, Estados Unidos de América, ISBN 0-7381-2491-5-SS94854

- a) Se energiza la fase "A" comenzando con una tensión de 2 KV hasta llegar a la tensión máxima permitida por el equipo en prueba (Hasta el 100% de la tensión

línea a masa). Los conductores de baja tensión (LV Red y LV Blue) serán conectados a las otras fases según corresponda.

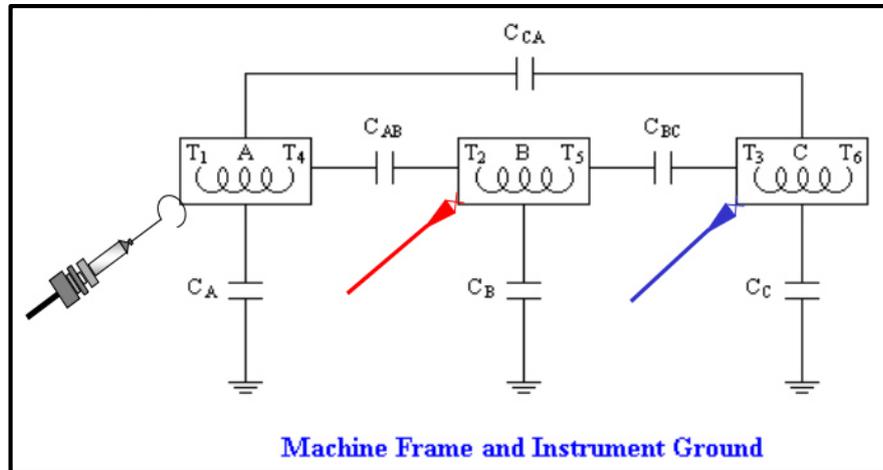


Figura 5. Conexión para Medir CA y CAB. Tomado de Doble Test procedures, por Doble Engineering Company, Watertown MA 02472, 2000, Estados Unidos de América.

b) Se procede a energizar la fase B y se calcula los valores de %FP y Capacitancia de “B” y “B-C”.

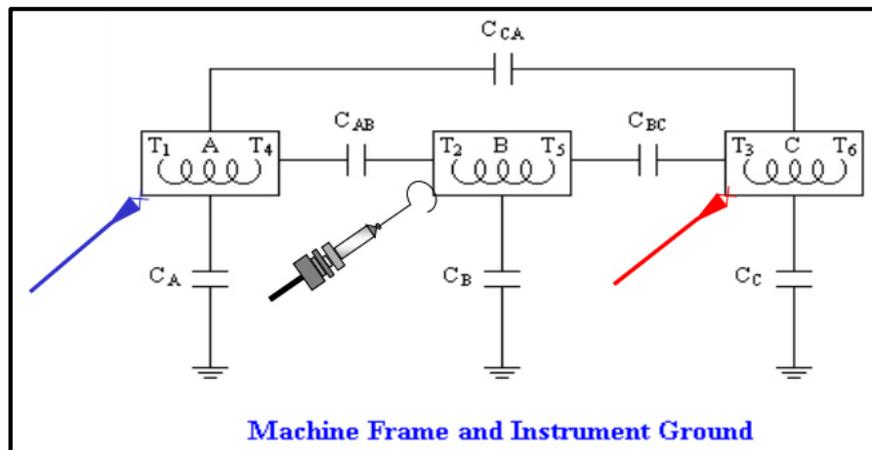


Figura 6. Conexión para medir CB y CBC. Tomado de Doble Test procedures, por Doble Engineering Company, Watertown MA 02472, 2000, Estados Unidos de América.

c) Energizar la Fase “C” y se calcula los valores de %FP de “C” y “C-A”.

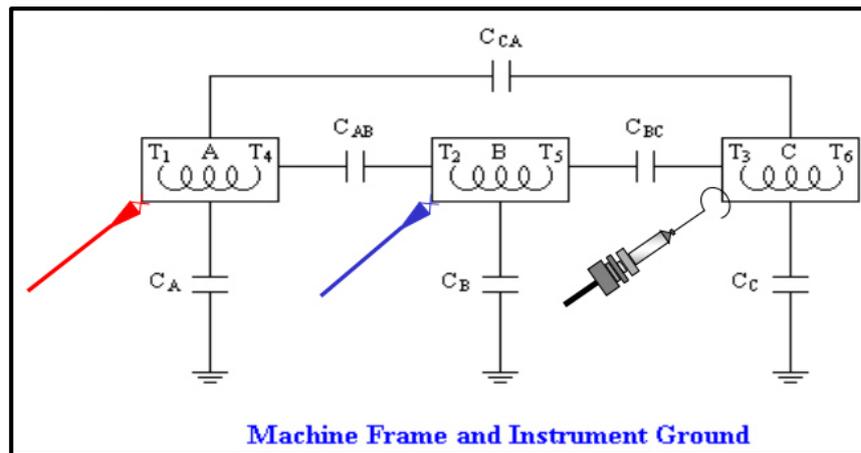


Figura 7. Conexión para medir CC y CCA. Tomado de Doble Test procedures, por Doble Engineering Company, Watertown MA 02472, 2000, Estados Unidos de América.

Se calculará el porcentaje de factor de potencia y capacitancia para la fase A, (devanado a tierra), así como los valores de las Interfases A-B.

Tabla 4  
*Test Procedure for Units Without Water Cooling*

Test N.	Test mode	Phase Energized	Phase Ground	Phase UST	Insulation Measure
1	GST	A	B, C	-	A+ (A-B & A-V)
2	UST	A	C	B**	A-B (Interphase)***
3	GST	B	C, A	-	B+ (B-C & B-A)
4	UST	B	A	C**	B-C (Interphase)***
5	GST	C	A, B	-	C+ (C-A & C-B)
6	UST	C	B	A**	C-A (Interphase)***

*Nota:* Doble Test procedures, por Doble Engineering Company, Watertown MA 02472, 2000, Estados Unidos de América.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultado de las Pruebas

La medición de tangente delta al estator se realizó en forma escalonada desde el 25% de la tensión de fase hasta la tensión de fase ( $V_L/\sqrt{3}$ ).  $V_L = 13.8\text{kV}$ .

El ensayo de tangente delta y capacitancia se realizó de acuerdo a la recomendación de la norma IEEE Std. 286-2000. Cabe destacar que en la norma referenciada no se indica los valores de tangente delta considerados aceptables por lo que para el análisis de los resultados se hará referencia a la norma VDE que establece 4% al 20% de la tensión de fase como un valor aceptable.

Los valores de tip-up se han calculado restando el valor de tangente delta al 100% de la tensión nominal de fase del valor al 20% de la tensión nominal de fase.

#### 4.1.1. Generador G2-C.H. RON

##### 4.1.1.1. *Condiciones ambientales de la prueba*

Tabla 5  
*Condiciones ambientales de la prueba G2- C.H. RON*

Fecha	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura del aislamiento [°C]	HR [%] Ambiente
01/10/2017	44	52	42

#### 4.1.1.2. Medición de tangente delta

Tabla 6  
Resultados de factor de potencia G2- C.H. RON

Test	Test kV	Cap. (pF)	%Tan $\delta$	tip-up
<b>U</b>	2	617884.00	1.96	1.38
	4	621347.00	2.32	
	6	625004.00	2.80	
	8	629645.00	3.34	
<b>V</b>	2	615185.00	1.89	1.48
	4	618760.00	2.27	
	6	622672.00	2.80	
	8	627795.00	3.37	
<b>W</b>	2	620290.00	1.82	1.33
	4	623125.00	2.17	
	6	627238.00	2.64	
	8	631537.00	3.15	
<b>U-V</b>	2	5113.10	1.91	-0.36
	4	5104.80	1.77	
	6	5098.60	1.65	
	8	5093.60	1.55	
<b>V-W</b>	2	5279.30	2.05	-0.41
	4	5268.00	1.90	
	6	5258.00	1.76	
	8	5251.40	1.64	
<b>W-U</b>	2	5387.10	1.90	-0.45
	4	5376.30	1.76	
	6	5365.60	1.60	
	8	5359.20	1.45	

#### 4.1.1.3. Gráfica de capacitancia, tangente delta y tip-up

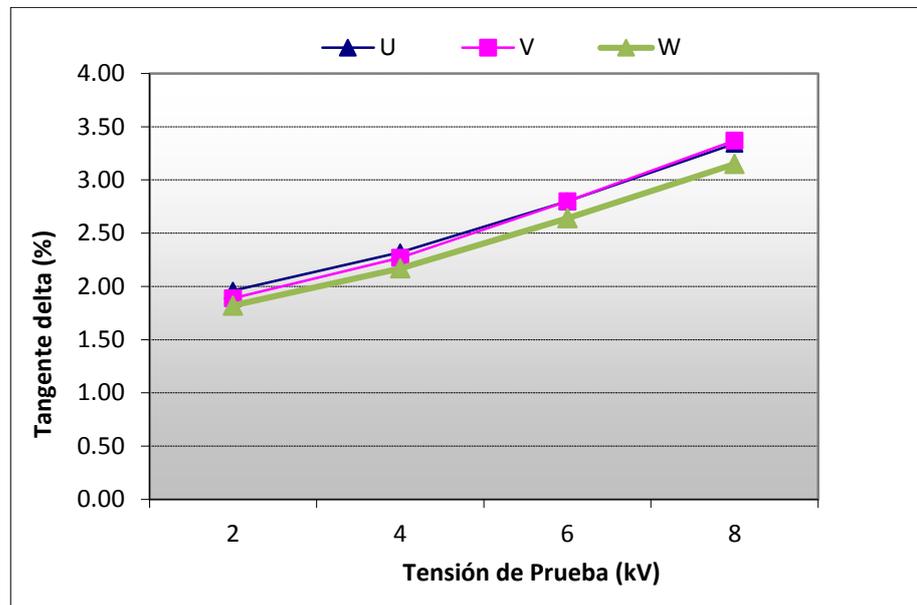


Figura 8. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases del G2-C.H. RON.

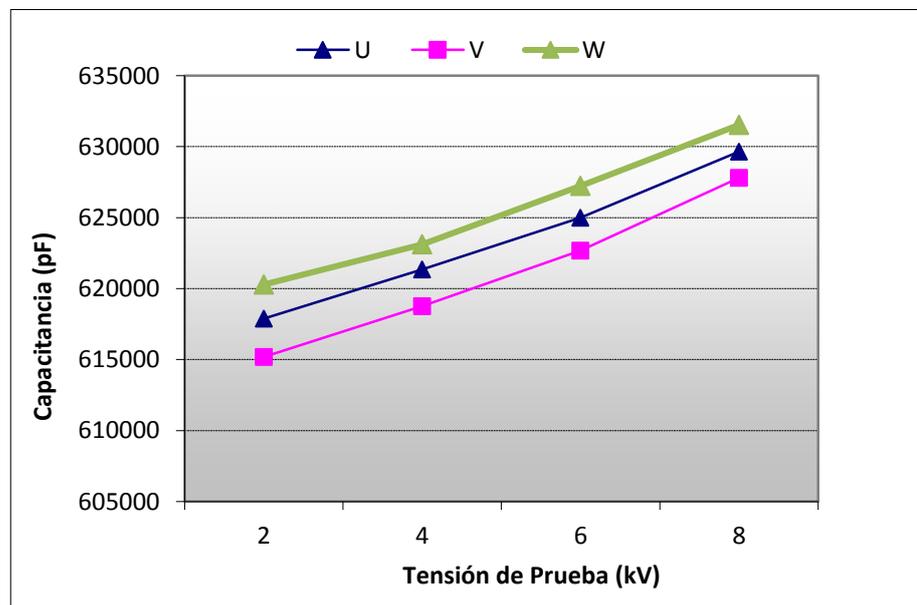


Figura 9. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases del G2-C.H. RON.

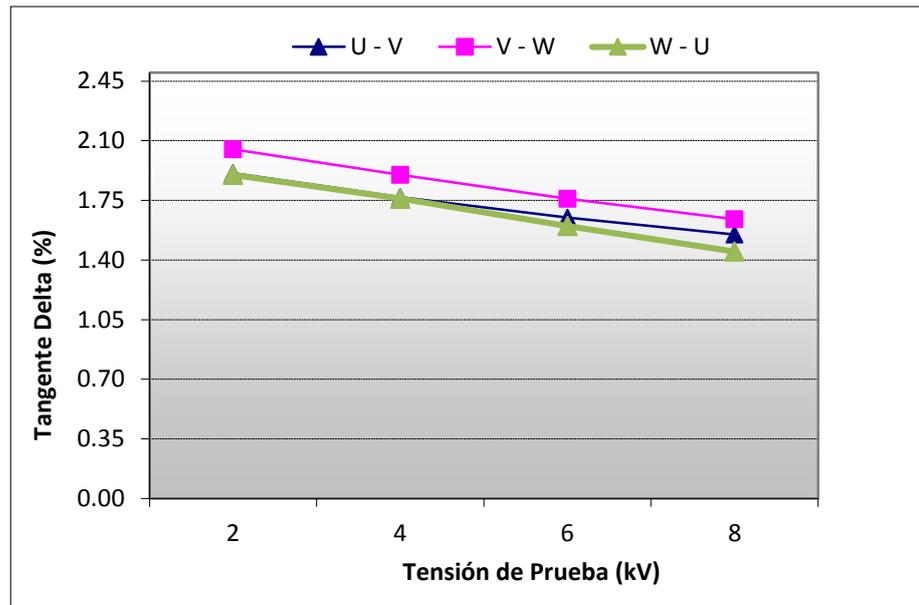


Figura 10. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases del G2-C.H. RON.

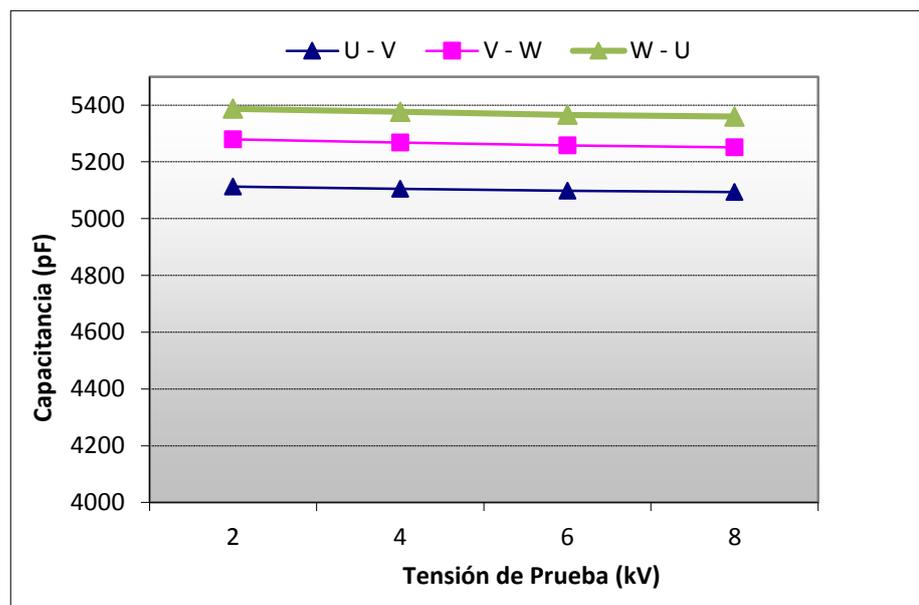


Figura 11. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases del G2-C.H. RON.

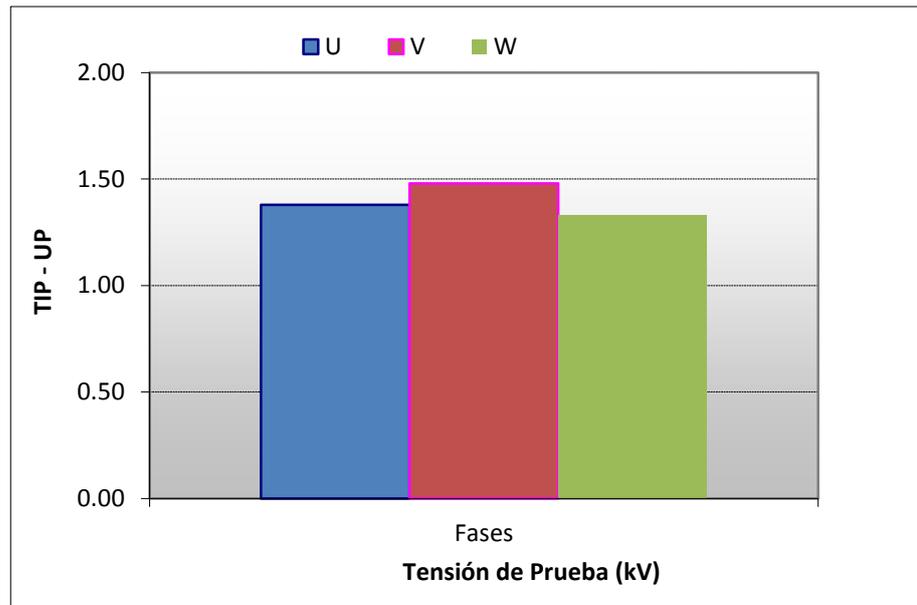


Figura 12. Tip up de los valores de tangente delta “fase vs tierra” del G2-C.H. RON.

#### 4.1.1.4. Tendencia de capacitancia, tangente delta y tip-up

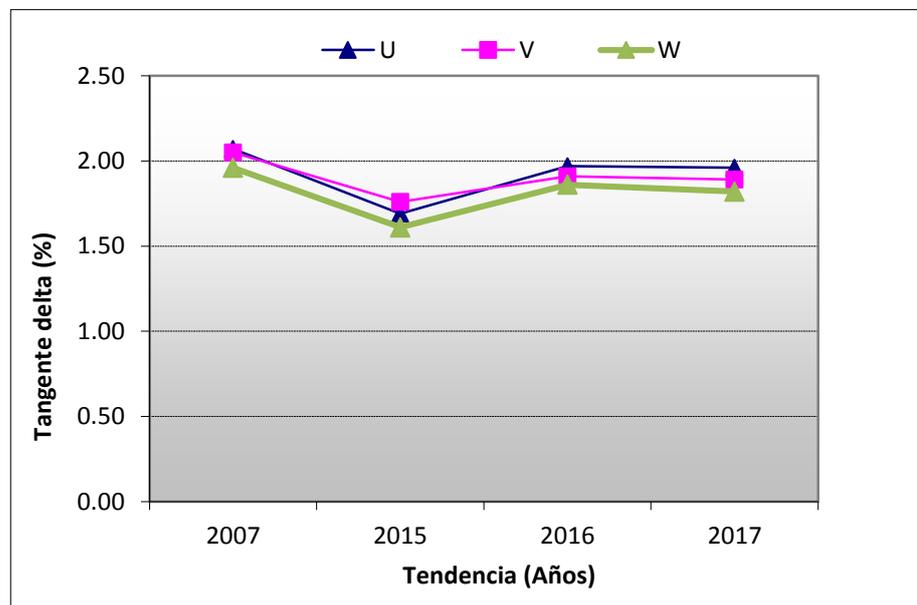


Figura 13. Tendencia en el tiempo a 2 Kv tangente delta “fases vs tierra” G2-C.H. RON.

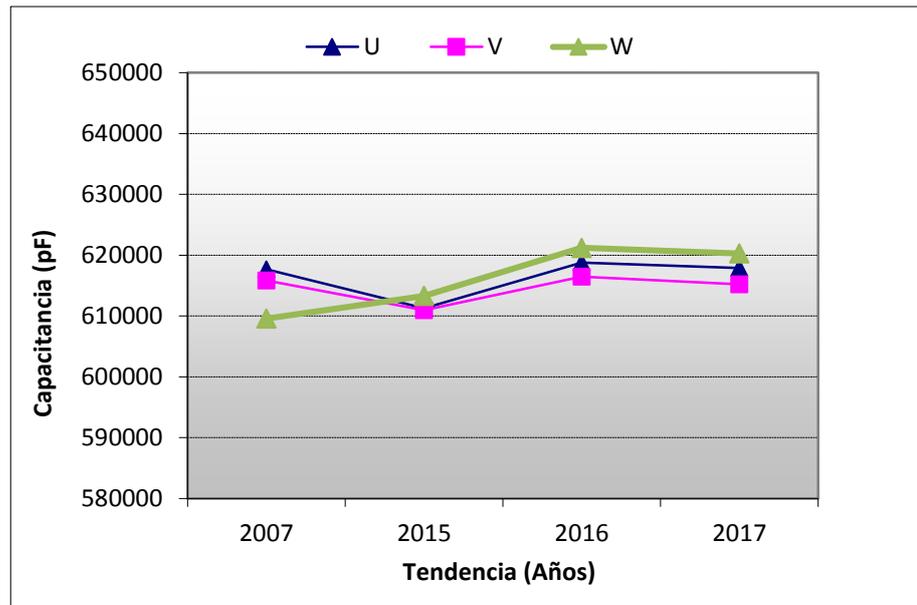


Figura 14. Tendencia en el tiempo a 2kV capacitancia “fase vs tierra” G2-C.H. RON.

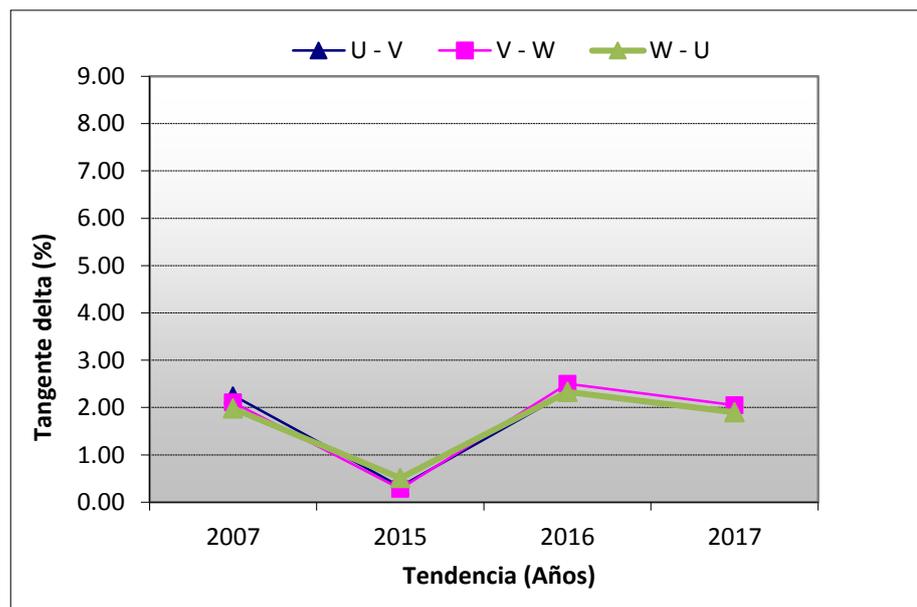


Figura 15. Tendencia en el tiempo a 2kV tangente delta “fase vs fase” G2-C.H. RON.

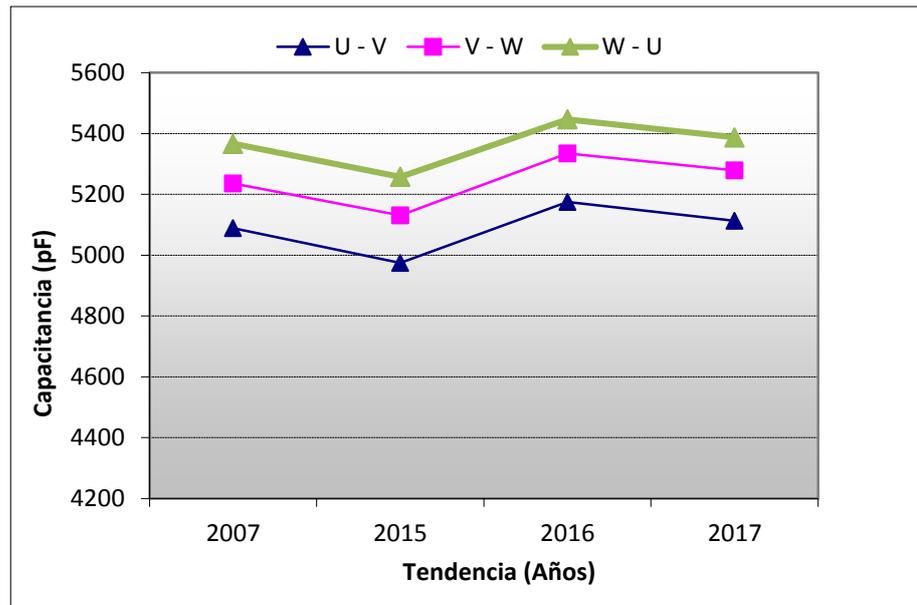


Figura 16. Tendencia en el tiempo a 2kV capacitancia “fase vs fase” G2-C.H. RON

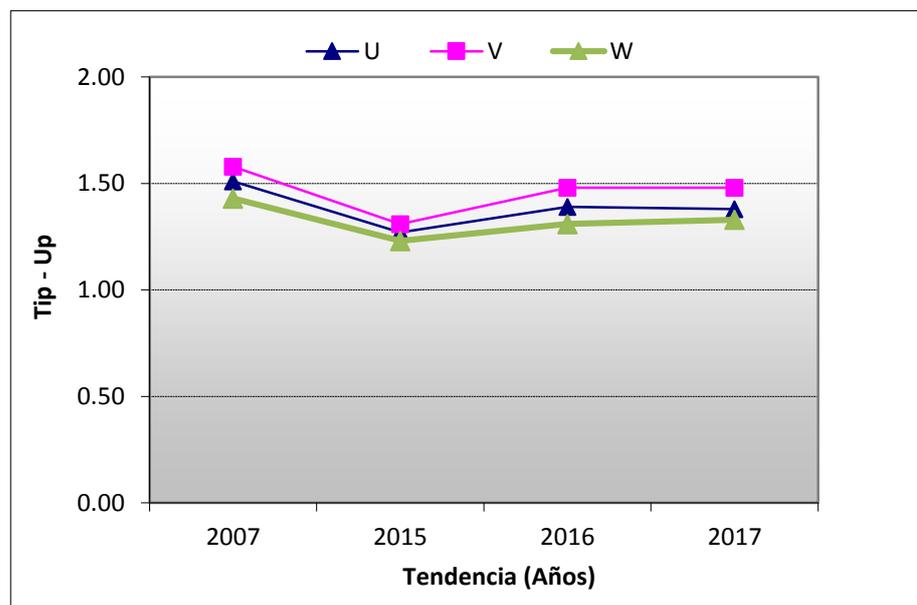


Figura 17. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra del G2-C.H. RON.

#### 4.1.1.5. *Evaluación del Generador G2-C.H. RON*

Evaluación: **aceptable**

Los resultados indican un comportamiento normal del aislamiento.

Además, los valores de tangente delta se encuentran dentro de los valores aceptables según lo indicado por norma. Asimismo, los resultados de tip-up indican que pueden existir descargas parciales moderadas, sin embargo, se recomienda realizar ensayos de descargas parciales para evaluar el nivel de estas.

#### 4.1.2. **Generador G1-C.H. RON**

##### 4.1.2.1. *Condiciones Ambientales de la prueba*

Tabla 7

*Condiciones ambientales de la prueba G1- C.H. RON*

Fecha	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura del aislamiento [°C]	HR [%] Ambiente
14/10/2017	45	52.2	45

#### 4.1.2.2. Medición de tangente delta

Tabla 8  
Resultados de factor de potencia G1- C.H. RON

Test	Test kV	Cap. (pF)	%Tan $\delta$	tip-up
<b>U</b>	2	615867.50	1.93	1.10
	4	618790.00	2.21	
	6	622031.90	2.60	
	8	626123.50	3.03	
<b>V</b>	2	614018.00	2.01	1.21
	4	617064.50	2.30	
	6	620807.50	2.76	
	8	625155.50	3.22	
<b>W</b>	2	617447.50	2.01	1.12
	4	620156.50	2.30	
	6	623643.50	2.70	
	8	627835.50	3.13	
<b>U-V</b>	2	5013.10	1.92	-0.9
	4	5000.80	1.64	
	6	4987.00	1.35	
	8	4973.90	1.02	
<b>V-W</b>	2	5220.60	1.96	-0.92
	4	5205.40	1.67	
	6	5192.70	1.36	
	8	5177.10	1.04	
<b>W-U</b>	2	5310.40	2.00	-0.86
	4	5294.50	1.73	
	6	5281.30	1.45	
	8	5268.10	1.14	

#### 4.1.2.3. Gráfica de capacitancia y tangente delta

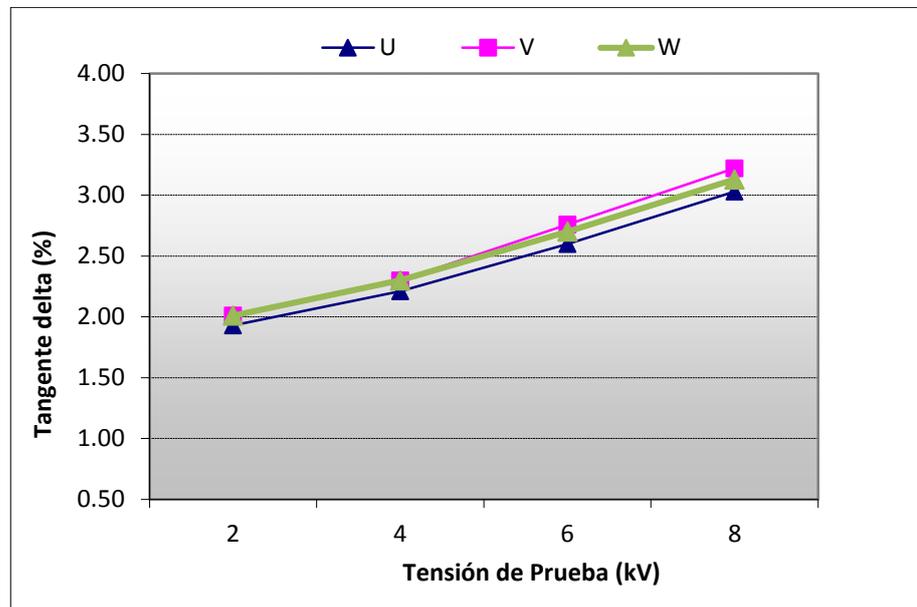


Figura 18. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases del G1-C.H. RON.

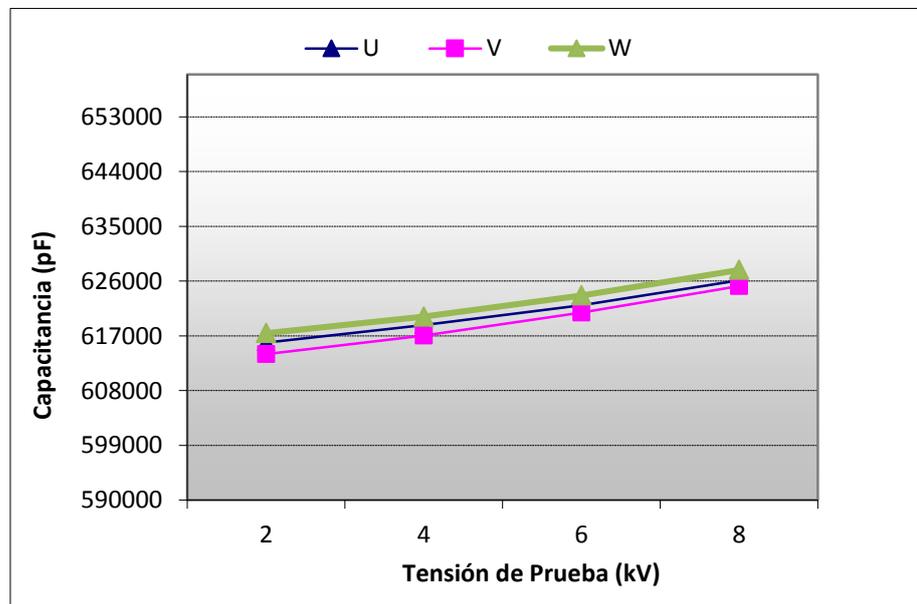


Figura 19. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases del G1-C.H. RON.

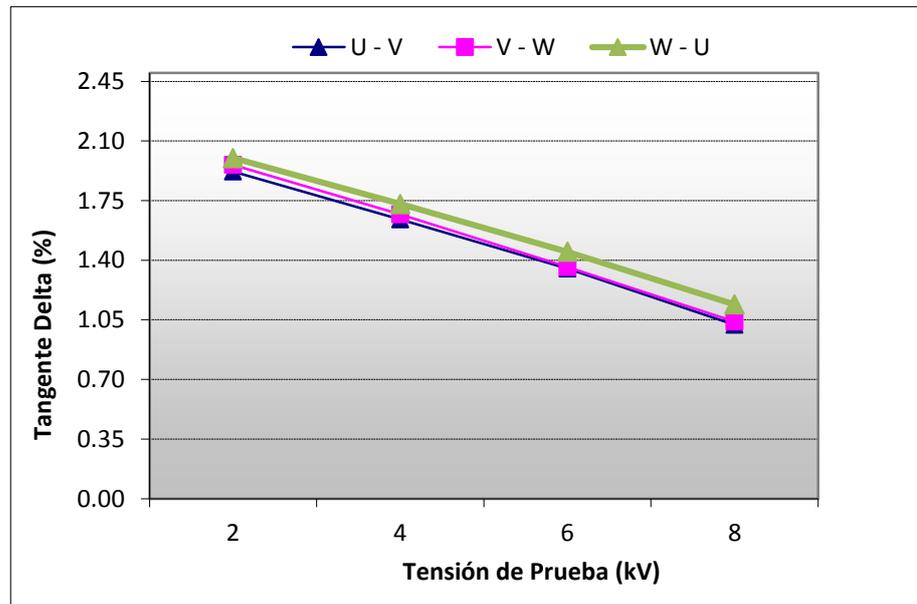


Figura 20. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G1-C.H. RON.

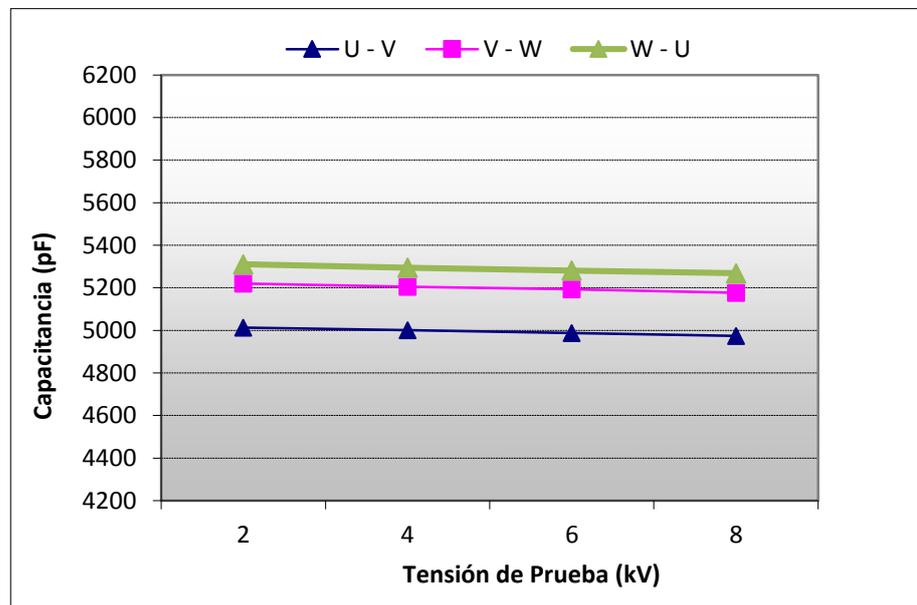


Figura 21. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G1-C.H. RON.

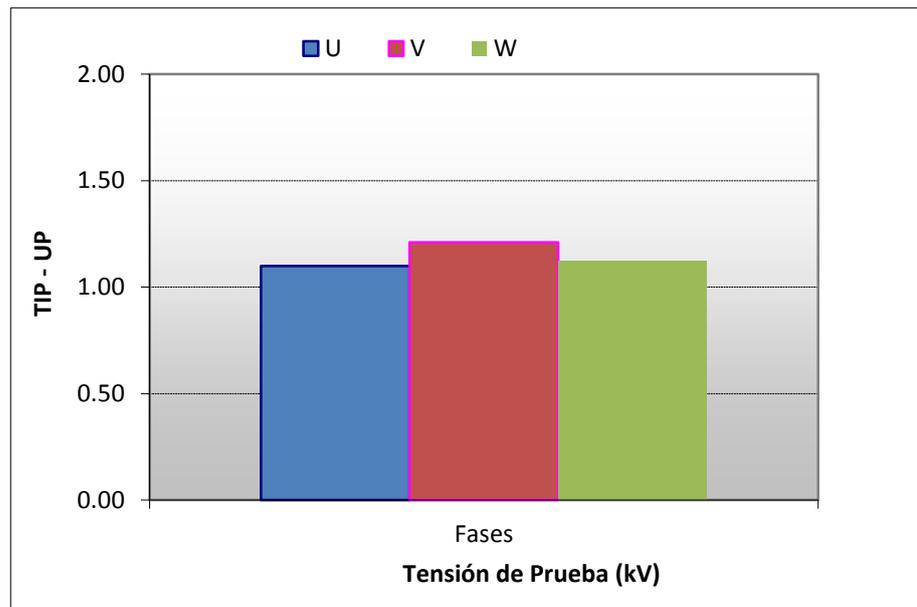


Figura 22. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G1-C.H. RON.

#### 4.1.2.4. Tendencia de capacitancia, tangente delta y tip-up

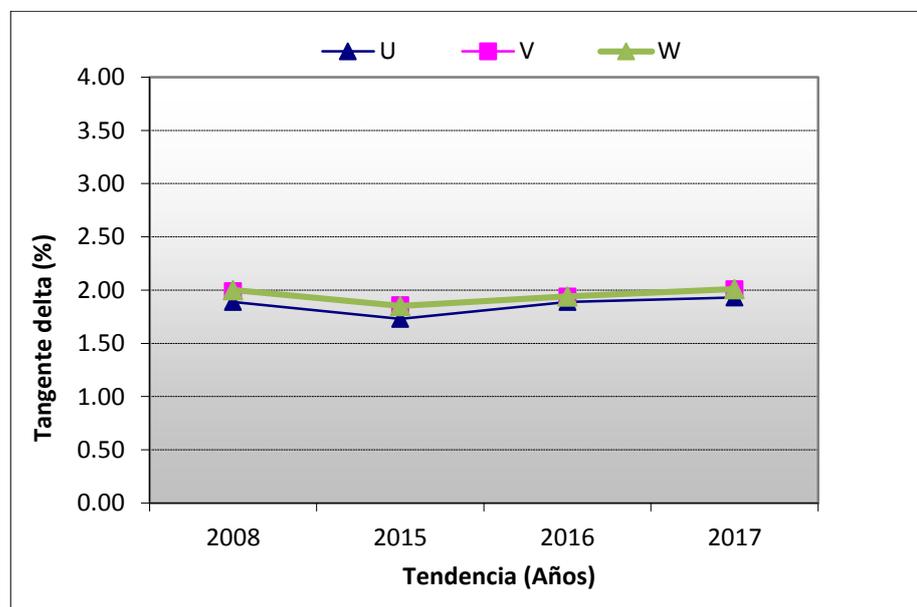


Figura 23. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “Fase vs tierra”. G1-C.H. RON.

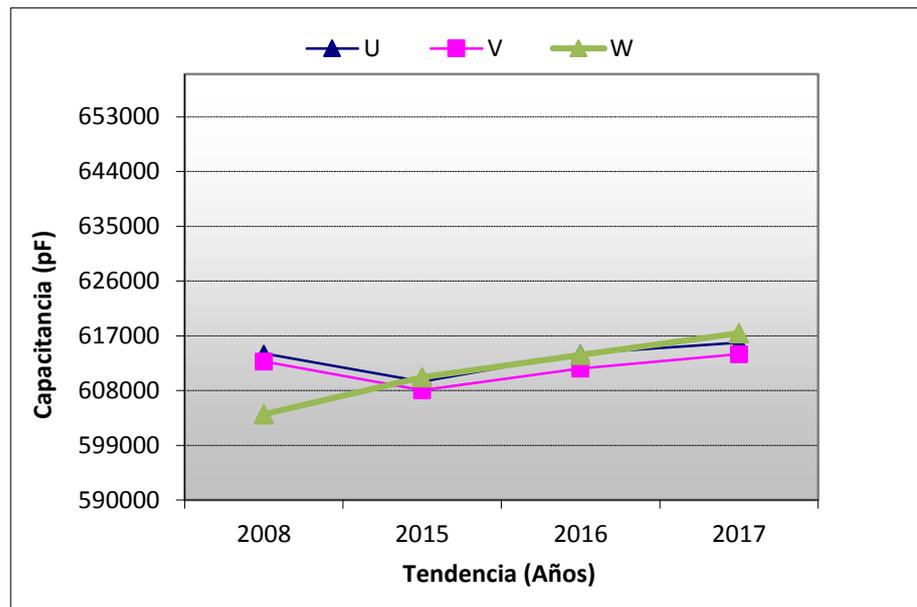


Figura 24. Tendencia en el tiempo a 2kV capacitancia “Fase vs tierra”. G1-C.H. RON.

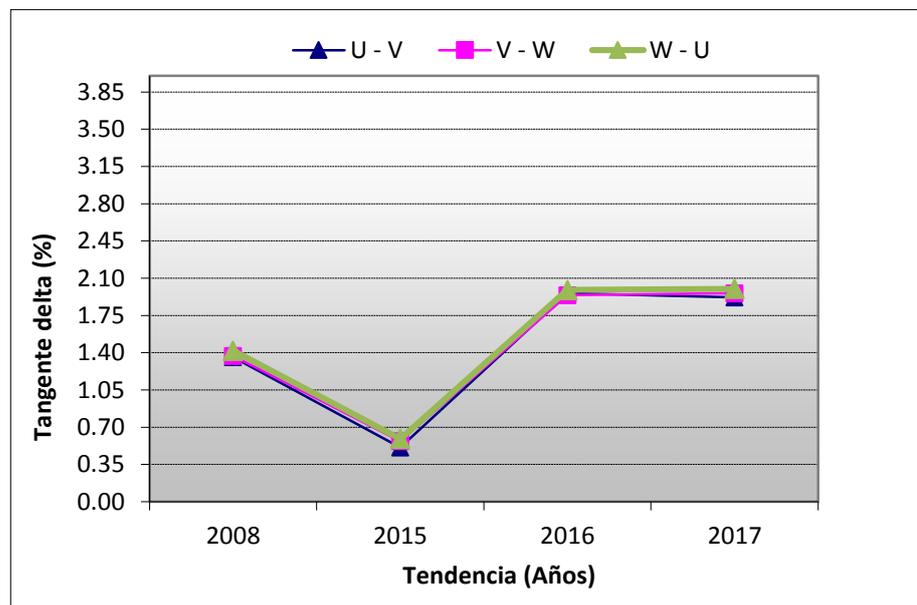


Figura 25. Tendencia en el tiempo a 2kV tangente delta “fase vs fase”. G1-C.H. RON.

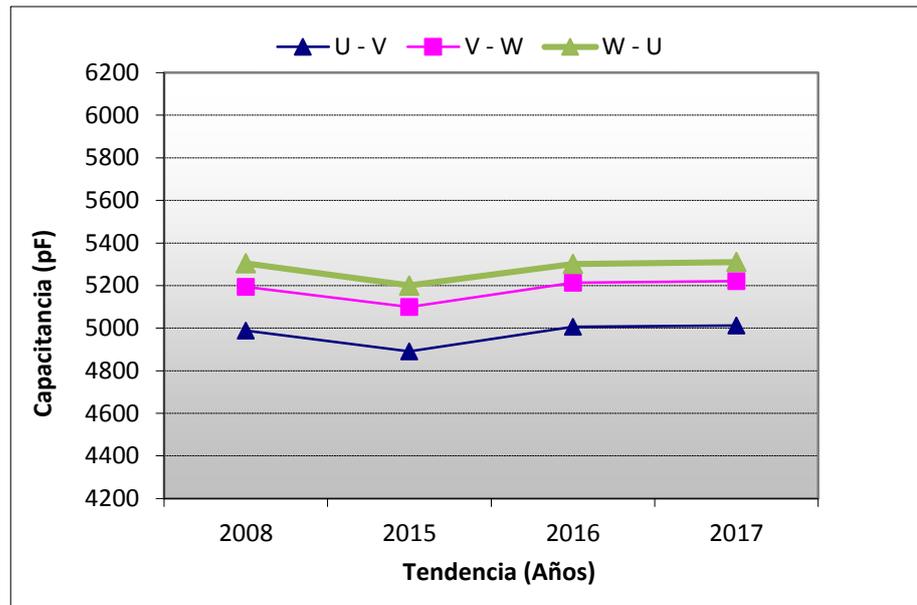


Figura 26. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “Fase vs Fase”. G1-C.H. RON

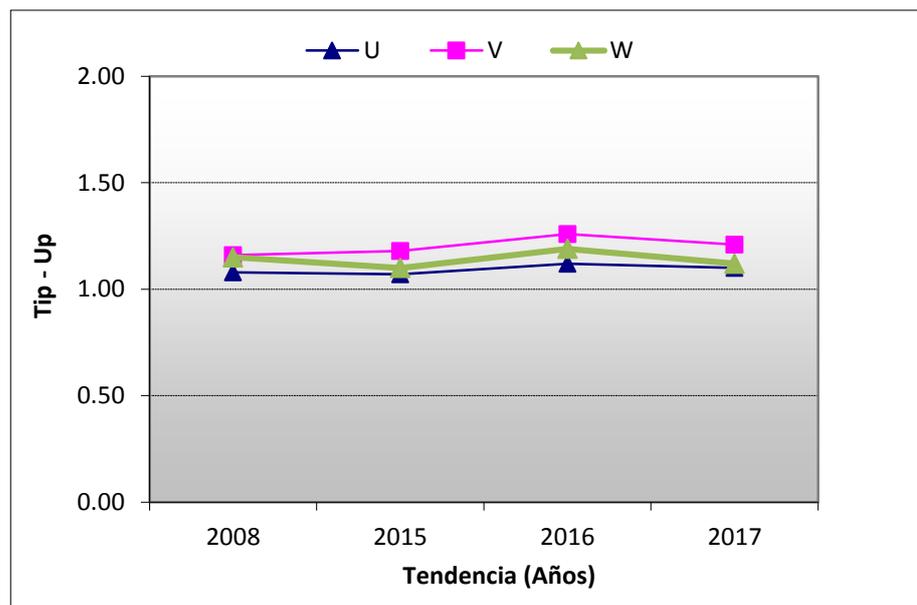


Figura 27. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G1-C.H. RON

#### 4.1.2.5. *Evaluación del Generador G1-C.H. RON*

Evaluación: **acceptable**

Los resultados indican un comportamiento normal del aislamiento.

Además, los valores de tangente delta se encuentran dentro de los valores aceptables según lo indicado por norma. Asimismo, los resultados de tip-up indican que pueden existir descargas parciales moderadas, sin embargo, se recomienda realizar ensayos de descargas parciales para evaluar el nivel de estas.

#### 4.1.3. **Generador G3-C.H. RON**

##### 4.1.3.1. *Condiciones Ambientales de la prueba*

Tabla 9  
*Condiciones ambientales de la prueba G3- C.H. RON*

Fecha	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura del aislamiento [°C]	HR [%] Ambiente
25/11/2017	29	38	40

### 4.1.3.2. Medición de tangente delta

Tabla 10  
Resultados de factor de potencia G3- C.H. RON

Test	Test kV	Cap. (pF)	%Tan $\delta$	tip-up
U	2	605504.90	1.89	1.45
	4	609158.50	2.27	
	6	607272.40	2.75	
	8	607142.50	3.34	
V	2	604863.00	1.94	1.45
	4	607571.50	2.34	
	6	608321.00	2.83	
	8	611547.60	3.39	
W	2	604176.60	1.98	1.49
	4	606687.60	2.38	
	6	607469.00	2.87	
	8	609558.50	3.47	
U-V	2	4890.60	0.55	-1.33
	4	4875.10	0.15	
	6	4858.60	-0.28	
	8	4841.50	-0.78	
V-W	2	4995.80	0.52	-1.37
	4	4981.10	0.10	
	6	4963.10	-0.34	
	8	4944.10	-0.85	
W-U	2	5148.10	0.51	-1.41
	4	5130.50	0.08	
	6	5111.10	-0.37	
	8	5092.40	-0.90	

#### 4.1.3.3. Gráfica de capacitancia y tangente delta

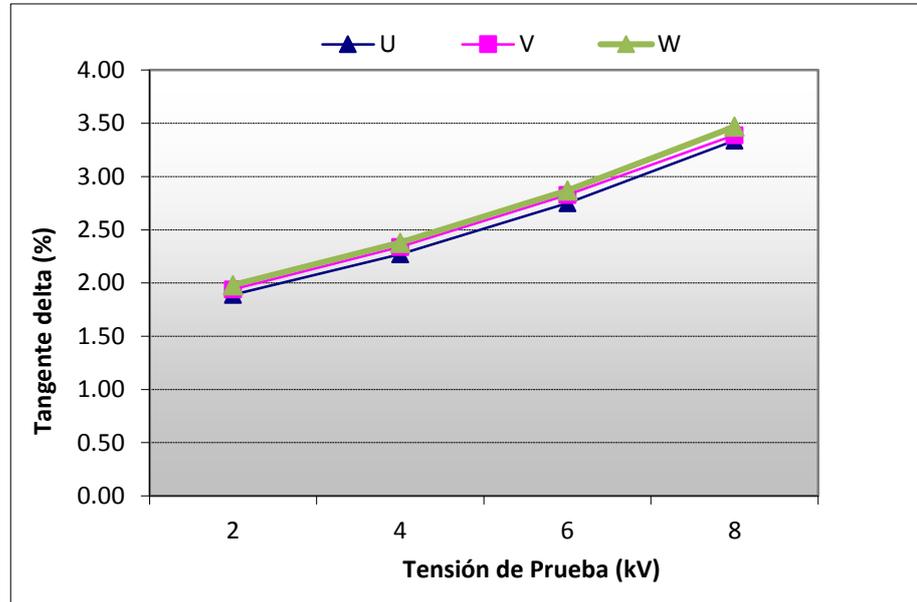


Figura 28. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G3-C.H. RON.

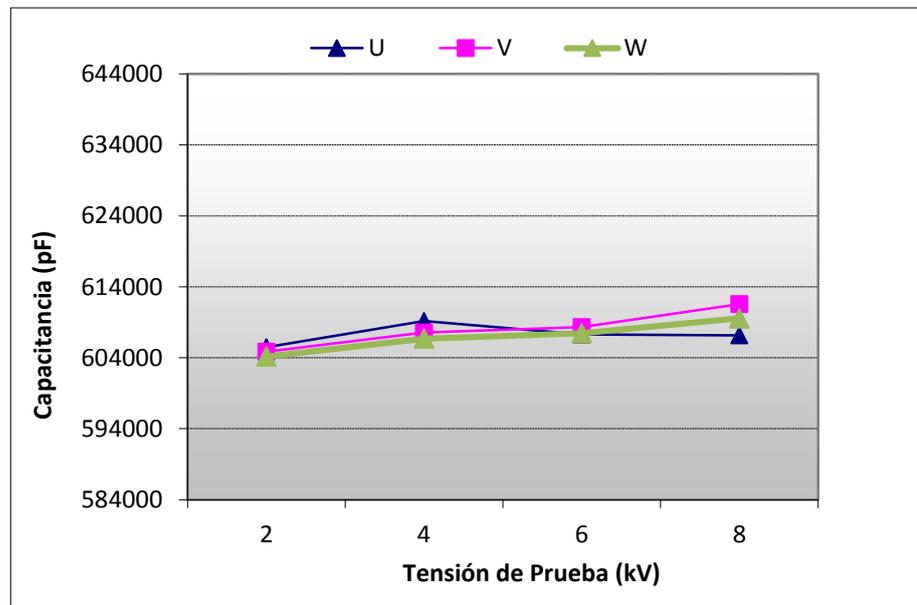


Figura 29. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G3-C.H. RON.

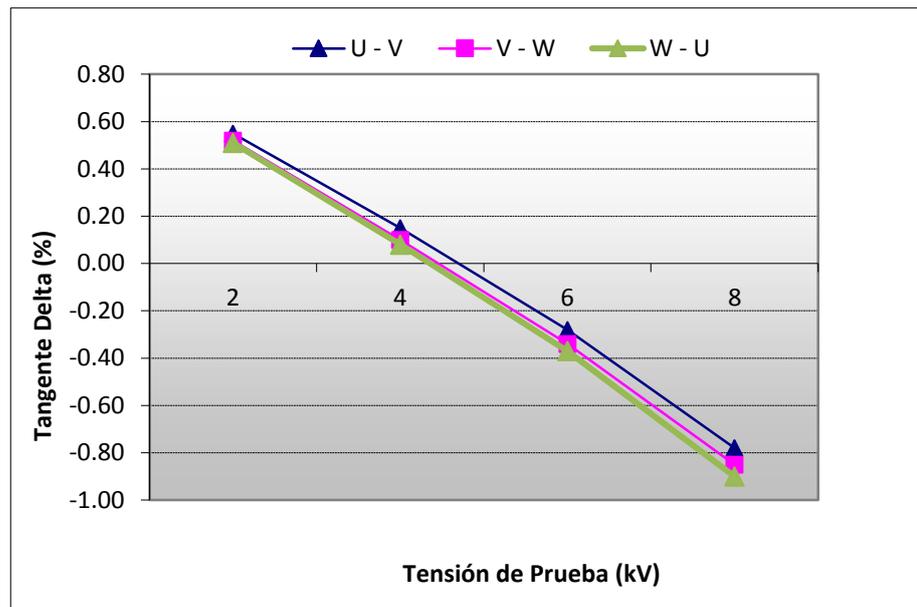


Figura 30. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G3-C.H. RON.

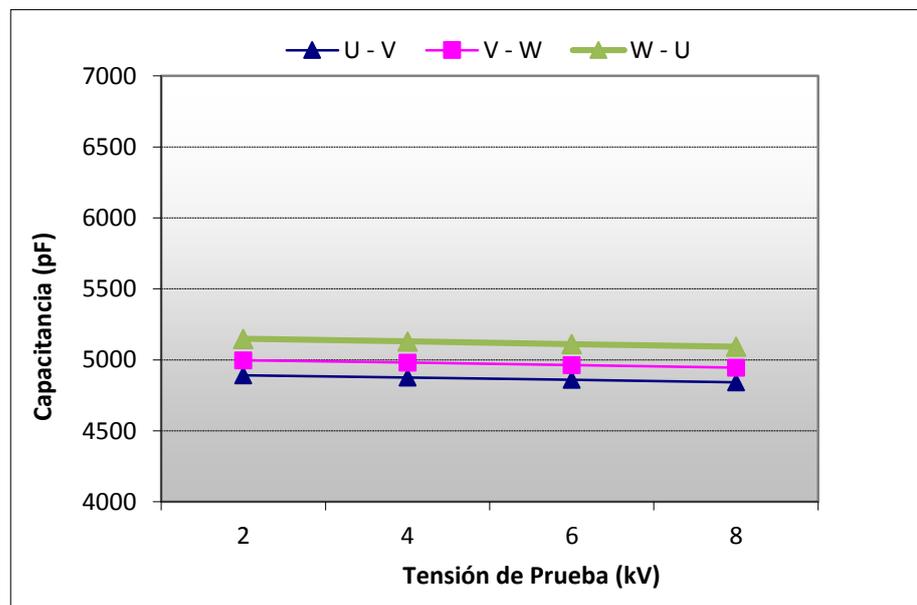


Figura 31. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G3-C.H. RON.

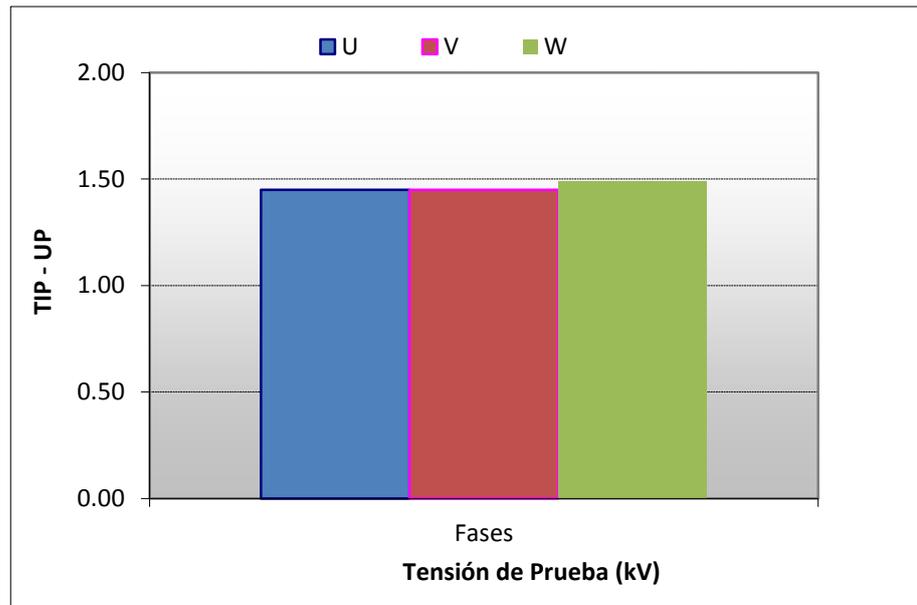


Figura 32. Tip-up de los valores de tangente delta “Fase vs Tierra”. G3-C.H. RON.

#### 4.1.3.4. Tendencia de capacitancia, tangente delta y tip-up

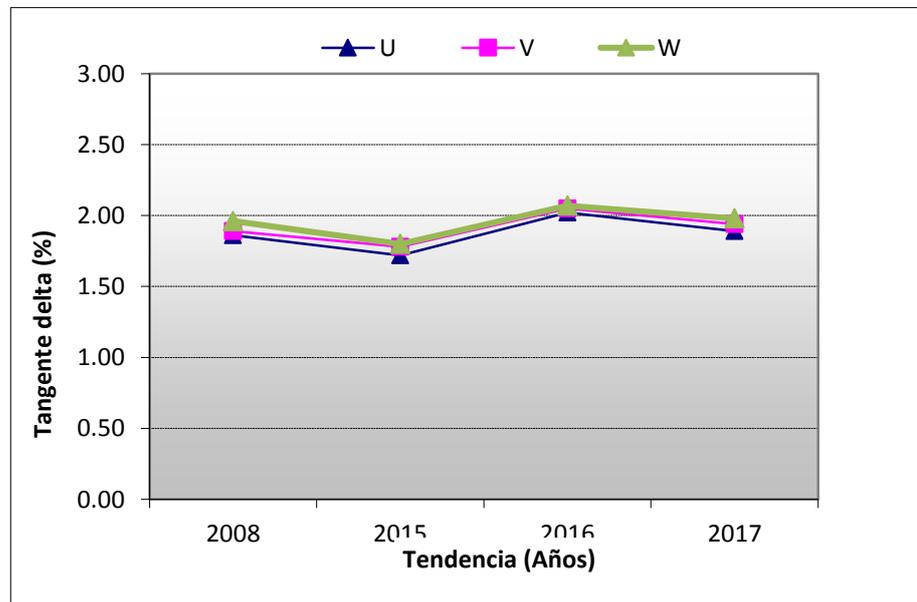


Figura 33. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs tierra”. G3-C.H. RON.

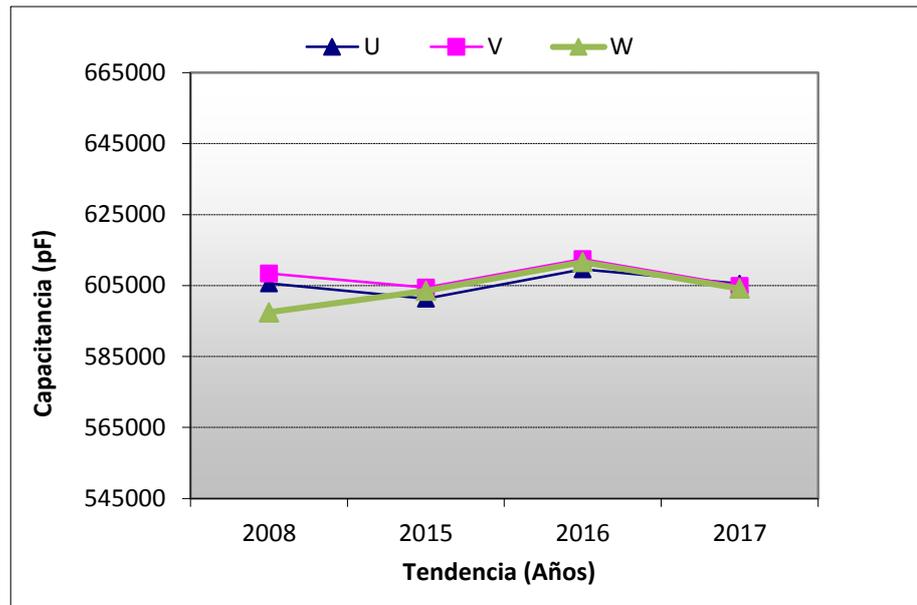


Figura 34. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra”. G3-C.H. RON.

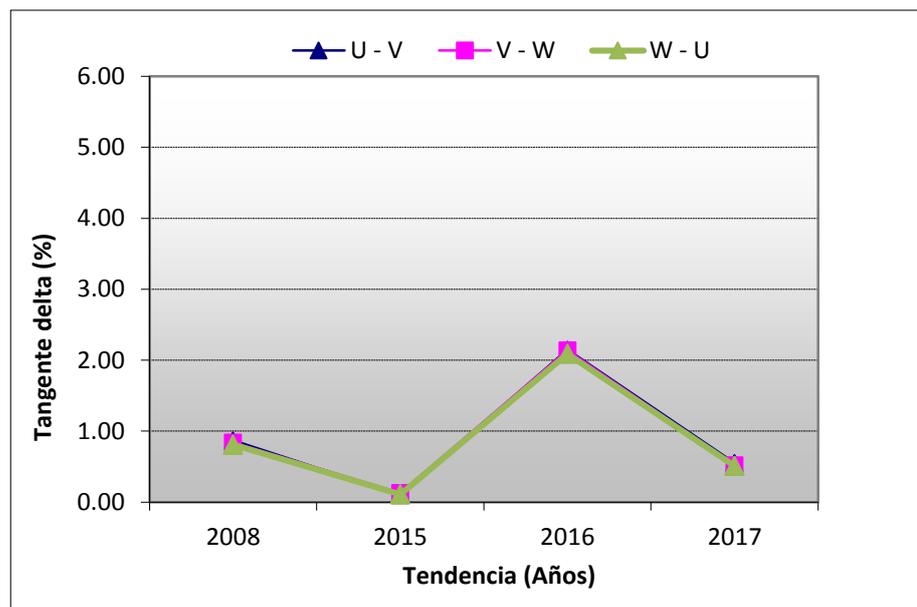


Figura 35. Tendencia en el tiempo a 2kV tangente delta “fase vs fase”. G3-C.H. RON.

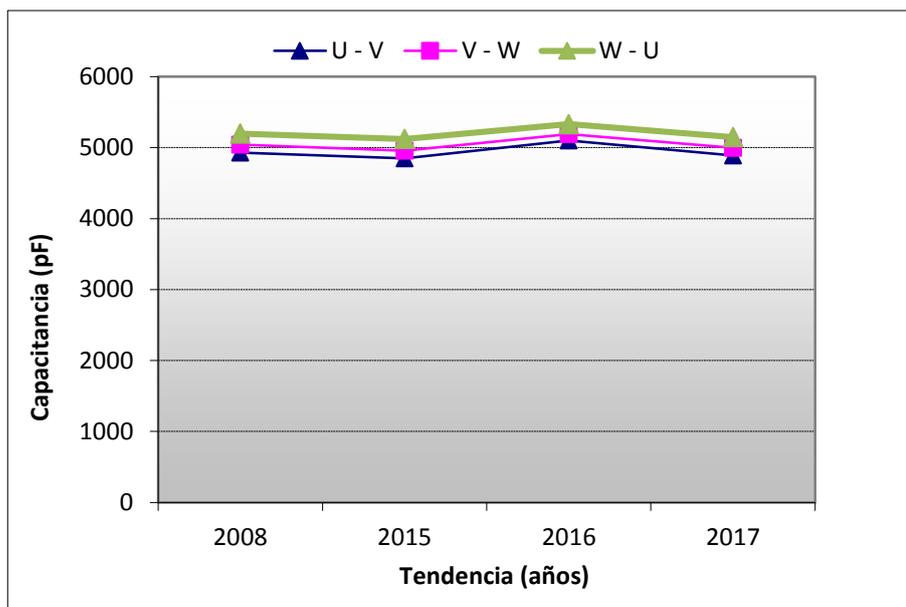


Figura 36. Tendencia en el tiempo a 2kV capacitancia “fase vs fase”. G3-C.H. RON

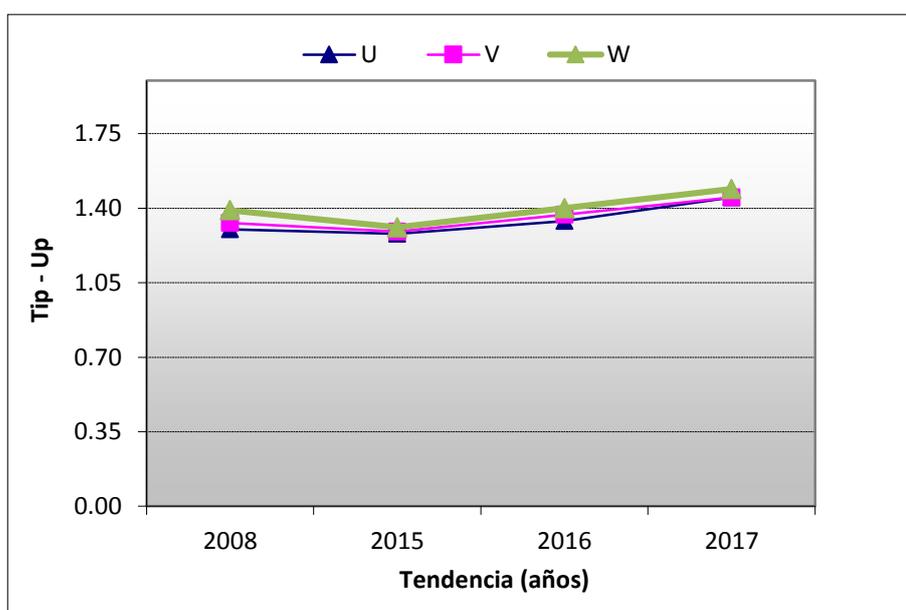


Figura 37. Tendencia de valor de tip-up fase a tierra. G3-C.H. RON

#### 4.1.3.5. Evaluación del Generador G3-C.H. RON

Evaluación: **aceptable**

Los resultados indican un comportamiento normal del aislamiento.

Los valores de tangente delta se encuentran dentro de los valores aceptables según lo indicado por norma.

Los resultados de tip-up indican que pueden existir descargas parciales moderadas, sin embargo, se recomienda realizar ensayos de descargas parciales para evaluar el nivel de estas.

#### 4.1.4. Generador G7-C.H. SAM

##### 4.1.4.1. Condiciones ambientales de la prueba

Tabla 11

*Condiciones ambientales de la prueba G7- C.H. SAM*

Fecha	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura del aislamiento [°C]	HR [%] Ambiente
03/10/2017	33	38	40

##### 4.1.4.2. Medición de tangente delta

Tabla 12

*Resultados de factor de potencia G7- C.H. SAM*

Test	Test kV	Cap. (pF)	%Tan $\delta$	tip-up
U	2	501852.00	1.83	1.28
	4	501804.00	1.97	
	6	506443.00	2.62	
	8	511524.00	3.11	
V	2	501608.00	1.85	1.27
	4	501967.00	1.93	
	6	506489.00	2.56	
	8	511159.00	3.12	
W	2	499118.00	1.83	1.20
	4	499486.00	1.93	
	6	503701.00	2.51	
	8	508181.00	3.03	
U-V	2	4056.50	-0.86	1.24
	4	4071.50	-0.50	
	6	4090.40	-0.15	
	8	4121.10	0.38	
V-W	2	3957.80	-1.15	1.08
	4	3961.20	-1.00	
	6	3974.30	-0.69	
	8	4000.30	-0.07	
W-U	2	3701.00	-1.07	1.68
	4	3713.10	-0.72	
	6	3737.80	-0.16	
	8	3777.50	0.61	

#### 4.1.4.3. Gráfica de capacitancia, tangente delta y tip-up

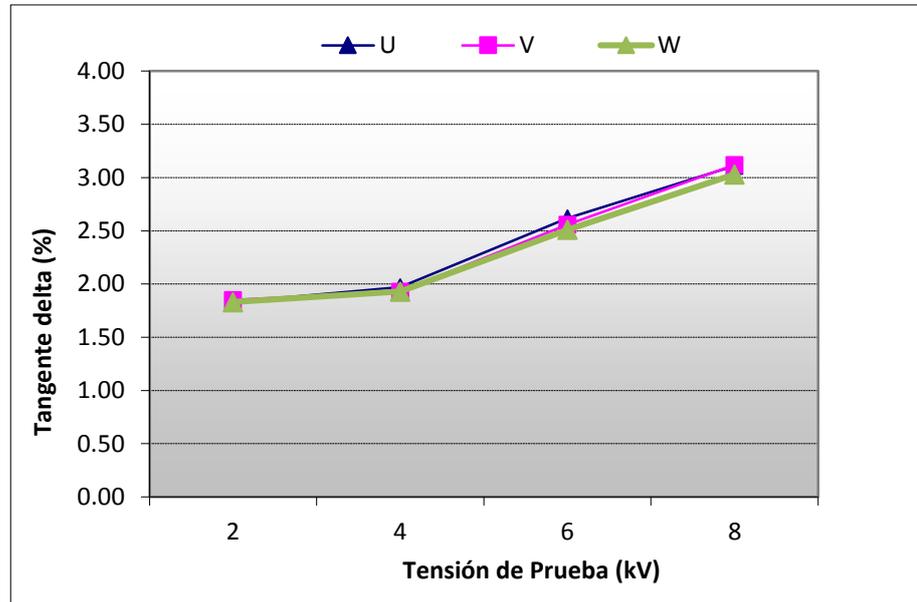


Figura 38. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G7-C.H. SAM.

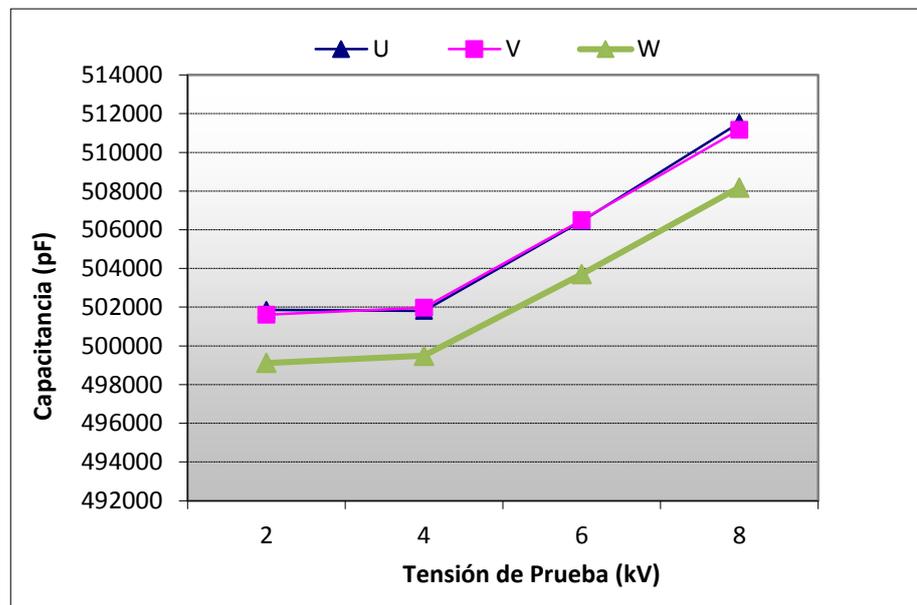


Figura 39. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G7-C.H. SAM.

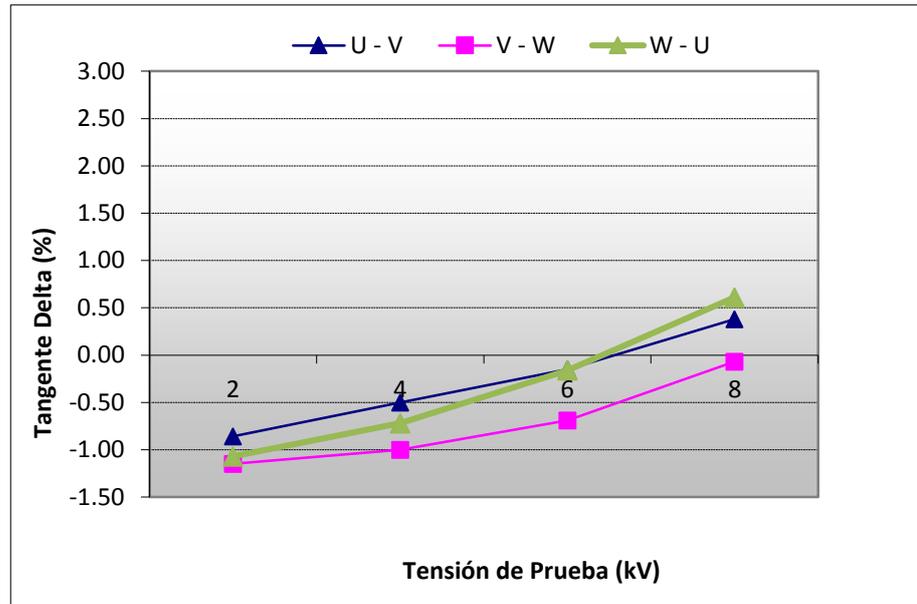


Figura 40. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G7-C.H. SAM.

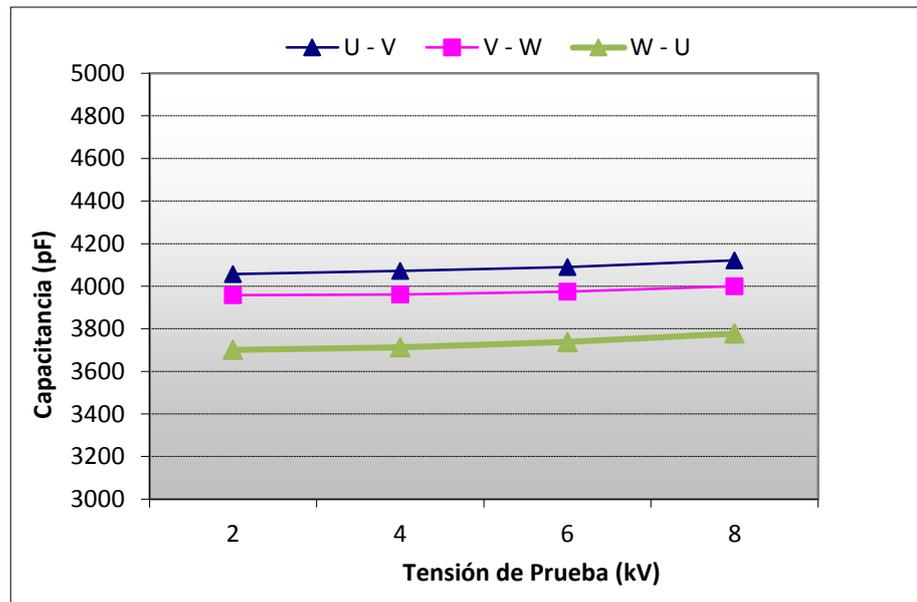


Figura 41. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G7-C.H. SAM.

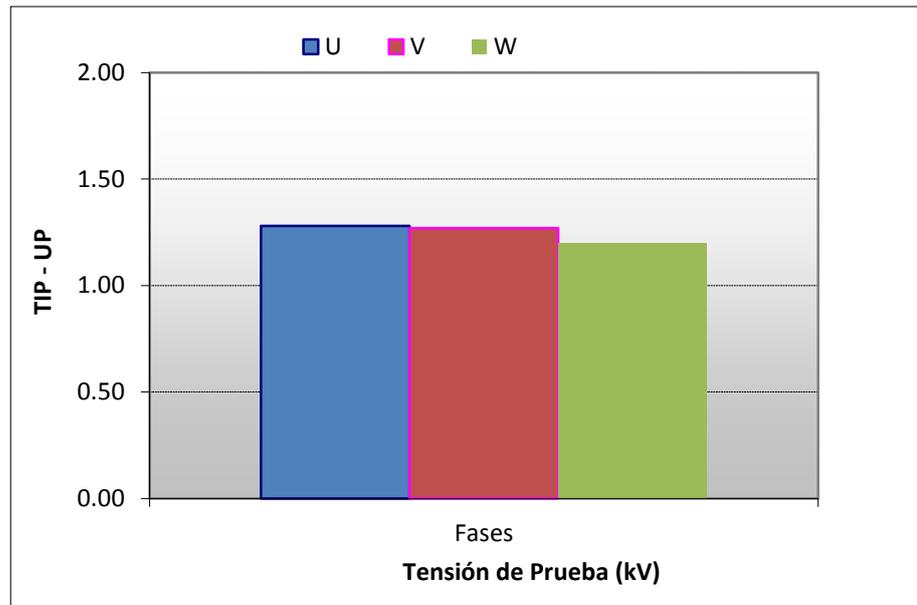


Figura 42. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G7-C.H. SAM.

#### 4.1.4.4. Tendencia de capacitancia, tangente delta y tip-up

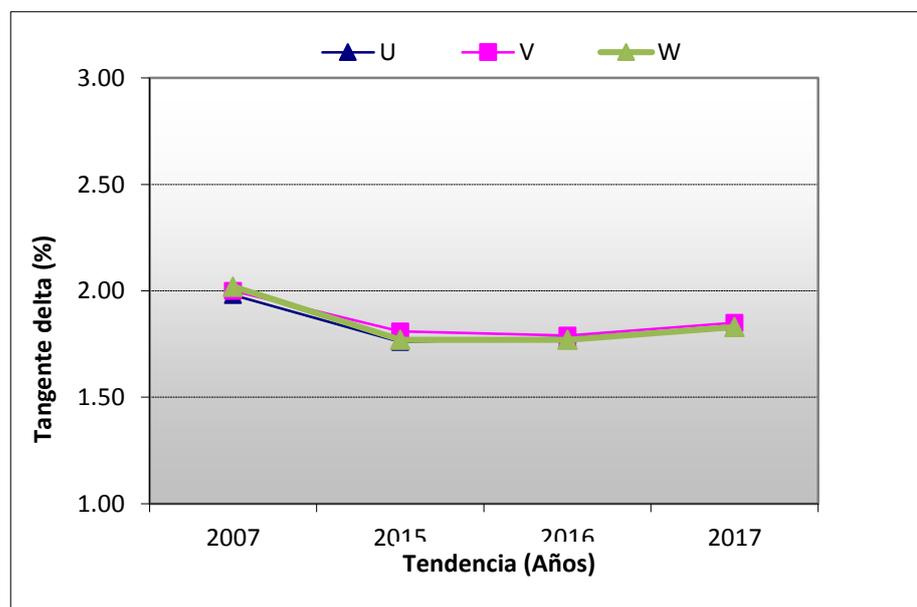


Figura 43. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs tierra”. G7-C.H. SAM.

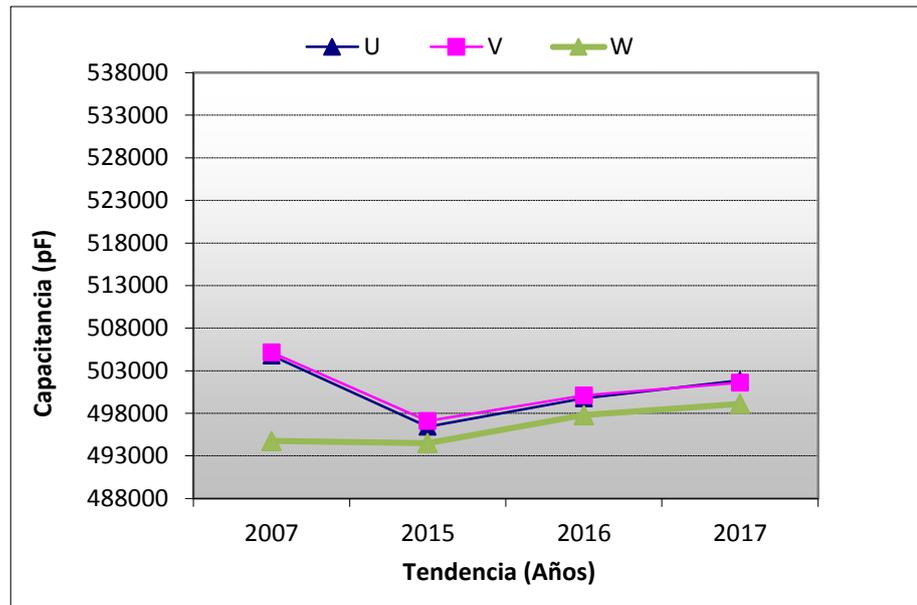


Figura 44. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra”. G7-C.H. SAM.

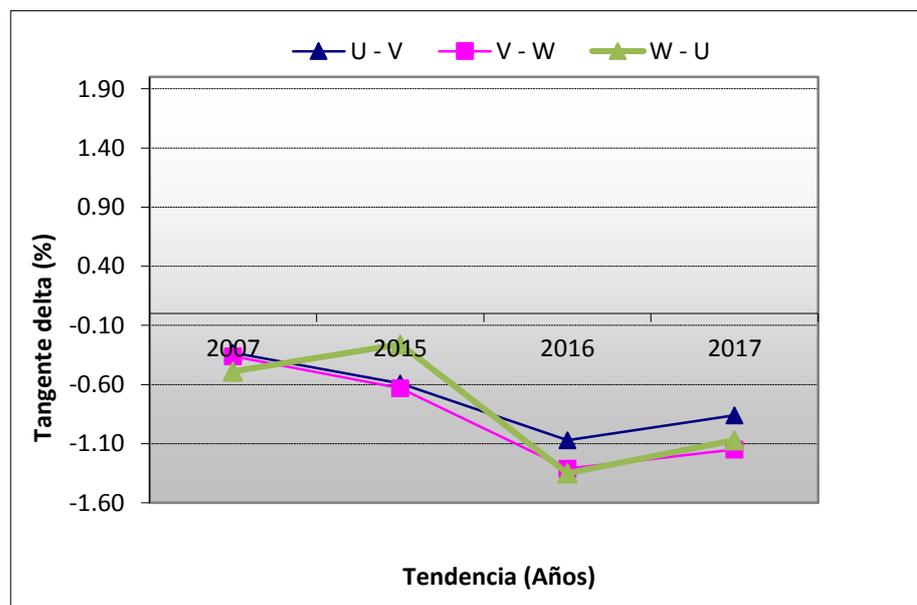


Figura 45. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs fase”. G7-C.H. SAM.

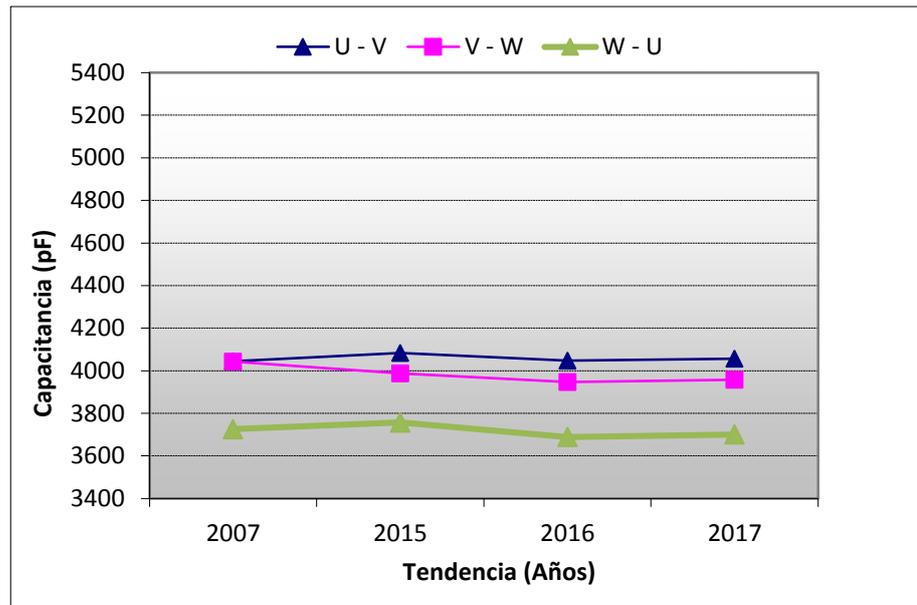


Figura 46. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs fase”. G7-C.H. SAM.

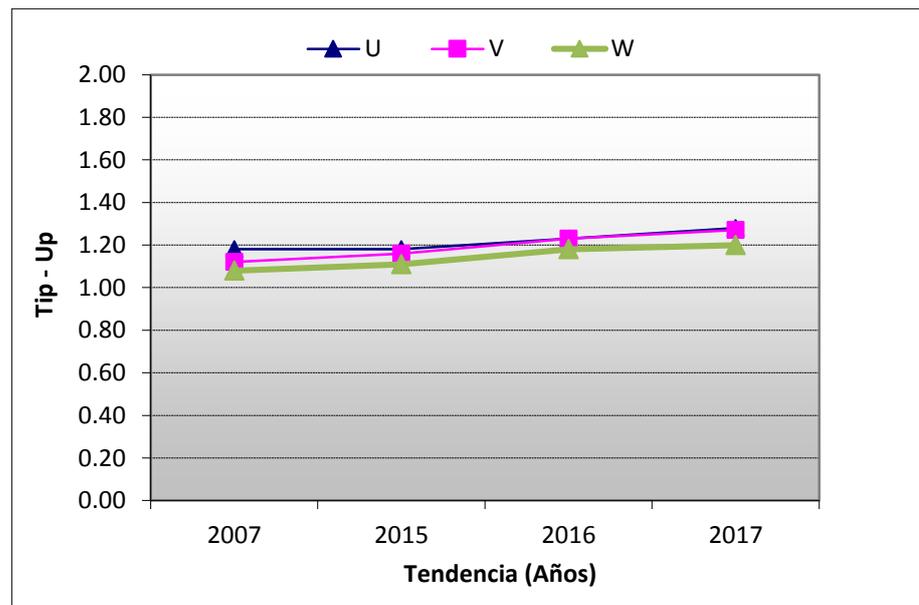


Figura 47. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G7-C.H. SAM.

#### 4.1.4.5. Evaluación del generador G7-C.H. SAM

Evaluación: **aceptable**

Los resultados indican un comportamiento normal del aislamiento. Asimismo, los valores de tangente delta se encuentran dentro de los valores aceptables según lo

indicado por norma. Además, los resultados de tip-up indican que pueden existir descargas parciales moderadas, sin embargo, se recomienda realizar ensayos de descargas parciales para evaluar el nivel de estas.

También, se observa que la capacitancia de la Fase W es menor comparada con respecto a las otras dos lo que puede indicar mayor cantidad de vacío en ranura.

#### **4.1.5. Generador G1-C.H. SAM**

##### ***4.1.5.1. Condiciones Ambientales de la prueba***

Tabla 13

*Condiciones ambientales de la prueba G1- C.H. SAM*

<b>Fecha</b>	<b>Temperatura Ambiente [°C]</b>	<b>Temperatura del aislamiento [°C]</b>	<b>HR [%] Ambiente</b>
10/10/2017	26	52	40

#### 4.1.5.2. Medición de tangente delta

Tabla 14  
Resultados de factor de potencia GI- C.H. SAM

Test	Test kV	Cap. (pF)	%Tan $\delta$	tip-up
<b>U</b>	2	477927.50	1.95	1.63
	4	478832.50	2.10	
	6	483930.00	2.89	
	8	489504.50	3.58	
<b>V</b>	2	473844.50	1.99	1.66
	4	474801.50	2.14	
	6	480214.00	2.96	
	8	485748.50	3.65	
<b>W</b>	2	477472.50	1.94	1.75
	4	478206.00	2.09	
	6	483848.50	2.95	
	8	489992.50	3.69	
<b>U-V</b>	2	3862.40	-1.00	0.61
	4	3868.20	-0.92	
	6	3873.70	-0.78	
	8	3885.50	-0.39	
<b>V-W</b>	2	3865.20	0.33	1.06
	4	3873.20	0.48	
	6	3888.50	0.85	
	8	3913.20	1.39	
<b>W-U</b>	2	3735.90	-0.72	1.30
	4	3738.40	-0.50	
	6	3746.20	-0.22	
	8	3769.20	0.58	

#### 4.1.5.3. Gráfica de capacitancia, tangente delta y tip-up

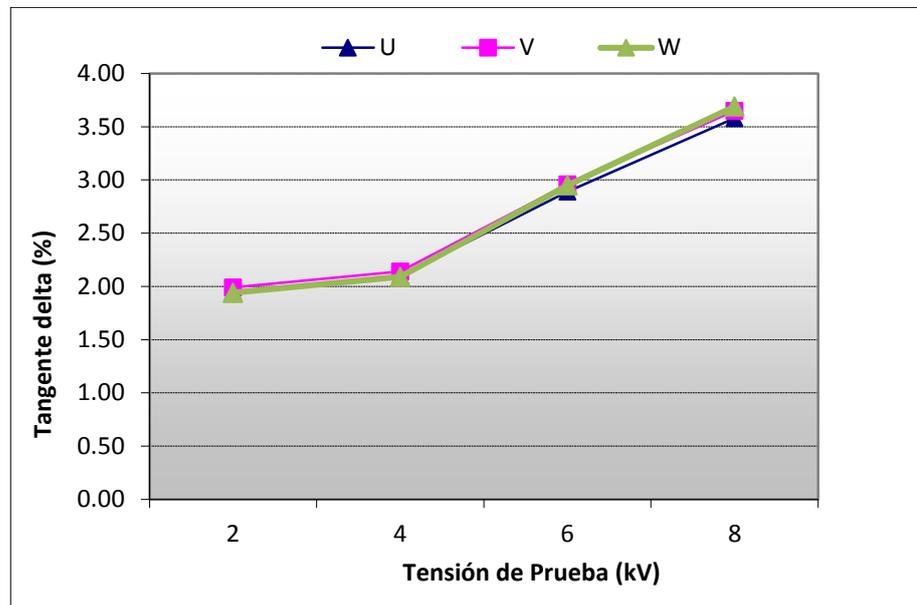


Figura 48. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G1-C.H. SAM.

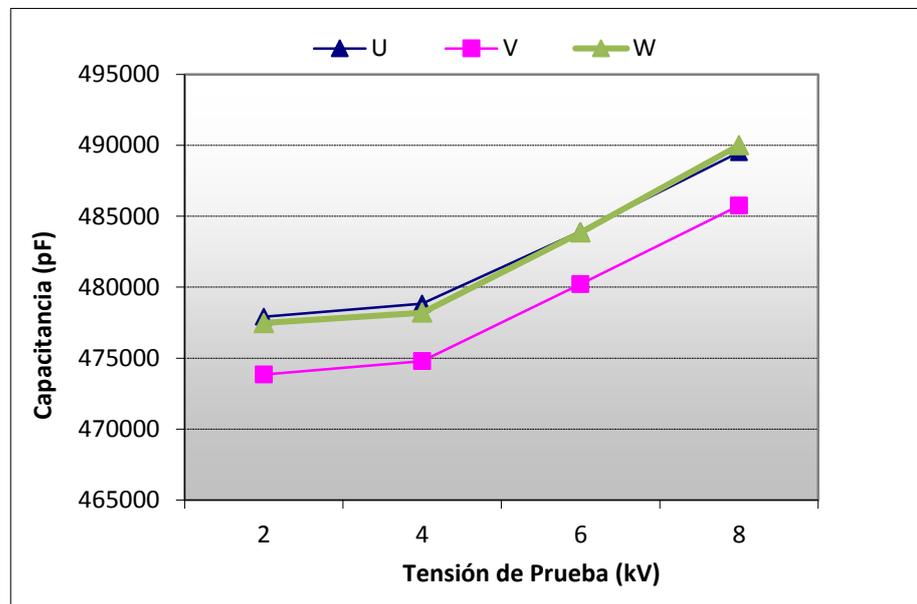


Figura 49. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G1-C.H. SAM.

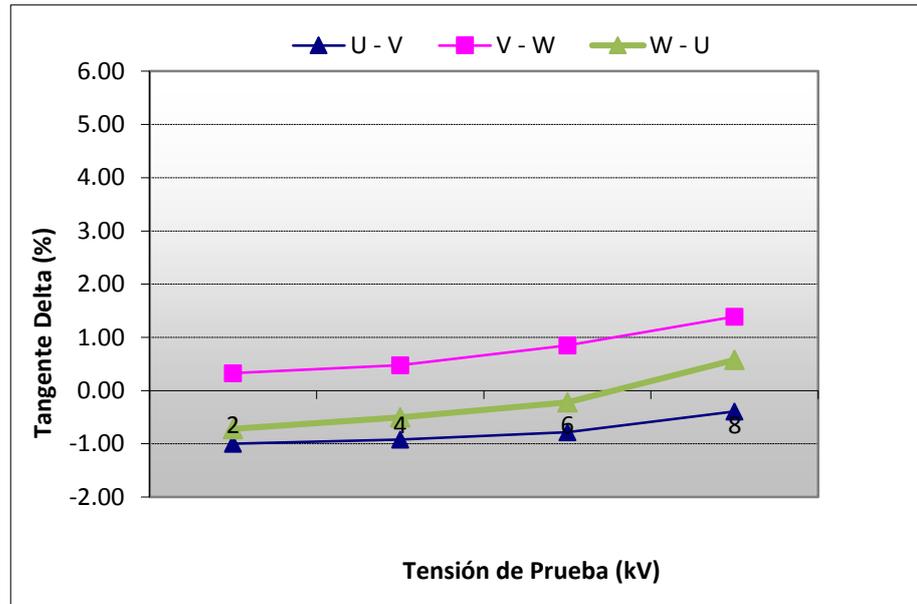


Figura 50. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G1-C.H. SAM.

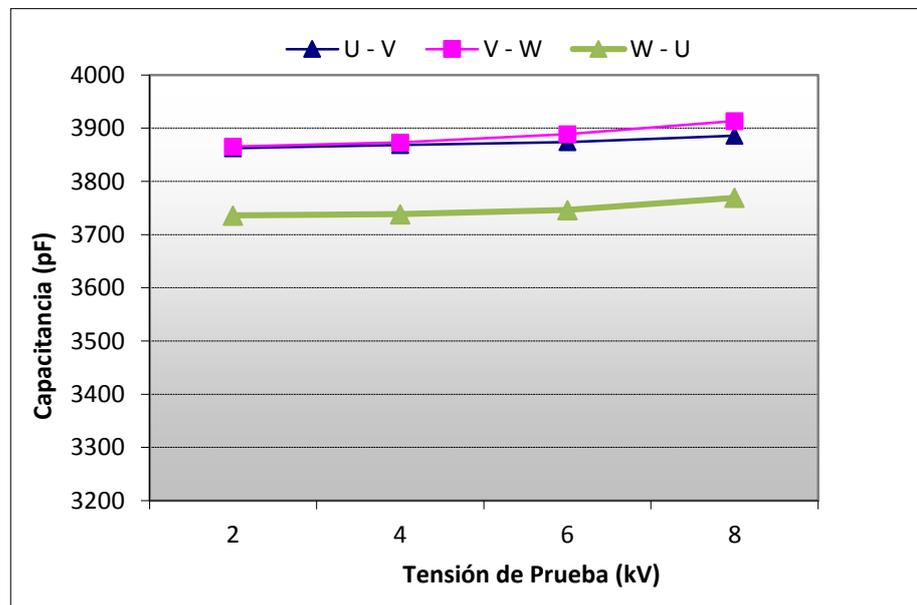


Figura 51. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G1-C.H. SAM.

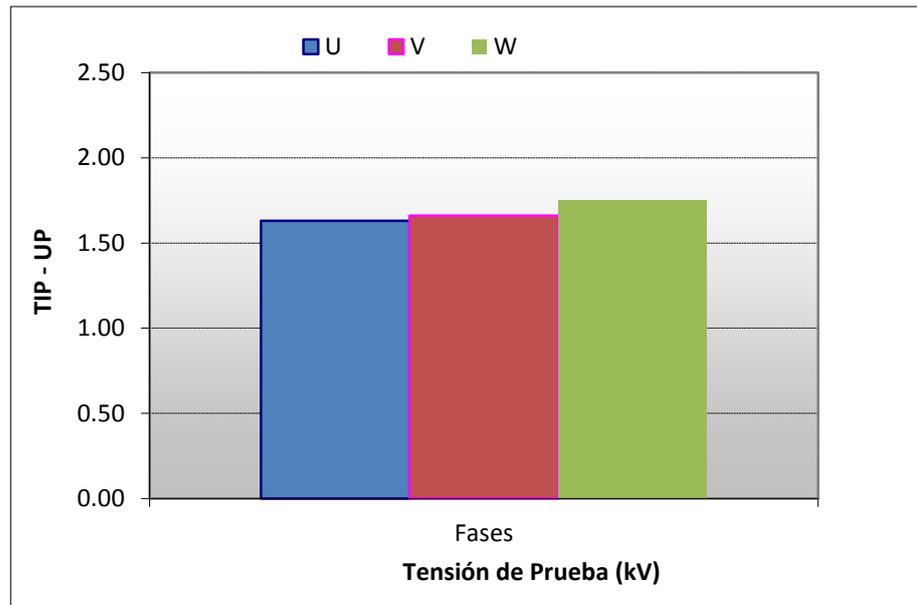


Figura 52. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G1-C.H. SAM.

#### 4.1.5.4. Tendencia de capacitancia, tangente delta y tip-up

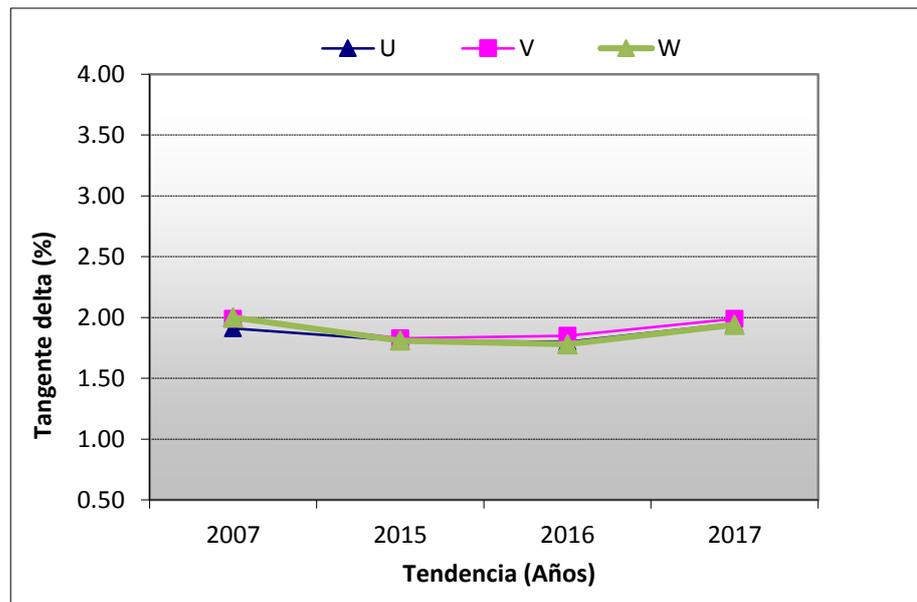


Figura 53. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs tierra”. G1-C.H. SAM.

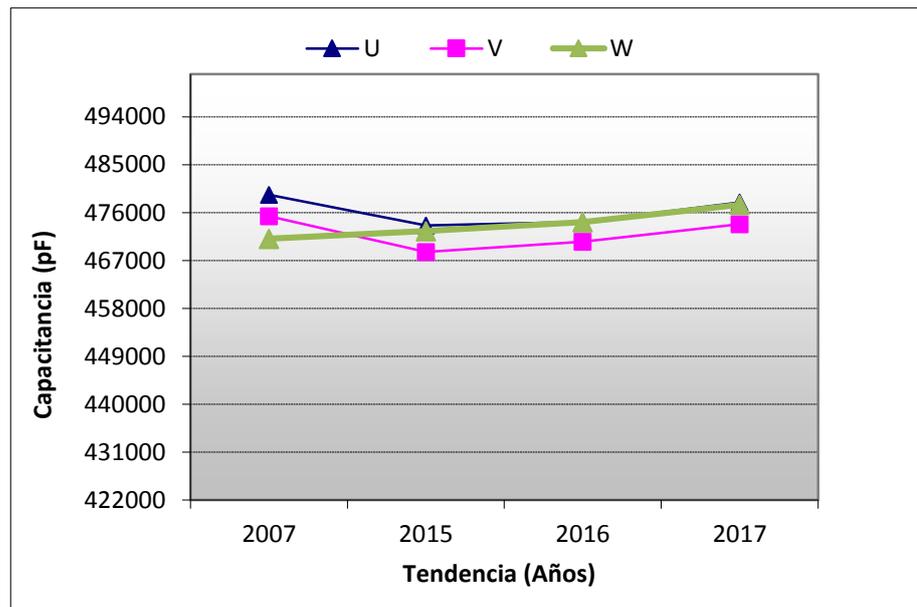


Figura 54. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra”. G1-C.H. SAM.

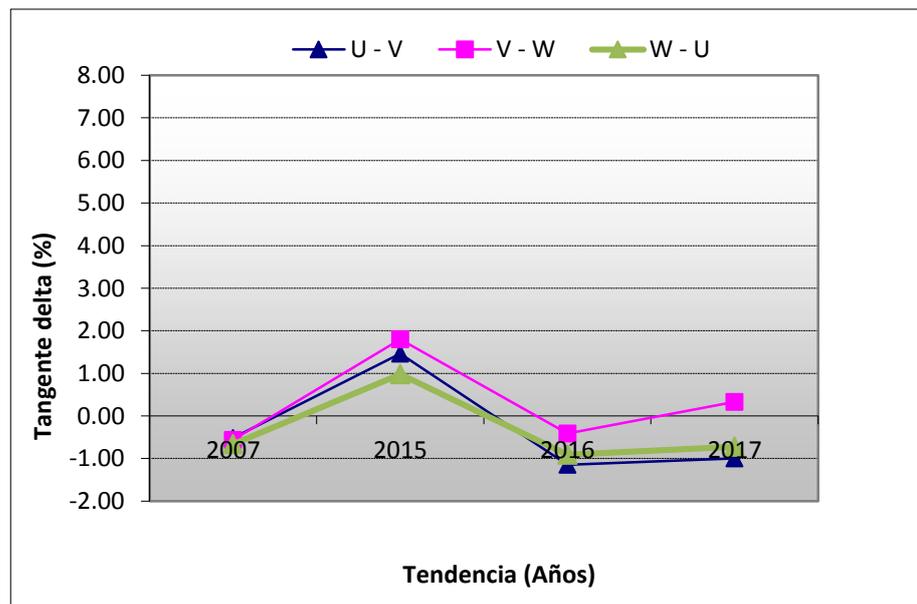


Figura 55. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs fase”. G1-C.H. SAM.

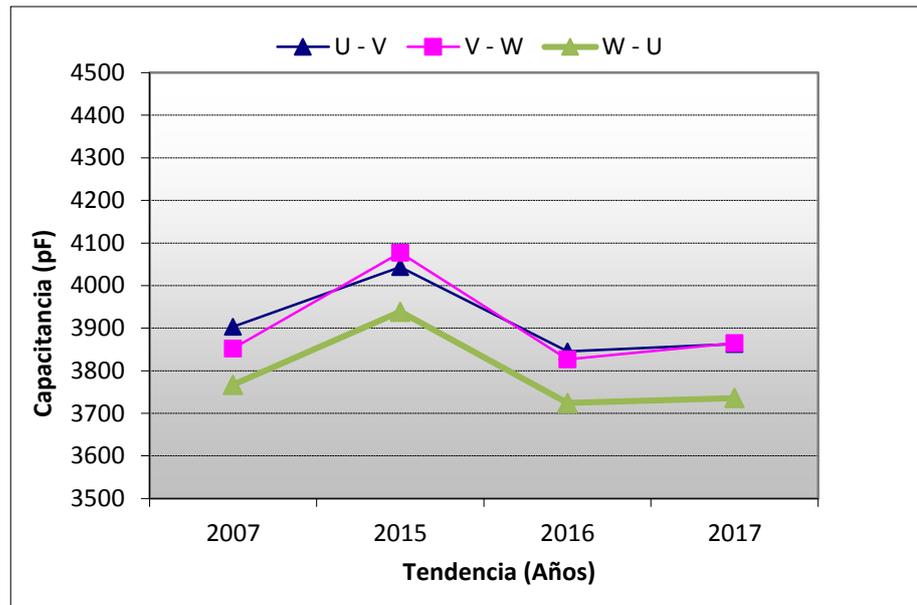


Figura 56. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia "fase vs fase". G1-C.H. SAM.

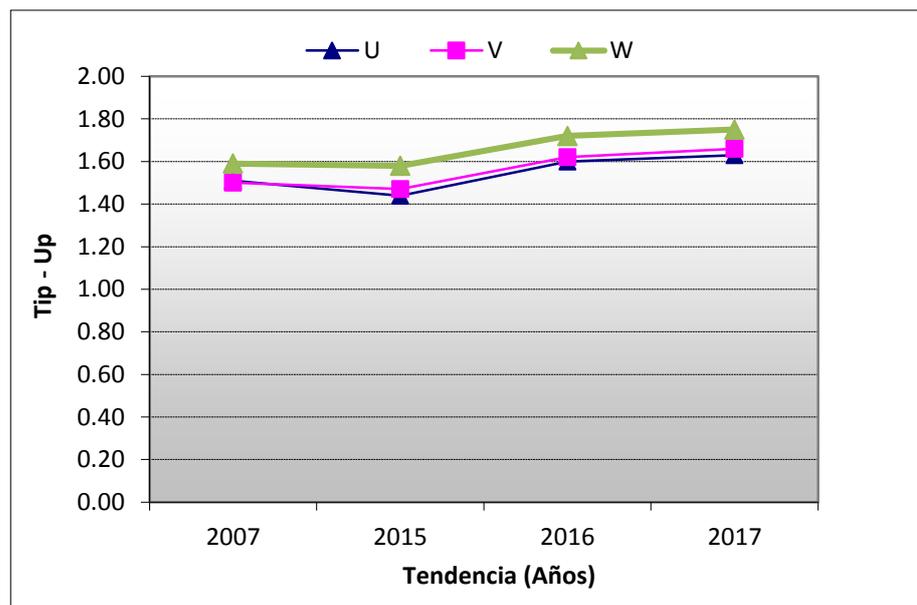


Figura 57. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G1-C.H. SAM.

#### **4.1.5.5. Evaluación del generador GI-C.H. SAM**

Evaluación: **aceptable**

Los resultados indican un comportamiento normal del aislamiento. Asimismo, los valores de tangente delta se encuentran dentro de los valores aceptables según lo indicado por norma.

Además, los resultados de tip-up indican que pueden existir descargas parciales moderadas, sin embargo, se recomienda realizar ensayos de descargas parciales para evaluar el nivel de estas.

También, se observa que la capacitancia de la fase V es menor comparada con respecto a las otras dos lo que puede indicar mayor cantidad de vacío en ranura.

#### 4.1.6. Generador G5-C.H. SAM

##### 4.1.6.1. Condiciones Ambientales de la Prueba

Tabla 15

Condiciones ambientales de la prueba G5- C.H. SAM

Fecha	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura del aislamiento [°C]	HR [%] Ambiente
12/10/2017	27	42.6	33

##### 4.1.6.2. Medición de tangente delta

Tabla 16

Resultados de factor de potencia G5- C.H. SAM

Test	Test kV	Cap. (pF)	%Tan $\delta$	tip-up
U	2	499508.50	2.09	1.99
	4	502260.00	2.44	
	6	509854.50	3.39	
	8	516732.00	4.08	
V	2	504780.00	2.12	1.84
	4	507286.00	2.43	
	6	513763.00	3.27	
	8	520519.00	3.96	
W	2	505974.50	2.15	1.90
	4	508434.00	2.41	
	6	515507.50	3.39	
	8	522351.50	4.05	
U-V	2	3609.70	-2.15	0.72
	4	3612.70	-2.08	
	6	3625.20	-1.95	
	8	3647.10	-1.43	
V-W	2	3782.70	-1.96	1.01
	4	3790.80	-1.81	
	6	3805.40	-1.67	
	8	3836.80	-0.95	
W-U	2	3567.10	-2.28	0.82
	4	3575.30	-2.25	
	6	3580.80	-2.25	
	8	3607.60	-1.46	

#### 4.1.6.3. Gráfica de capacitancia, tangente delta y tip-up

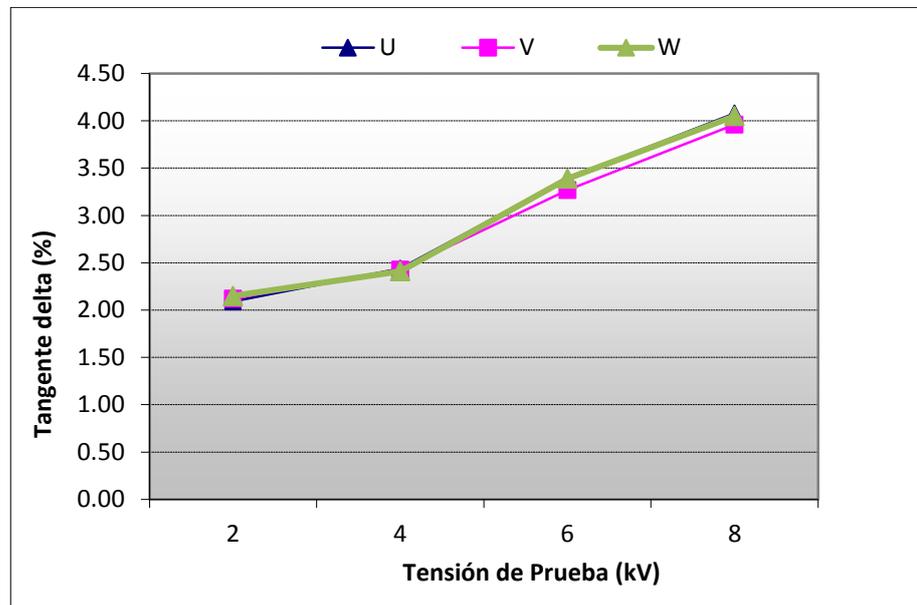


Figura 58. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G5-C.H. SAM.

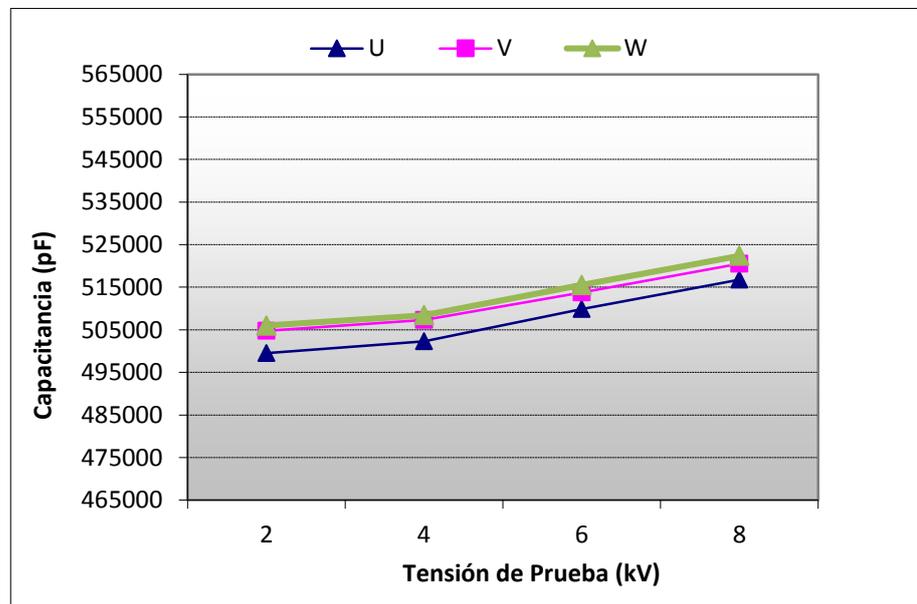


Figura 59. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G5-C.H. SAM.

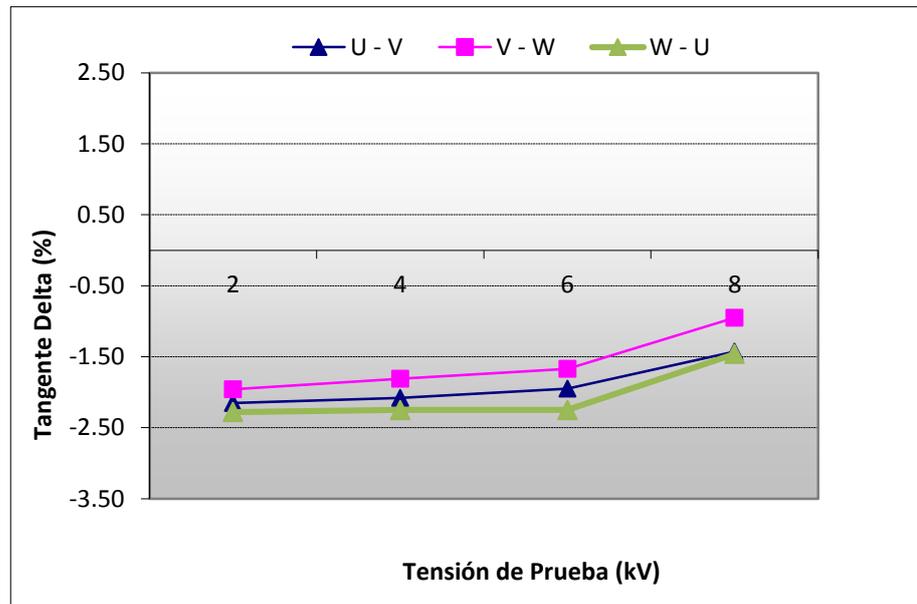


Figura 60. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G5-C.H. SAM.

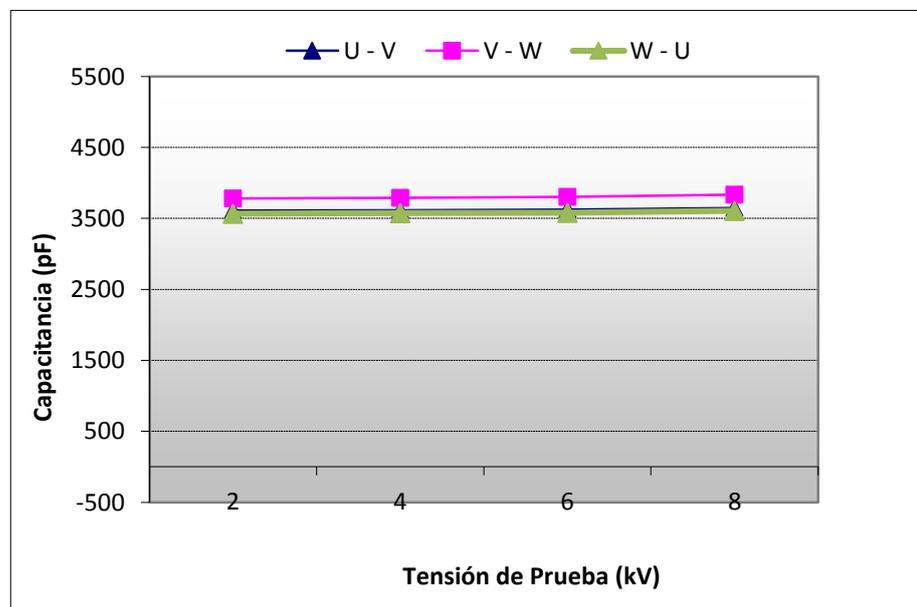


Figura 61. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G5-C.H. SAM.

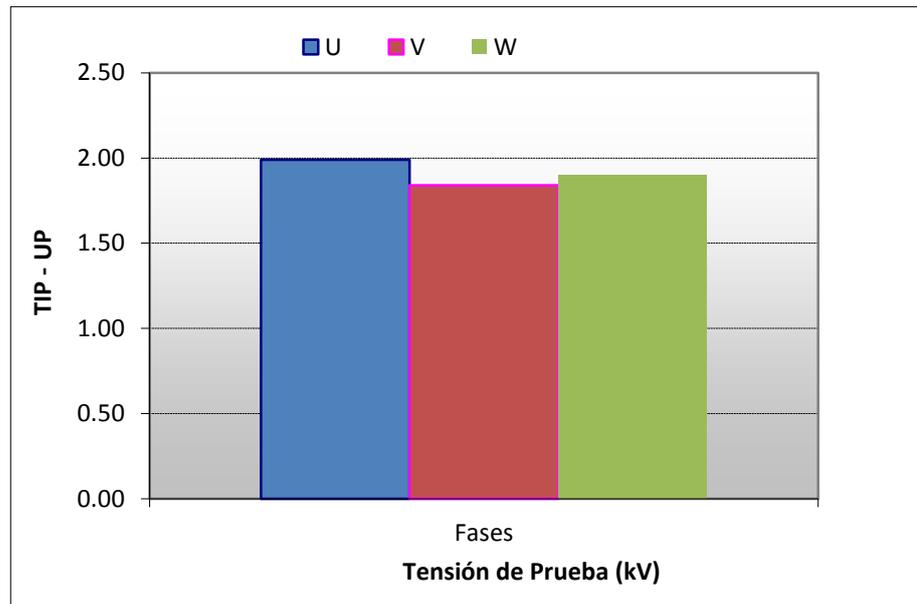


Figura 62. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G5-C.H. SAM.

#### 4.1.6.4. Tendencia de capacitancia, tangente delta y tip-up

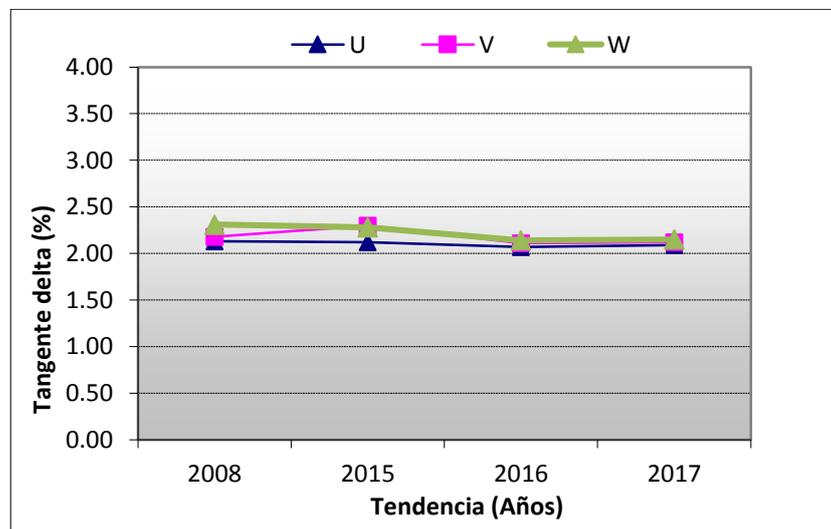


Figura 63. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs tierra”. G5-C.H. SAM.

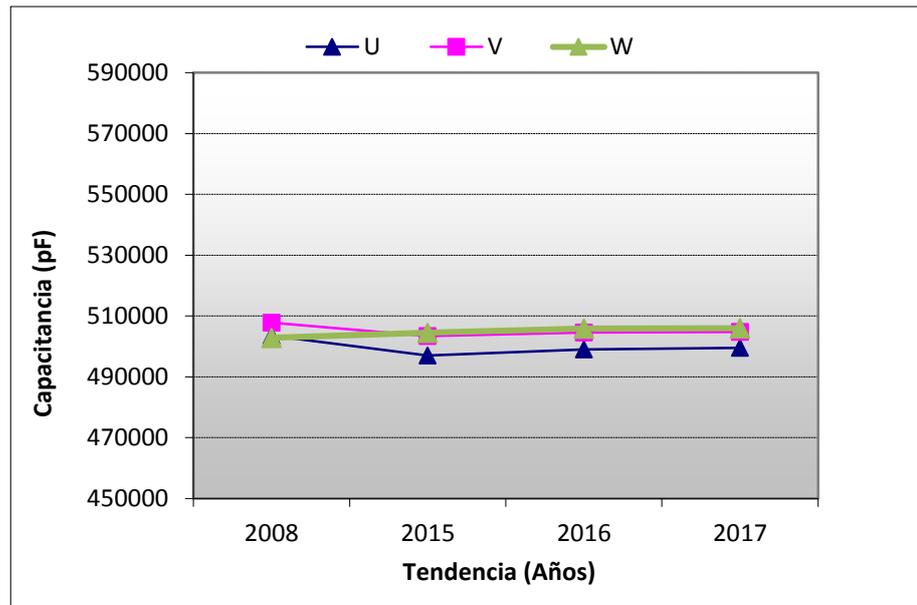


Figura 64. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra”. G5-C.H. SAM.

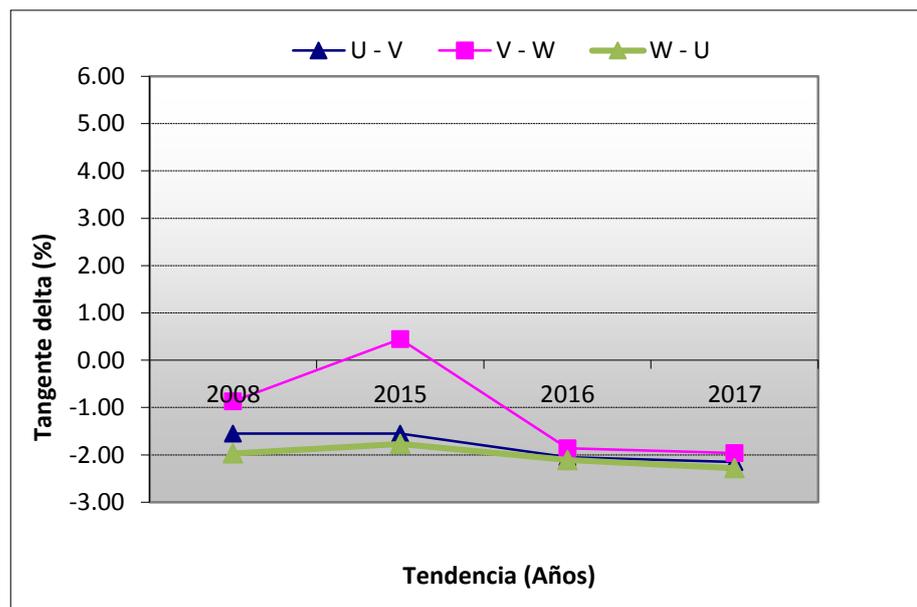


Figura 65. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs fase”. G5-C.H. SAM.

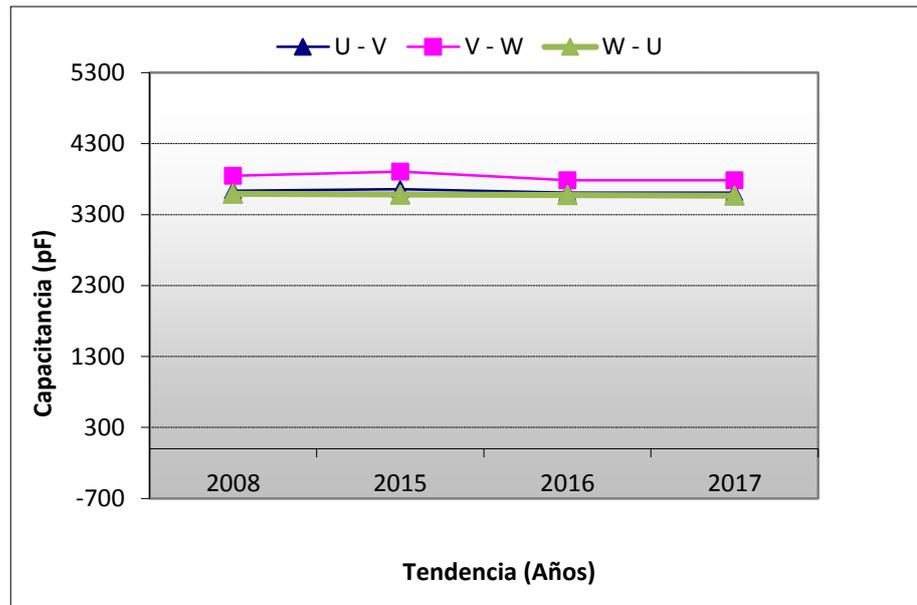


Figura 66. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia "fase vs fase". G5-C.H. SAM.

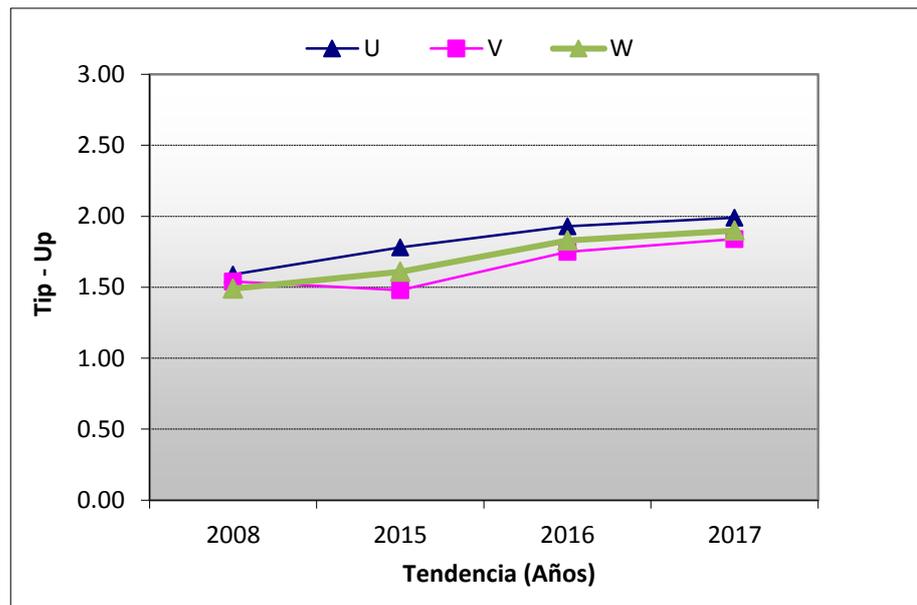


Figura 67. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G5-C.H. SAM.

#### 4.1.6.5. *Evaluación del generador G5-C.H. SAM*

Evaluación: **aceptable**

Los resultados indican un comportamiento normal del aislamiento. Asimismo, los valores de tangente delta se encuentran dentro de los valores aceptables según lo indicado por norma.

Además, los resultados de tip-up indican que pueden existir descargas parciales moderadas, sin embargo, se recomienda realizar ensayos de descargas parciales para evaluar el nivel de estas.

También, se observa que la capacitancia de la Fase U es ligeramente menor comparada con respecto a las otras dos lo que puede indicar mayor cantidad de vacío en ranura.

#### 4.1.7. **Generador G6-C.H. SAM**

##### 4.1.7.1. *Condiciones Ambientales de la Prueba*

Tabla 17

*Condiciones ambientales de la prueba G6- C.H. SAM*

<b>Fecha</b>	<b>Temperatura Ambiente [°C]</b>	<b>Temperatura del aislamiento [°C]</b>	<b>HR [%] Ambiente</b>
25/10/2017	28	44	31

#### 4.1.7.2. Medición de tangente delta

Tabla 18  
Resultados de factor de potencia G6- C.H. SAM

Test	Test kV	Cap. (pF)	%Tan $\delta$	tip-up
U	2	472193.50	1.98	1.6
	4	475889.50	2.07	
	6	489697.00	2.92	
	8	496594.50	3.58	
V	2	480857.00	1.96	1.93
	4	481225.50	2.08	
	6	487716.00	3.09	
	8	494656.50	3.89	
W	2	480795.00	1.93	1.86
	4	481006.00	2.04	
	6	487862.00	3.03	
	8	494202.50	3.79	
U-V	2	4025.50	-0.93	2.27
	4	4037.50	-0.62	
	6	4067.00	0.18	
	8	4119.20	1.34	
V-W	2	4124.30	-1.04	1.68
	4	4133.40	-0.82	
	6	4155.00	-0.35	
	8	4201.30	0.64	
W-U	2	3938.60	-1.13	1.53
	4	3944.90	-0.90	
	6	3965.50	-0.47	
	8	4004.00	0.40	

#### 4.1.7.3. Gráfica de capacitancia, tangente delta y tip-up

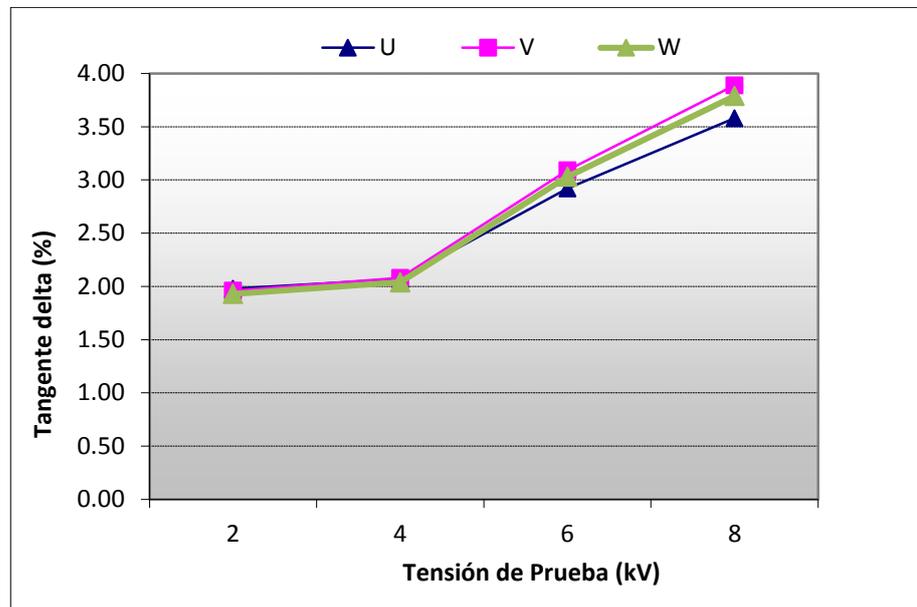


Figura 68. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G6-C.H. SAM.

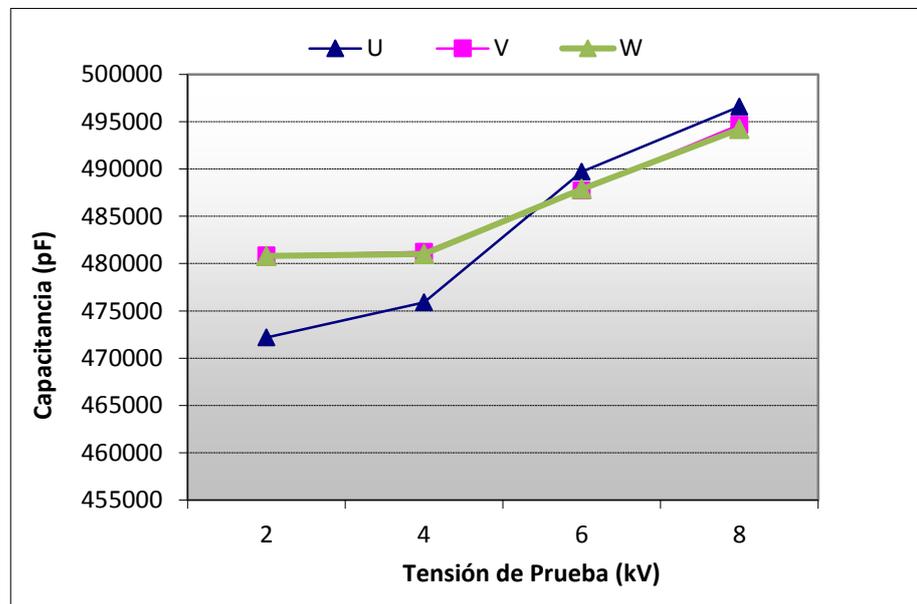


Figura 69. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G6-C.H. SAM.

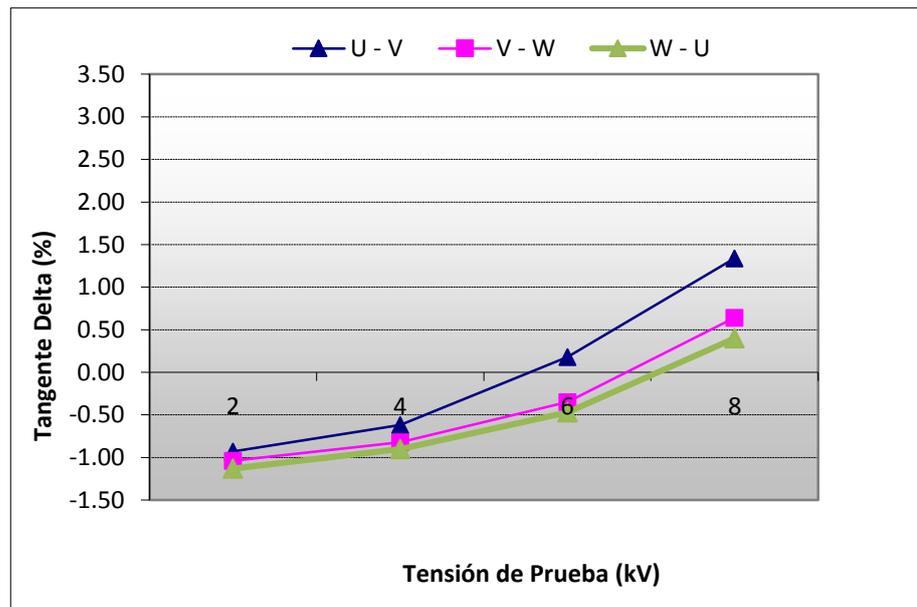


Figura 70. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G6-C.H. SAM.

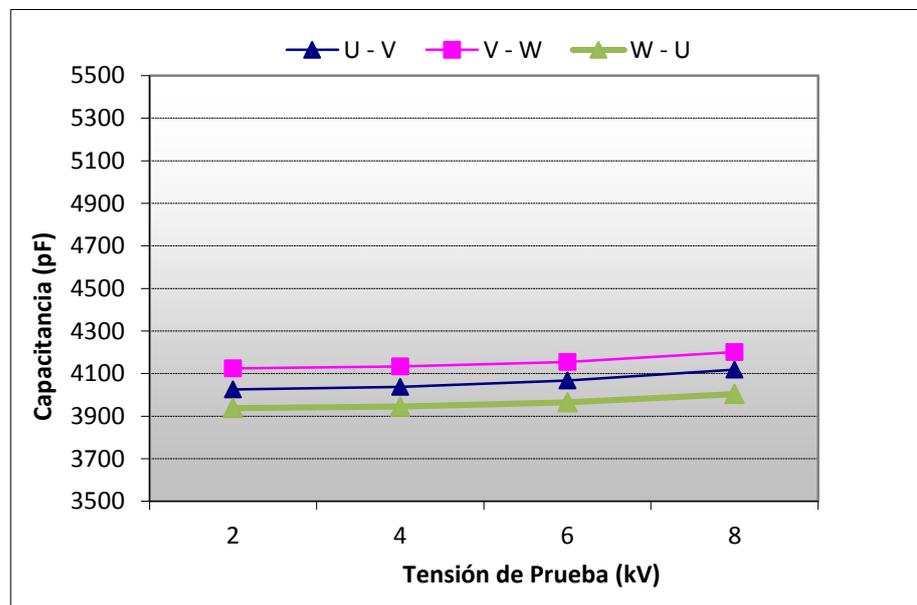


Figura 71. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G6-C.H. SAM.

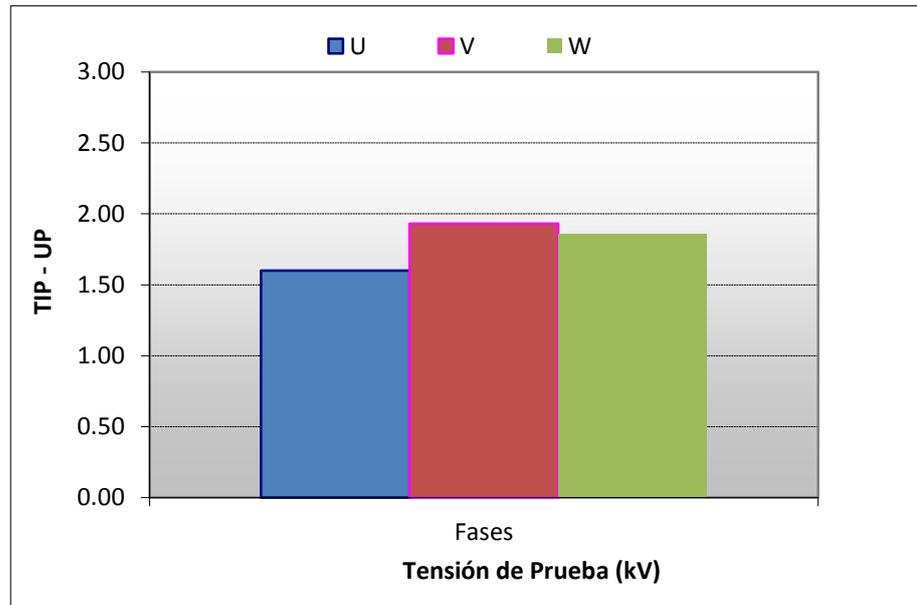


Figura 72. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G6-C.H. SAM.

#### 4.1.7.4. Tendencia de Capacitancia, tangente delta y tip-up

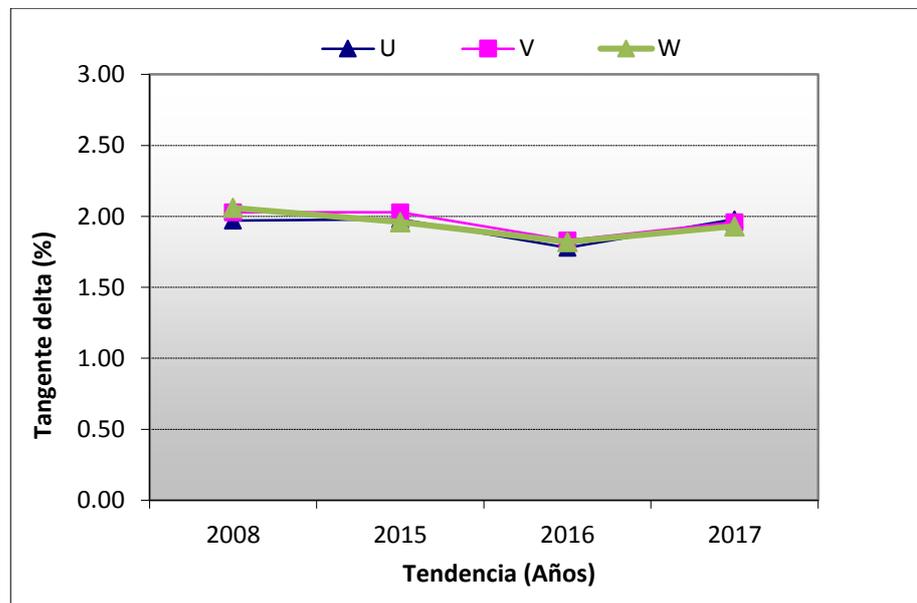


Figura 73. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “fase vs tierra”. G6-C.H. SAM.

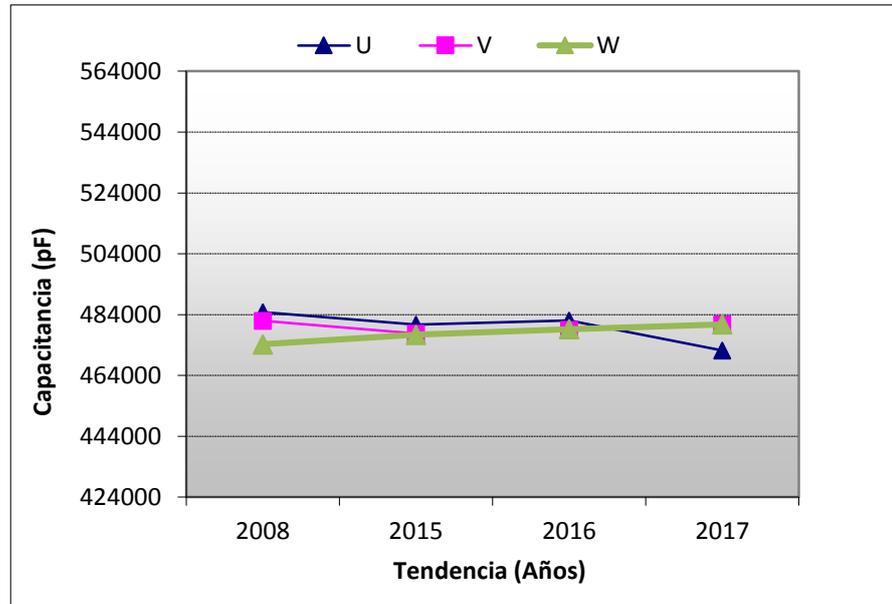


Figura 74. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “Fase vs tierra”. G6-C.H. SAM.

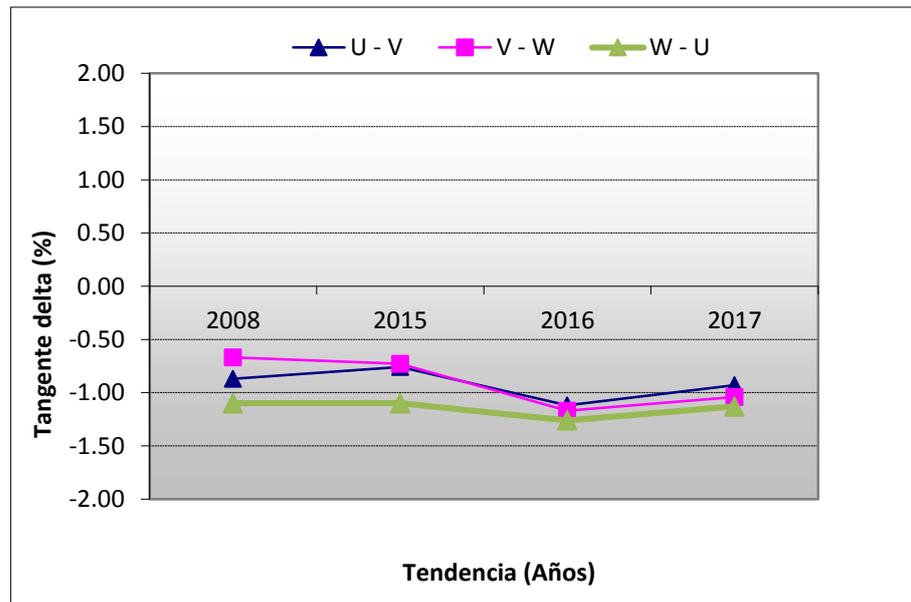


Figura 75. Tendencia en el tiempo a 2kV Tangente delta “Fase vs Fase”. G6-C.H. SAM.

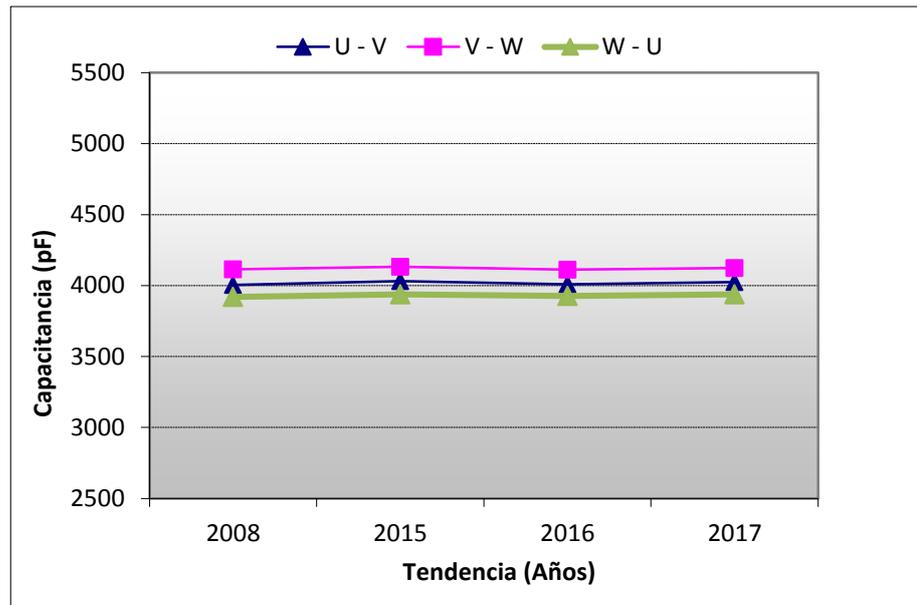


Figura 76. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs fase”. G6-C.H. SAM.

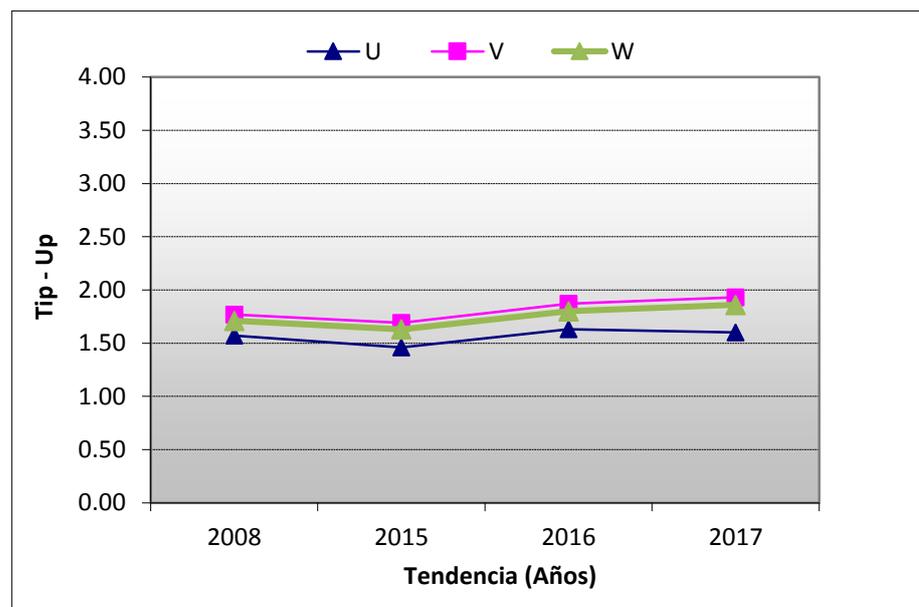


Figura 77. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G6-C.H. SAM.

#### 4.1.7.5. Evaluación del generador G6-C.H. SAM

Evaluación: **aceptable**

Los resultados indican un comportamiento normal del aislamiento. Asimismo, los valores de tangente delta se encuentran dentro de los valores aceptables según lo indicado por norma.

Además, los resultados de tip-up indican que pueden existir descargas parciales moderadas, sin embargo, se recomienda realizar ensayos de descargas parciales para evaluar el nivel de estas.

#### 4.1.8. Generador G2-C.H. SAM

##### 4.1.8.1. Condiciones ambientales de la prueba

Tabla 19

*Condiciones ambientales de la prueba G2- C.H. SAM*

Fecha	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura del aislamiento [°C]	HR [%] Ambiente
28/10/2017	26.7	32	41

##### 4.1.8.2. Medición de tangente delta

Tabla 20

*Resultados de factor de potencia G2- C.H. SAM*

Test	Test kV	Cap. (pF)	%Tan $\delta$	tip-up
U	2	458994.00	2.71	2.05
	4	459944.00	2.86	
	6	467027.00	3.99	
	8	474494.00	4.76	
V	2	461135.00	2.76	2.08
	4	462040.00	2.91	
	6	469647.00	4.10	
	8	476928.00	4.84	
W	2	459851.00	2.73	2.04
	4	460771.00	2.92	
	6	467990.00	4.04	
	8	475260.00	4.77	
U-V	2	3939.30	-1.74	1.56
	4	3956.50	-1.39	
	6	3992.90	-0.89	
	8	4065.70	-0.18	
V-W	2	3754.90	-2.31	1.21
	4	3758.50	-2.21	
	6	3784.50	-1.78	
	8	3847.20	-1.10	
W-U	2	3838.70	-1.75	2.73
	4	3869.40	-1.06	
	6	3935.90	-0.03	
	8	4037.10	0.98	

#### 4.1.8.3. Gráfica de capacitancia, tangente delta y tip-up

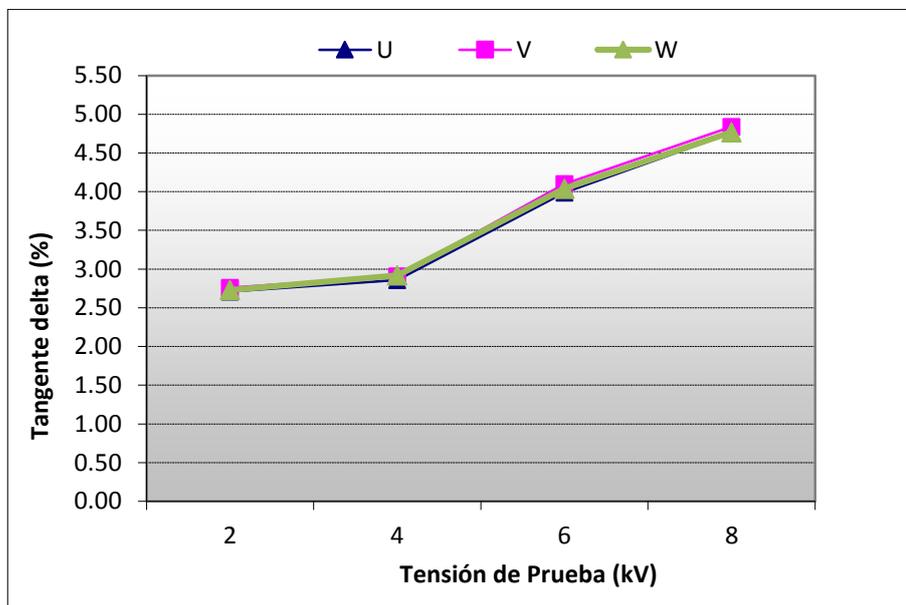


Figura 78. Tangente delta “fase vs tierra” de las tres fases. G2-C.H. SAM.

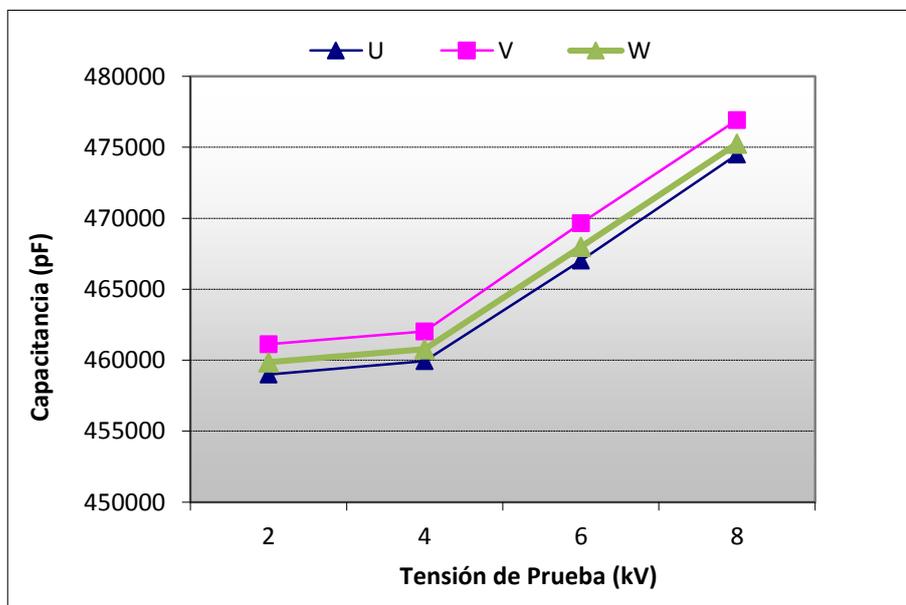


Figura 79. Capacitancia “fase vs tierra” de las tres fases. G2-C.H. SAM.

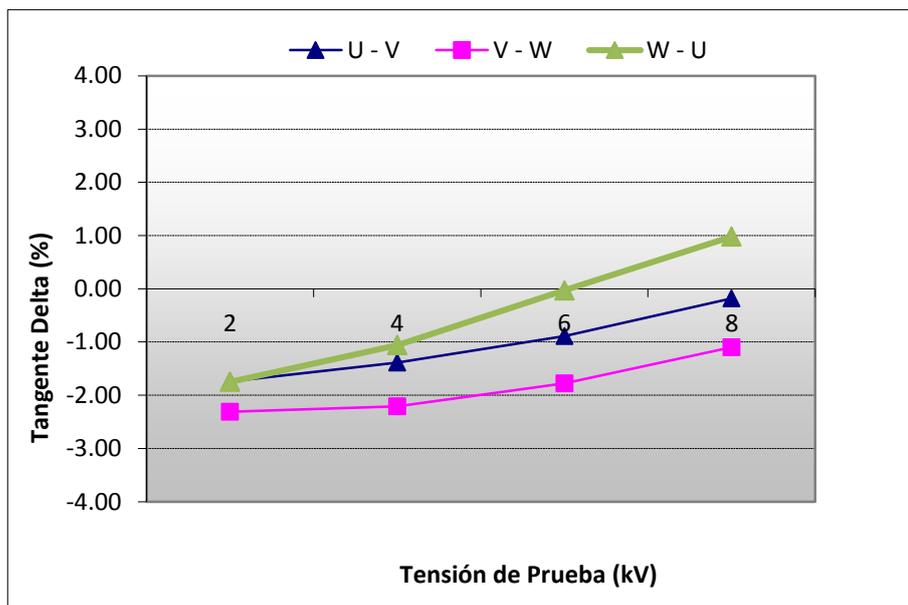


Figura 80. Tangente delta “fase vs fase” de las tres fases. G2-C.H. SAM.

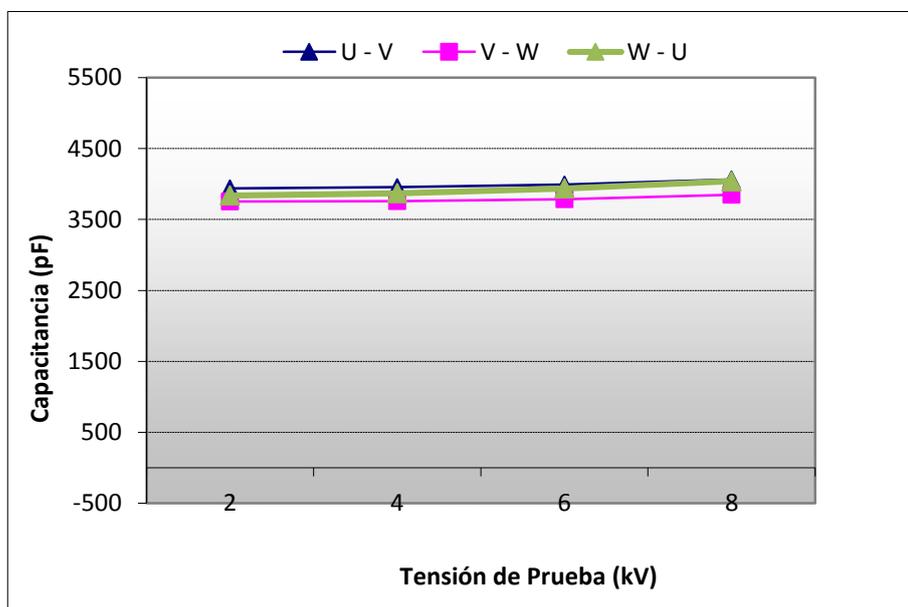


Figura 81. Capacitancia “fase vs fase” de las tres fases. G2-C.H. SAM.

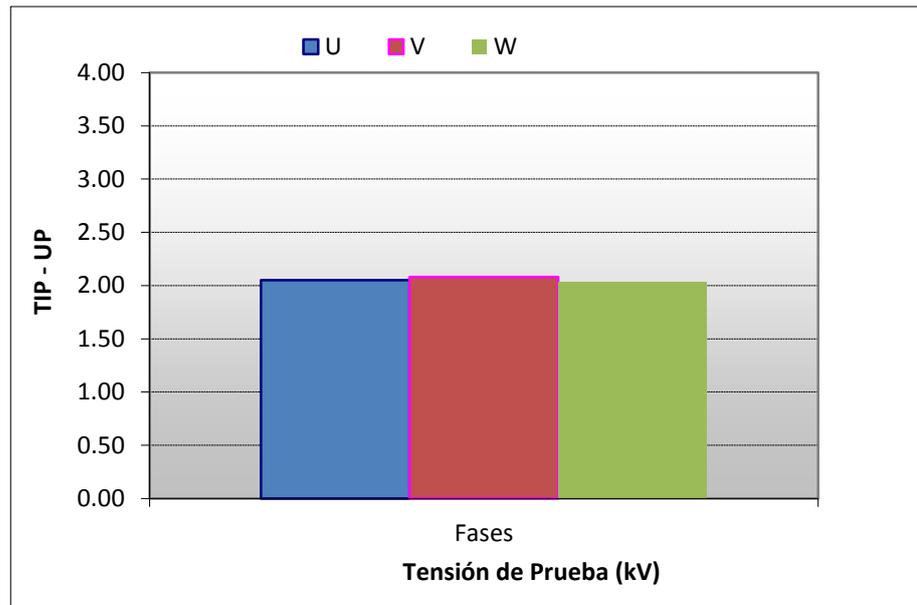


Figura 82. Tip-up de los valores de tangente delta “fase vs tierra”. G2-C.H. SAM.

#### 4.1.8.4. Tendencia de Capacitancia, tangente delta y tip-up

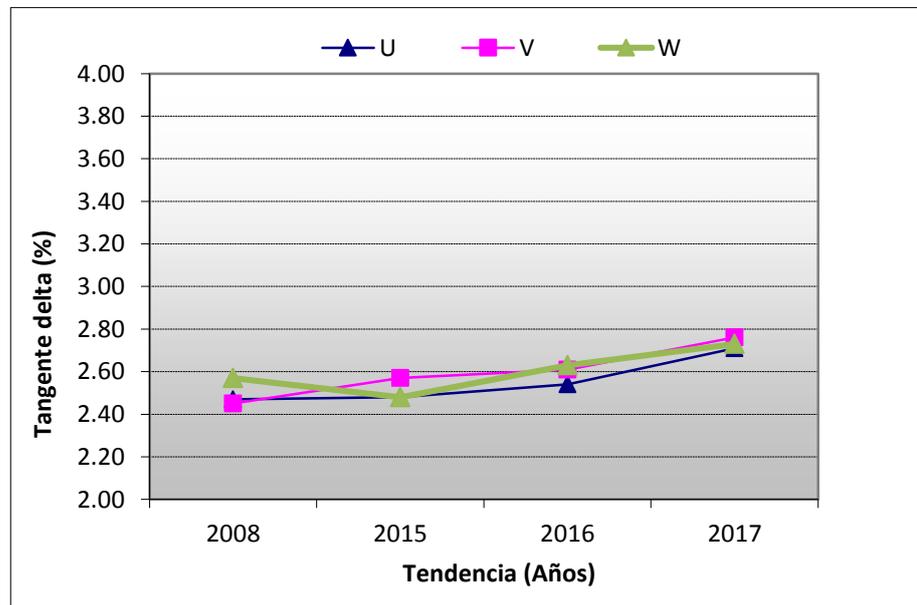


Figura 83. Tendencia en el tiempo a 2kV tangente delta “fase vs tierra”. G2-C.H. SAM.

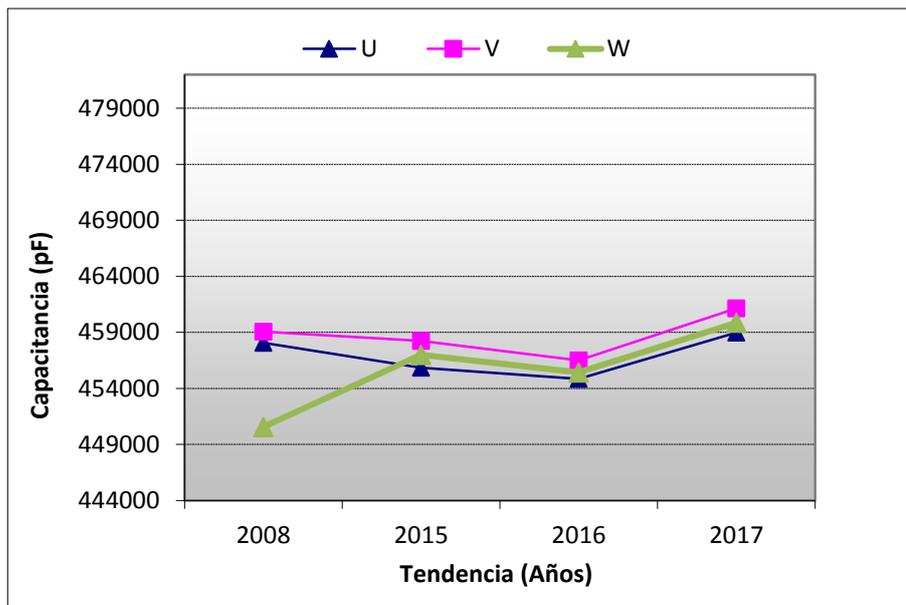


Figura 84. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs tierra”. G2-C.H. SAM.

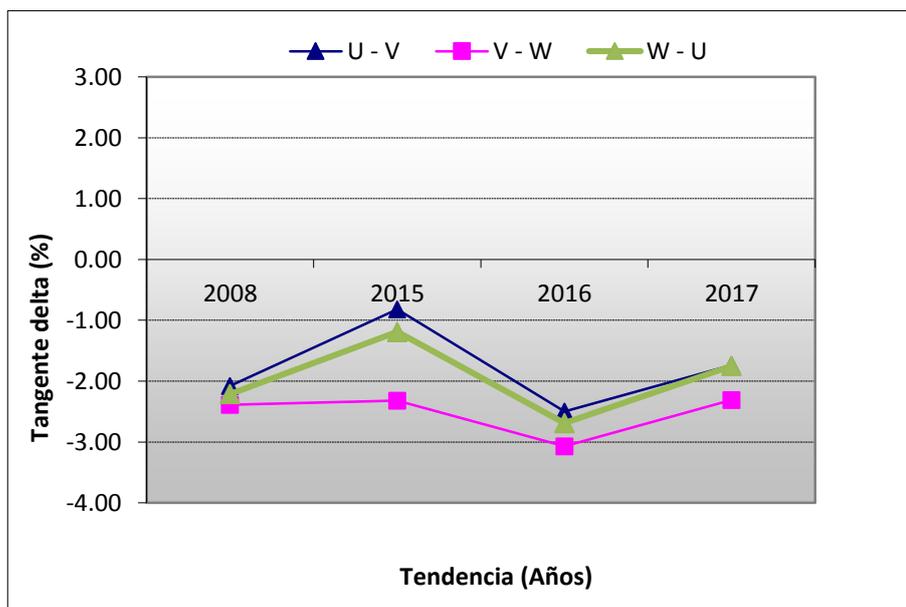


Figura 85. Tendencia en el tiempo a 2kV tangente delta “fase vs fase”. G2-C.H. SAM.

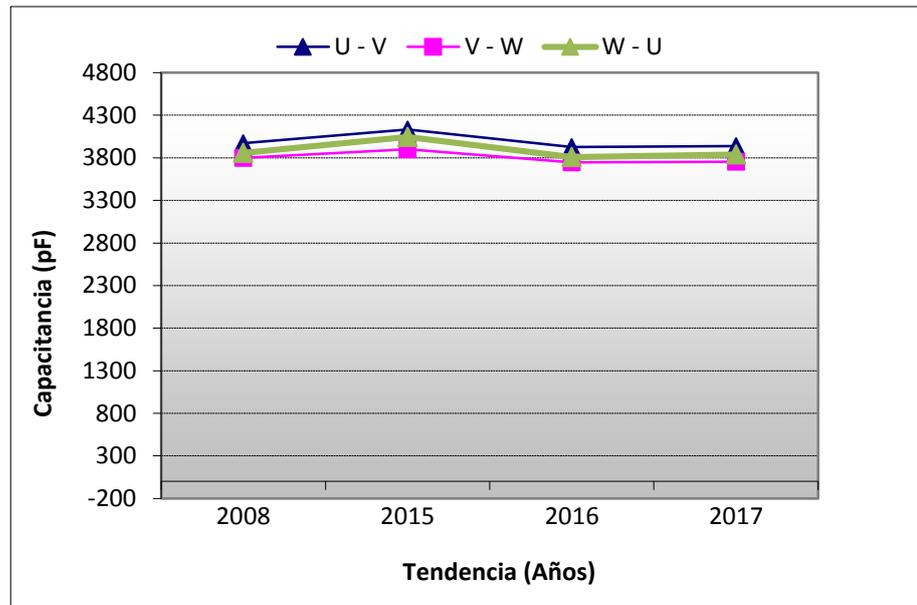


Figura 86. Tendencia en el tiempo a 2kV Capacitancia “fase vs fase”. G2-C.H. SAM.

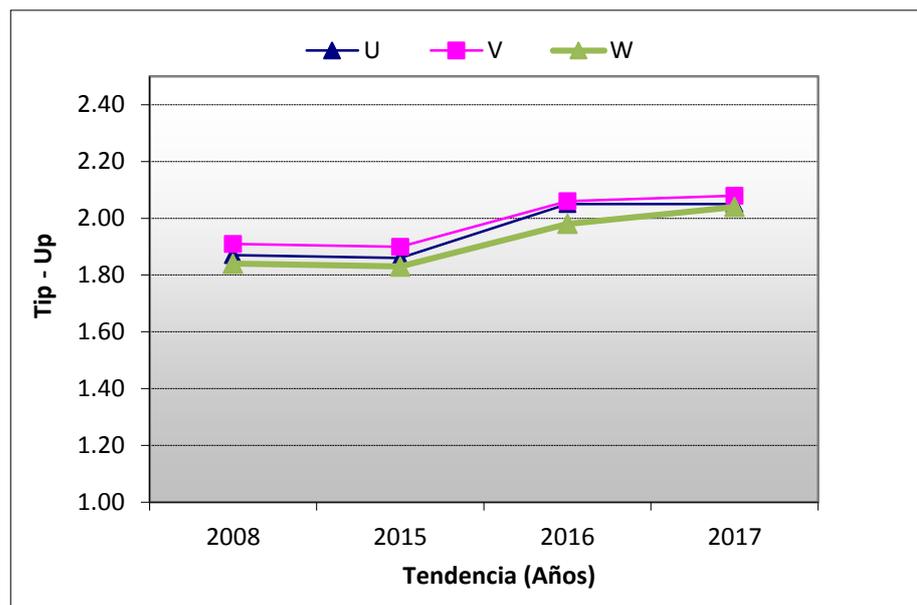


Figura 87. Tendencia de valor de Tip-up fase a tierra. G2-C.H. SAM.

#### 4.1.8.5. Evaluación del Generador G2-C.H. SAM

Los resultados indican un comportamiento normal del aislamiento.

Además, los valores de tangente delta se encuentran dentro de los valores aceptables según lo indicado por norma.

Asimismo, los resultados de tip-up indican que pueden existir descargas parciales moderadas, sin embargo, se recomienda realizar ensayos de descargas parciales para evaluar el nivel de estas.

#### 4.2. Prueba de Hipótesis

De acuerdo a los resultados de las pruebas realizados a los generadores se cumple lo establecido en la norma IEEE Std 286-2000, y se plantea lo siguiente:

H0:  $u =$  Con una metodología adecuada **se logró** medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del Complejo Hidroenergético Mantaro.

H1:  $u \neq$  Con una metodología adecuada **no se logró** medir el aislamiento del devanado del estator en las unidades generadoras del Complejo Hidroenergético Mantaro.

De acuerdo al planteamiento de la hipótesis se acepta la hipótesis nula.

#### 4.3. Discusión de Resultados

De acuerdo a lo planteado, mediante la metodología realizada, se obtiene una adecuada evaluación e interpretación del diagnóstico del devanado del estator, considerando siempre las recomendaciones dadas por la norma IEEE Std 286-2000 “Práctica recomendada de IEEE para la medición de la saturación del factor de potencia del aislamiento del estator de máquinas rotativas”. Con un correcto procedimiento de pruebas realizadas en los generadores campo, se previene de fallas, pérdidas de energía y mermas económicas. Por otra parte, Güere en su tesis concluyó lo siguiente: “Que la prueba mediante descargas parciales (DP’s) constituye una herramienta muy importante de diagnóstico del devanado del estator dado que permite obtener los datos de las magnitudes de los pulsos de las DP’s generalmente en milivoltios (mV) con la ventaja de que el generador eléctrico está en condiciones operativas (C.H. SAM: 114

MW, 13.8 kV, 450 RPM y C.H. RON: 72 MW, 13.8 kV, 200 RPM) bajo los esfuerzos eléctricos, mecánicos y térmicos propios de esa condición; evitando así parar los grupos generadores para la toma de medidas de las DP's y pérdidas económicas de generación".

## CONCLUSIONES

1. Se concluye que, de acuerdo a los ensayos realizados, los resultados son aceptables de factor de potencia, menores a los recomendados en la norma. Además, los valores de tip-up indican que es posible la presencia de niveles moderados de descargas parciales, lo cual puede ser corroborado con un ensayo de descargas parciales On-Line O Off Line.
2. Se analizó la tendencia de la tangente delta con resultados obtenidos en el 2007, 2008 y 2015, 2016 en las gráficas se puede apreciar que los valores medidos no han variado significativamente respecto a los medidos en la presente investigación.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda revisar tendencia del factor de potencia obtenido con pruebas recientes en los generadores de SAM y RON.
2. Se recomienda realizar ensayos de descargas parciales *on-line* u *off-line*, para evaluar la criticidad del nivel de descargas presentes.
3. Se recomienda antes de realizar los ensayos de tangente delta se debe de desconectar la máquina de los terminales de la barra de salida.
4. Se recomienda realizar los ensayos de tangente delta tan pronto que el generador de SAM y RON sea sacado de servicio.
5. Una vez sacado de servicio los generadores de SAM y RON se debe minimizar el ingreso de humedad.
6. Se recomienda realizar una charla pre operacional de seguridad y medio ambiente para identificar los riesgos potenciales asociados antes de los ensayos para indicar su medida de control a implantar y las recomendaciones para evitar la afectación al medio ambiente. Así mismo se recomienda usar EPP (Equipo de protección personal) básicos y dieléctricos para garantizar la seguridad del operador y quienes intervendrán en los ensayos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CASAS, J. Diagnóstico de Aislamiento de cables de energía a partir de pruebas de alto potencial y prueba de tangente delta. Informe de Experiencia Profesional (Título en Ingeniero electricista), 2018,
2. CONCEPTO.de. [En línea] 2019. <https://concepto.de/disenos/>.
3. HERRERA, M. Estudio de coordinación de las protecciones para mejorar la selectividad en el alimentador de media tensión TSU-016 de Hidrandina S.A. La Libertad: s.n. Informe de Experiencia Profesional (Título en Ingeniero electricista), 2015.
4. VILCA, M. y QUISIYUPANQUI, J. Estudio de coordinación de protecciones en la subestación Dolorespata acorde a la nueva topología en alta y media tensión para el año 2018. Cusco: s.n., 2015. Tesis (Título en Ingeniero electricista)
5. CHAVESTA, J. Metodología para elaborar la actualización de estudios de coordinación de protecciones de un sistema eléctrico interconectado. Universidad Nacional del Callao, Lima, Tesis (Título en Ingeniero electricista), 2013.
6. ORDUÑA, E. y PERALTA. Protección de Sistemas eléctricos de Potencia. Washington. Argentina: s.n., Instituto de Energía Eléctrica de la Universidad Nacional de San Juan. Tesis (Título en Ingeniero electricista), 2002
7. WIKIPEDIA. [https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n\\_\(electricidad\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_(electricidad)). [En línea] Recuperado el 13 de marzo del 2018.
8. CONCEPTODEFINICION. <https://conceptodefinicion.de/datos/>. [En línea] Recuperado el 13 de marzo del 2018.
9. WIKIPEDIA. [En línea] 2019. <https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa>. Recuperado el 13 de marzo del 2018.
10. IEEE Recommended Practice for Measurement of Power-Factor Tip-Up of Rotating Machinery Stator Coil Insulation <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6523039>.
11. IEEE Std 522-1992, *Guide for Testing Turn-To-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Rotating Electric Machines*, 1992
12. IEEE Std 1434-2000, “*Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery*”, 2000
13. IEC 60270:2000, *High Voltage Test Techniques-Partial Discharge Measurements*”, IEC 2001.
14. DOBLE Engineering Company. Test. Data Reference Book, 2000
15. DOBLE Engineering Company. M4000 Insulation Analyzer User Guide, 2000
16. GREG STONE, *Electrical Insulation for Rotating Machine*

**ANEXOS**

## ANEXO 1

Fotocheck en pruebas eléctricas



## ANEXO 2

### Vista panorámica de la central hidroeléctrica



### ANEXO 3 Generador de potencia



## ANEXO 4

Equipo Doble M4100 para el ensayo en generadores



## ANEXO 5

## Certificado de calibración del equipo Doble M4100



### CALIBRATION CERTIFICATE

This certificate warrants that the product referenced herein meets or exceeds all published specifications as determined by definitive test procedures which form a part of its historical record, and is Certified Traceable to the National Institute of Standards and Technology (N.I.S.T.).

**Model Number:** M4100 Instrument

**Procedure Used:** 72A-0900 or 72A-1792-01

**Serial Number:** 011120790

**Certification Date:** April 5, 2014

All equipment used in the test and calibration processes and secondary reference standards are calibrated to the highest order of accuracy and are traceable to the National Institute of Standards and Technology, or other international standards coordinated with N.I.S.T.

#### CERTIFICATION AS 4:1 CALIBRATION ACCURACY MAINTAINED.

#### Calibration Approval Person

Signature: *Paul J. Cufano*

Title: \_\_\_\_\_

#### Test Technician

Signature: *Luis Colon*

Luis Colon

#### Calibration Laboratory Location

Doble Engineering Company  
85 Walnut Street  
Watertown, MA 02472 USA  
Telephone: (617) 926-4900 Fax (617) 926-0528



#### Responsibility For Quality Assurance Program

Doble Engineering Company  
85 Walnut Street  
Watertown, MA 02472 USA  
Telephone: (617) 926-4900 Fax (617) 926-0528

**Model Number:** M4100 Instrument

**Serial Number:** 011120790

**Doble Quality Revision: D Date:** 10/12/09

**Recommended Calibration Due Date:** 4/5/2019

**Customer Name:** Juan Manuel Alegre Oliva

**Customer PO#:** OP-061-2014

T&D Electric S.A.C.

Calle La Unidad Mz J Lote 16,

Los Olivos, Lima, PERU

## ANEXO 6

### Ensayos de tangente delta en RON



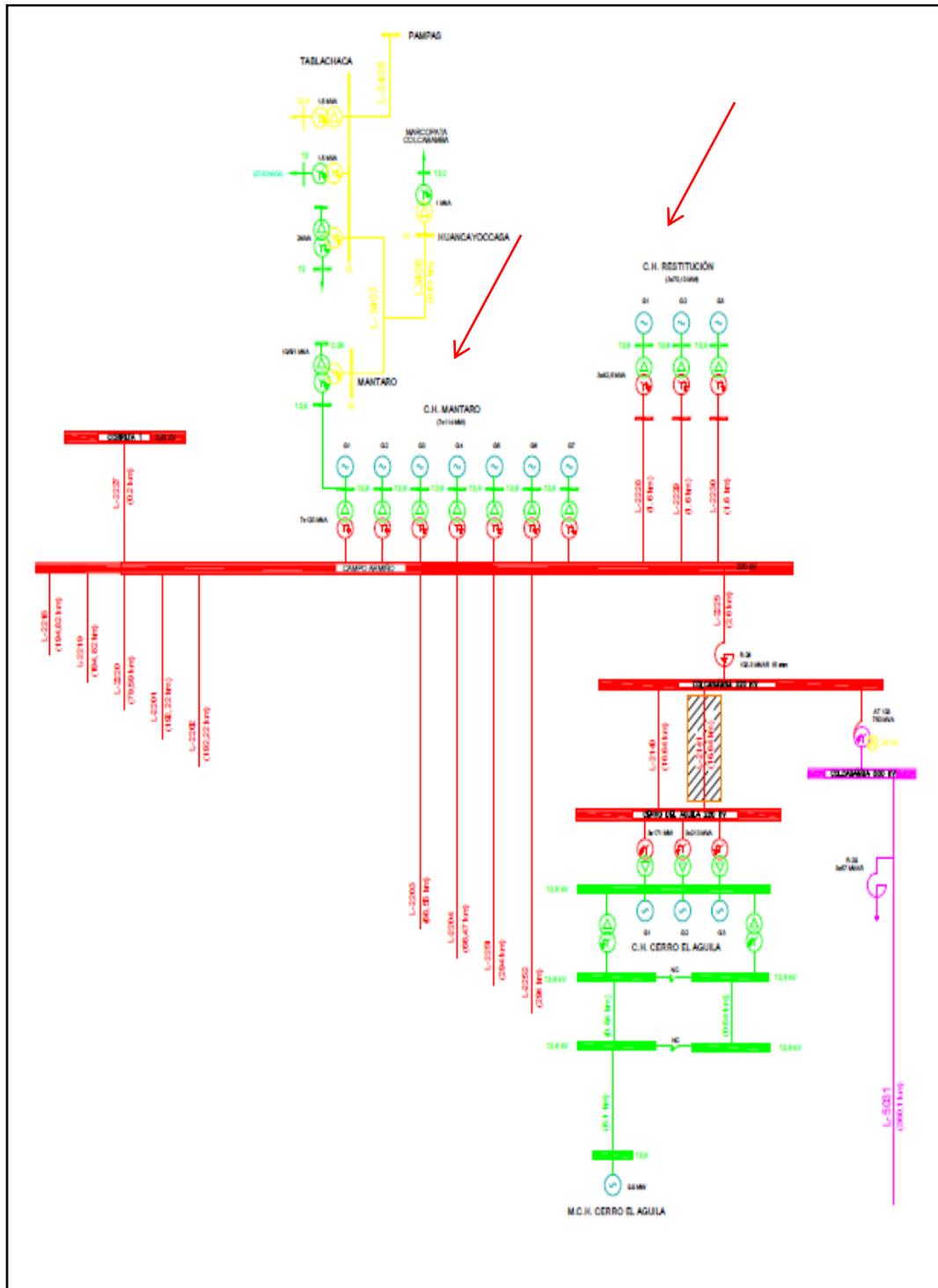
## ANEXO 7

### Ensayos de tangente delta en SAM



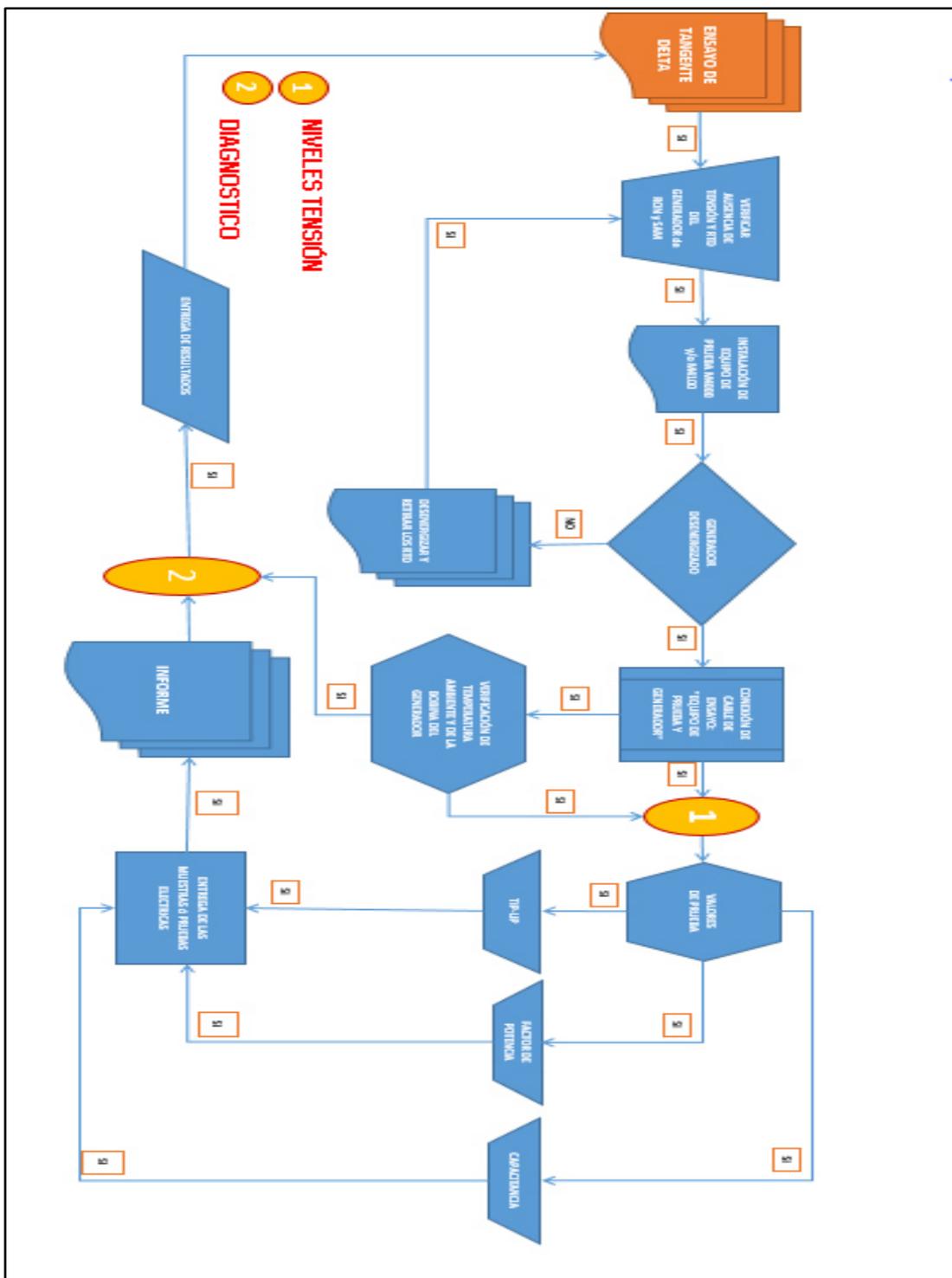
### ANEXO 8

Diagrama unifilar C.H. Mantaro y C.H. Restitución



### ANEXO 9

Flujograma del procedimiento de Ensayo



## ANEXO 10

### Acta de finalización



#### SERVICIO DE MEDICIÓN TANGENTE DELTA A GENERADORES DE POTENCIA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO Y RESTITUCIÓN

#### ACTA DE FINALIZACIÓN N° 001

**Asunto:** Finalización del servicio de la medición o pruebas de tangente delta a los siguientes dos generadores de potencia:

1. C.H. RON – Generador ANSALDO G1 13.8 KV, 82.5 MVA, 60 Hz.
2. C.H. RON – Generador ANSALDO G2 13.8 KV, 82.5 MVA, 60 Hz.
3. C.H. RON – Generador ANSALDO G3 13.8 KV, 82.5 MVA, 60 Hz.
4. C.H. SAM – Generador ANSALDO G1 13.8 KV, 120 MVA, 60 Hz.
5. C.H. SAM – Generador ANSALDO G2 13.8 KV, 120 MVA, 60 Hz.
6. C.H. SAM – Generador ANSALDO G5 13.8 KV, 120 MVA, 60 Hz.
7. C.H. SAM – Generador ANSALDO G6 13.8 KV, 120 MVA, 60 Hz.
8. C.H. SAM – Generador ANSALDO G7 13.8 KV, 120 MVA, 60 Hz.

#### A. ANTECEDENTE

1. Se adjudica el servicio a T&D Electric S.A.C. con requerimiento de atención N°420170362 de 12/09/2017 para el desarrollo de ensayo y pruebas de tangente delta en ocho etapas.

#### B. MEDICIÓN, PRUEBAS EN SITIO Y OBSERVACIONES

1. El 1/10/2017, se realizó la medición de Tangente Delta en la C.H. RON (G2).
2. El 3/10/2017, se realizó la medición de Tangente Delta en la C.H. SAM (G7).
3. El 10/10/2017, se realizó la medición de Tangente Delta en la C.H. SAM (G1).
4. El 12/10/2017, se realizó la medición de Tangente Delta en la C.H. SAM (G5).
5. El 15/10/2017, se realizó la medición de Tangente Delta en la C.H. RON (G1).
6. El 25/10/2017, se realizó la medición de Tangente Delta en la C.H. SAM (G6).
7. El 28/10/2017, se realizó la medición de Tangente Delta en la C.H. SAM (G2).
8. El 25/11/2017, se realizó la medición de Tangente Delta en la C.H. RON (G3).

#### C. CONCLUSION

El 25/11/2017 se concluyó el servicio de la medición o prueba de tangente delta al generador de potencia en ELECTROPERU S.A. de la C.H. RON y C.H. SAM en las 8 etapas. Los valores de medición o prueba de tangente delta a los generadores de potencia se amplían en el informe final 2017.

En señal de conformidad se suscribe la presente Acta.

Campo Armiño, 26 de noviembre de 2017

  
Ing. Demetrio P. Guerrero  
Meza  
T&D Electric S.A.C.

  
Ing. Jhonny Reymundo  
Gamarra  
Electroperu S.A.

  
Ing. Cesar Rivera Tena  
Electroperu S.A.