



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE SIMULACIÓN DE CONDICIONES CLIMÁTICAS, PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DE LOS AISLADORES DE SUSPENSIÓN EN LINEAS DE MEDIO VOLTAJE, PARA EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE SEDE LATACUNGA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORES: SALAZAR MORALES, LUIS ORLANDO  
ZURITA CAISAGUANO, JUAN SEBASTIAN**

**DIRECTOR: ING. MULLO QUEVEDO, ÁLVARO  
SANTIAGO**

**2020**



# Planteamiento del Problema

- Los aisladores deben cumplir condiciones técnicas y garantías de calidad ya que al estar sometidos a diferentes tipos de ambientes climáticos y contaminación es necesario realizar pruebas o simulaciones que permitan determinar el comportamiento la rigidez dieléctrica que de los mismos.

Al realizar prácticas de los aisladores de suspensión en el laboratorio de alto voltaje se evidencio que la manera de realizarlas involucra muchos riesgos ya que no se cuenta con una cámara de recreación de condiciones climáticas.



# OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir una cámara de simulación de condiciones climáticas en ambientes seco, húmedo y lluvia, con la implementación de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos que permitan la recreación de dichos ambientes para determinar el comportamiento de la rigidez dieléctrica en los aisladores de líneas de medio voltaje.



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los ambientes a los cuales un aislador eléctrico está sometido en líneas de distribución eléctrica.
- Investigar la construcción de cámaras de recreación de condiciones ambientales.
- Diseño y construcción de la parte mecánica de la cámara de ensayos climáticos, de forma que recree los ambientes como lluvia, humedad y temperaturas de condiciones secas, permitiendo así observar el comportamiento de su rigidez dieléctrica ante estas circunstancias.
- Realizar pruebas de funcionamiento de disrupción dieléctrica en los aisladores de suspensión en la cámara de recreación de condiciones ambientales.
- Realizar un manual de puesta en marcha de la cámara así como la guía respectiva de práctica.



# *Hipótesis*

- Mediante la implementación de una cámara de ensayos de recreación de diferentes ambientes climáticos, se permitirá determinar el comportamiento de la rigidez dieléctrica de aisladores de hasta medio voltaje sometiéndolos a dicha cámara.

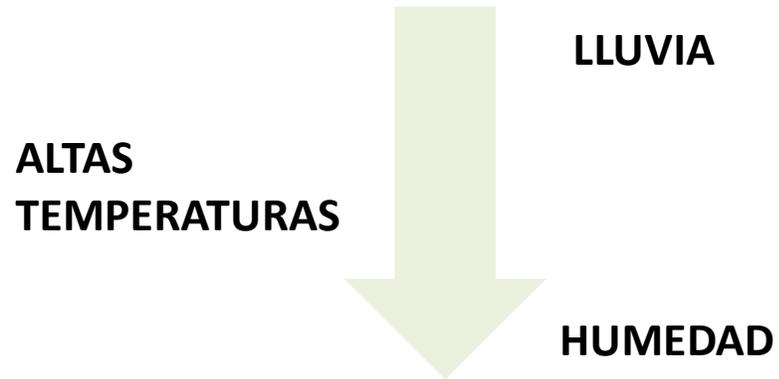
## **Variables de la investigación**

- **Variable independiente:** Cámara de ensayos de simulación de condiciones climáticas.
- **Variable dependiente:** Comportamiento de la rigidez dieléctrica de los aisladores de suspensión de hasta medio voltaje.



# INTRODUCCIÓN

Los eventos climáticos presentados en una línea de transmisión común, representan una alteración importante en las características técnicas de los aisladores que forman parte de las mismas.



Generan una gran repercusión en la confiabilidad eléctrica que se deben garantizar en un sistema eléctrico de distribución o transmisión.



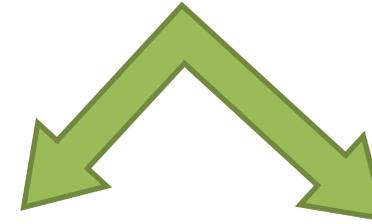
# INTRODUCCIÓN

## AISLADORES



Separar al conductor de la línea de apoyo que lo soporta de manera mecánica en condiciones normales de servicio, evitando así el paso de la corriente del conductor eléctrico hacia tierra..

## Tipos



### Función

- Soporte
- Suspensión
- Pin

### Material

- Cerámicos
- Vidrio
- Poliméricos



## Exigencias eléctricas de los Aisladores



Voltajes y corrientes atípicas que se pueden presentar sin previo aviso que pueden ser:

- Voltaje entre fase y tierra del sistema
- Voltajes compuestos
- Cortos monofásicos, trifásicos etc.

FLASH OVER O FLAMEO



## “FLASH OVER”

Resultado de una descarga eléctrica entre dos elementos conductores que están separados por un aislante.



Grado de Aislamiento

Salto del aislante

Perforación del  
aislante

# INTRODUCCIÓN

## Ambientes típicos donde operan aisladores

- **Lluvioso:** Áreas cercanas a las costas donde el contaminante es predominante al el agua de lluvia con conductividad considerable.
- **Húmedo:** Pasan por ambientes subtropicales como la amazonia ecuatoriana donde la humedad es presentes con alta incidencia, disminuyendo así la vida útil de las propiedades del aislador.
- **Seco:** Áreas son prácticamente a nivel del mar donde existe varias cantidades de polvo y muy caliente y en la noche la humedad relativa sube a niveles de 93%, que ocasiona flameos frecuentes en las líneas.

Calculo de cadena de aisladores

IEEE 1313-2 y la IEC

Distancia mínima de Fuga  
(mm/kV)

Grado de contaminación con su tipo de ambiente

- I Bajo
- II Medio
- III Alto
- IV Muy Alto



# INTRODUCCIÓN

## Distancia mínima de fuga en aisladores

Grado de Contaminación	Tipo de Ambiente	Distancia mínima de Fuga (mm/kV) IEC	Distancia mínima de Fuga (mm/kV) IEEE 1313-2
<b>I Bajo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Áreas sin industria y con baja densidad de viviendas equipadas con plantas de calefacción.</li><li>Áreas con baja densidad de industria o casas, pero sujetas a frecuentes vientos o lluvias.</li><li>Todas estas zonas están situadas a una distancia mínima de 10 a 20 Km del mar.</li></ul>	27.7	16
<b>II Medio</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Áreas con alta densidad de viviendas y/o industrias, pero sujetas a vientos frecuentes y/o lluvias.</li><li>Áreas expuestas al viento desde el mar pero no demasiado cerca de las costas (al menos varios Km de distancia).</li></ul>	34.6	20
<b>III Alto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Áreas con alta densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con alta densidad de plantas de calefacción que producen contaminación.</li><li>Áreas cercanas al mar o en cualquier casa expuesta a vientos del mar.</li></ul>	43.3	25
<b>IV Muy Alto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Áreas generalmente de extensión moderada, sometidas a polvos conductores y al humo industrial que produce depósitos conductores particularmente gruesas.</li><li>Áreas generalmente de extensión moderada, muy cerca de la costa.</li></ul>	53.7	31



# INTRODUCCIÓN

## Propiedades dieléctricas que intervienen en la operación de una aisladores

### Permeabilidad

Parámetro físico que describe que tanto es afectado un material por un campo eléctrico.

$$\varepsilon[\text{N}\cdot\text{m}^2]$$

### Conductividad

Capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él.

$$\sigma[\text{S}\cdot\text{m}]$$

### Rigidez

Es el máximo gradiente de potencial que puede soportar el aislante, sin que llegue a producirse una corriente disruptiva.

$$Rd[\text{V}/\text{m}]$$



# Pre-Análisis

## Voltaje de falla a frecuencia Industrial en ambientes secos sin contaminación

PRUEBA	VALOR MEDIDO (kV)	VALOR PROMEDIO (kV)	VALOR ESPECIFICADO CORREGIDO (kV)	RESULTADO
<b>AISLADOR DE PORCELANA</b>				
1	76	75	59.7	Cumple con las especificaciones de voltaje de falla
2	77			
3	73			
4	74			
5	75			
<b>AISLADOR DE VIDRIO</b>				
1	66	66	59.7	Cumple con las especificaciones de voltaje de falla
2	68			
3	65			
4	67			
5	64			



# Pre-Análisis

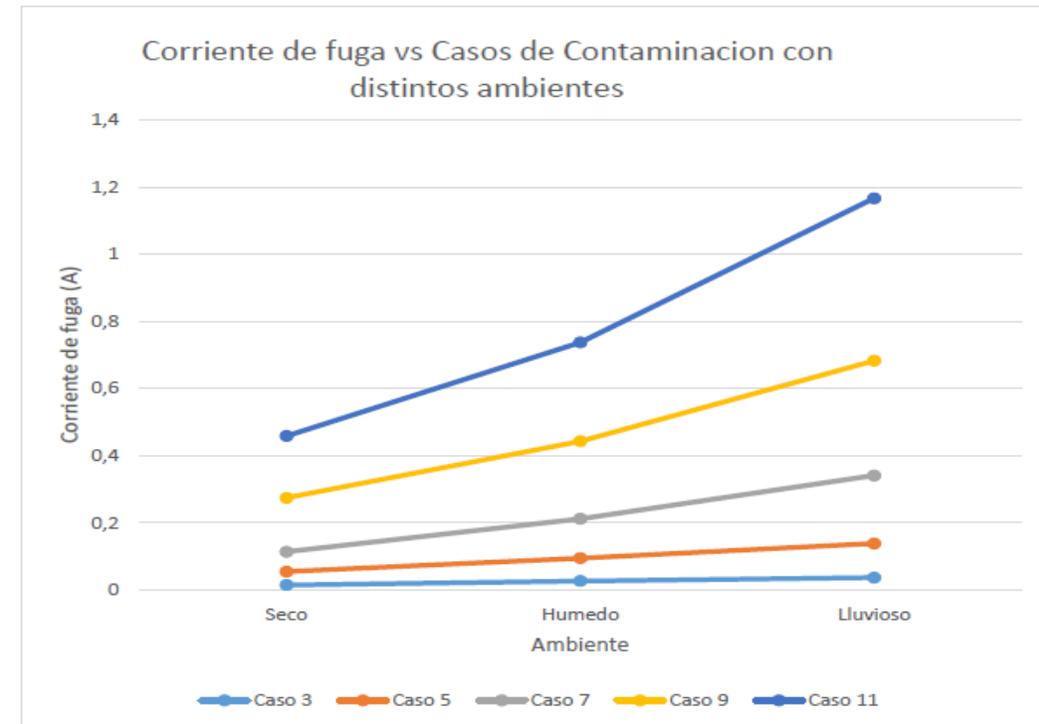
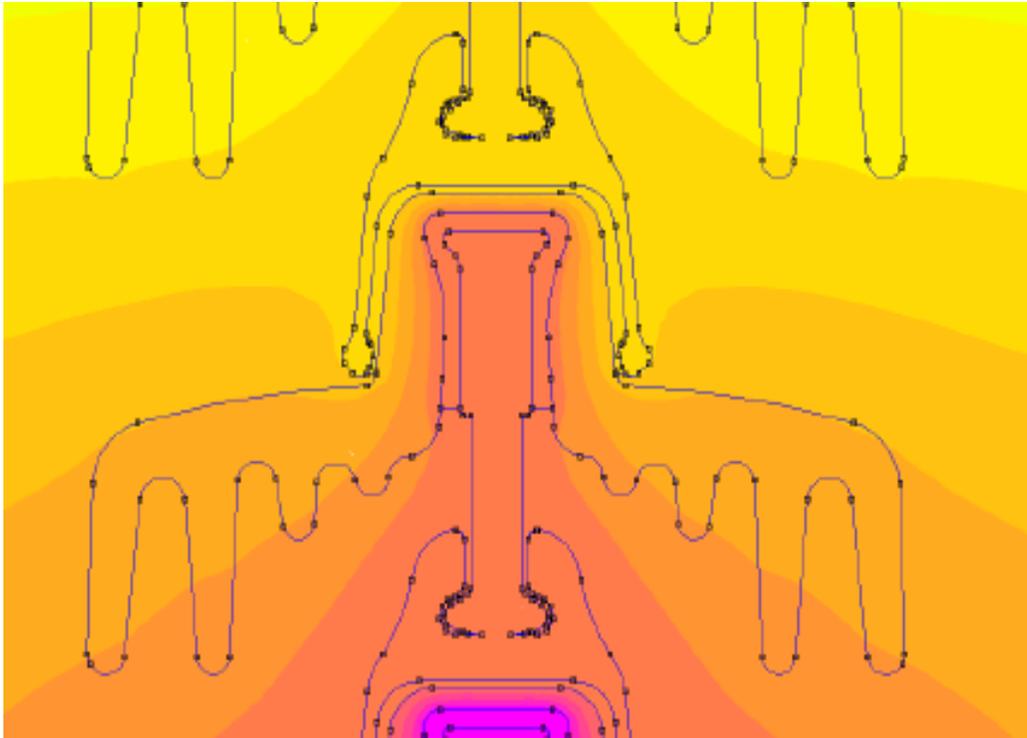
## Voltaje de falla a frecuencia Industrial en ambientes húmedos sin contaminación

PRUEBA	VALOR MEDIDO (kV)	VALOR PROMEDIO (kV)	VALOR ESPECIFICADO CORREGIDO (kV)	RESULTADO
<b>AISLADOR DE PORCELANA</b>				
1	44	43	36	Cumple con las especificaciones mínimas
2	45			
3	41			
4	42			
5	43			
<b>AISLADOR DE VIDRIO</b>				
1	40	40	36	Cumple con las especificaciones mínimas
2	42			
3	49			
4	41			
5	48			



# Pre-Análisis

## Análisis de la influencia de la contaminación ambiental en la corriente de fuga.



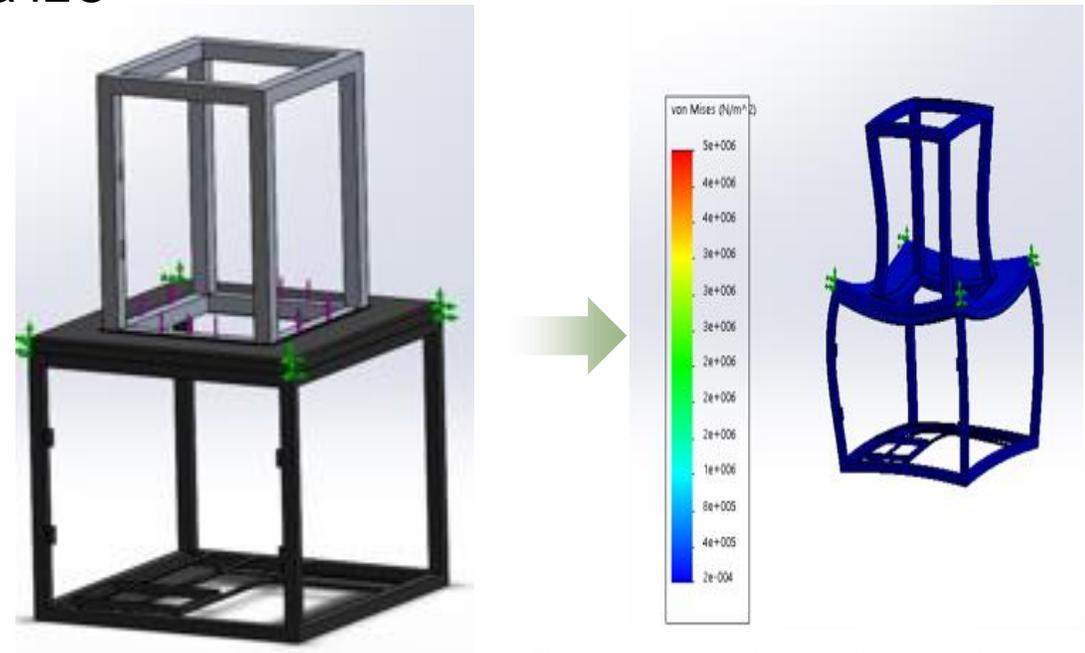
# Análisis

## Diseño y Construcción de la Cámara de Simulación Climática

Capaz de escenificar ambientes de humedad como niebla y lluvia y diversos ambientes secos la cual cumple con las especificaciones dadas en la norma IEC 60507

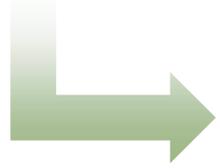
*Simulación de cargas en la estructura*

- **Peso:** 15 Kg de cámara de estructura (154N)



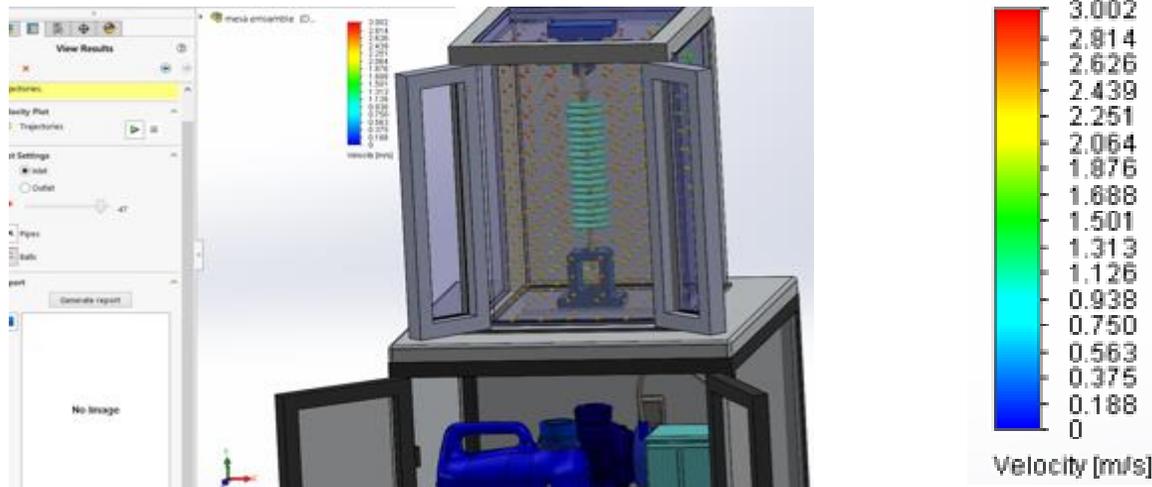
# Análisis

## Diseño y Construcción de la Cámara de Simulación Climática



**Simulación de Flujo de aire caliente en la cámara realizada en Solid Works**

- **Temperatura:**  $T^{\circ} = 20^{\circ}C$
- **Presión:**  $P_0 = 101.3 \text{ KPa}$  (760 mmHg)



La simulación se realizó con las condiciones atmosféricas estándar a las cuales se realizan las pruebas descritas en la norma ANSI/IEEE, 4-1978



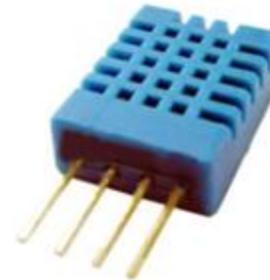
# Análisis

## Diseño y Construcción de la Cámara de Simulación Climática

*Sistema de generación de humedad*

Humidificación artificial con un porcentaje de humedad relativa del 40-95% de humedad relativa extendiéndose en la cámara y teniendo contacto con los aisladores presentes, está ubicado en la zona posterior de la cámara y su estructura en la parte interior de la mesa

Sensor de humedad DHT11



## Diseño y Construcción de la Cámara de Simulación Climática

### *Sistema de generación de Lluvia*

- Sistema hidroneumático capaz de dar una presión de aire de 55KPa, que con la coordinación de un sistema de riego por nebulización se cuenta con 4 aspersores de 1mm de diámetro distribuidos cuadrangularmente en la parte posterior de la cámara de vidrio.
- Lluvia ligera (paramo) de una precipitación desde 1mm/h hasta 8mm/h según la norma IEC60507



## Diseño y Construcción de la Cámara de Simulación Climática

### *Sistema de generación de clima seco*

Dispone de 2 resistencias de 750 W, que al conectarse en serie a la red de 127 V se genera un calor de hasta 50°C, junto con un ventilador industrial (Blower) de 0.1HP, hace posible mediante la conexión de una tubería de acero transportar el calor desde la cámara de las resistencias hasta la cámara de vidrio.

**Sensor de temperatura PT 100**



El sistema de temperatura se controla mediante el panel fuera de la cámara de ensayos eléctricos

# Análisis

## Diseño y Construcción de la Cámara de Simulación Climática

*Sistema de Generación Eléctrica.*

En el Laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga se dispone de un sistema de generación de voltaje de hasta 120 Kv (HI-POT 120KV)



# Análisis

## Análisis de Conductividad ( $\alpha$ ) y Permeabilidad ( $\epsilon$ ) eléctrica en distintos ambientes climáticos

La norma IEC 60507 se rige en propiedades climáticas en ambientes seco (20°C) húmedo (36%) y lluvioso (0.1 a 40 mm/hr de precipitación y con agua de conductividad de aproximadamente 200  $\mu$ S/cm para realizar pruebas en aisladores eléctricos



**Intervención de la temperatura en la conductividad de un material**

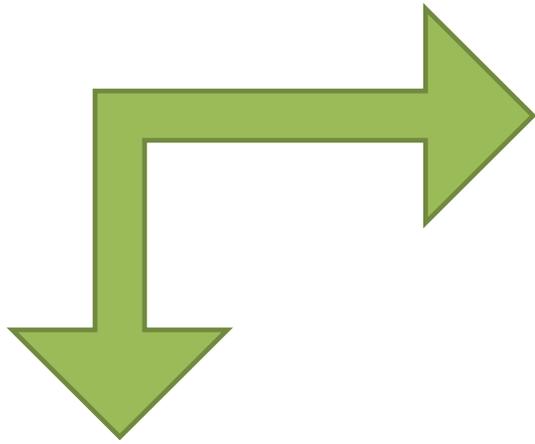
$$\alpha_{\circ C} = \frac{\alpha_{20}}{1 - b(\circ C - 20)}$$

$$b = (-3.2 * 10^{-8} * \circ C^3) + (1.032 * 10^{-5} * \circ C^2) - (8.272 * 10^{-4} * \circ C) + (3.544 * 10^{-2})$$



# Análisis

Análisis de Conductividad ( $\alpha$ ) y Permeabilidad ( $\epsilon$ ) eléctrica en distintos ambientes climáticos



## En ambiente seco

$^{\circ}\text{C}$	$\alpha$ (Cerámico Seco S/m)	$\alpha$ (Polimérico Seco S/m)	$\alpha$ (Aire Seco S/m)
20	$5.330 * 10^{-9}$	$2 * 10^{-9}$	$1 * 10^{-14}$
25	$5.946 * 10^{-9}$	$2.2310 * 10^{-9}$	$1.1155 * 10^{-14}$
30	$6.584 * 10^{-9}$	$2.4710 * 10^{-9}$	$1.2353 * 10^{-14}$



# Análisis

## Análisis de Conductividad ( $\alpha$ ) y Permeabilidad ( $\epsilon$ ) eléctrica en distintos ambientes climáticos

### En ambiente seco

$^{\circ}\text{C}$	$\alpha$ (Cerámico Seco S/m)	$\alpha$ (Polimérico Seco S/m)	$\alpha$ (Aire Seco S/m)
20	$5.330 * 10^{-9}$	$2 * 10^{-9}$	$1 * 10^{-14}$
25	$5.946 * 10^{-9}$	$2.2310 * 10^{-9}$	$1.1155 * 10^{-14}$
30	$6.584 * 10^{-9}$	$2.4710 * 10^{-9}$	$1.2353 * 10^{-14}$

### En ambiente seco

$^{\circ}\text{C}$	$\alpha$ (Cerámico Humedo S/m)	$\alpha$ (Polimérico Humedo S/m)	$\alpha$ (Aire Humedo S/m)
20	$5.330 * 10^{-9}$	$2 * 10^{-9}$	$1.5 * 10^{-8}$
25	$5.946 * 10^{-9}$	$2.2310 * 10^{-9}$	$1.673 * 10^{-14}$
30	$6.584 * 10^{-9}$	$2.4710 * 10^{-9}$	$1.853 * 10^{-14}$



# Análisis

## Análisis de Conductividad ( $\alpha$ ) y Permeabilidad ( $\epsilon$ ) eléctrica en distintos ambientes climáticos

En ambiente lluvioso

$^{\circ}\text{C}$	$\alpha$ (Cerámico Lluvioso S/m)	$\alpha$ (Polimérico Lluvioso S/m)	$\alpha$ (Aire Lluvioso S/m)
20	$5.330 * 10^{-9}$	$2 * 10^{-9}$	$1 * 10^{-14}$
25	$5.946 * 10^{-9}$	$2.2310 * 10^{-9}$	$1.1155 * 10^{-14}$
30	$6.584 * 10^{-9}$	$2.4710 * 10^{-9}$	$1.2353 * 10^{-14}$

### PERMIABILIDAD EN MATERIALES DE AISLADORES

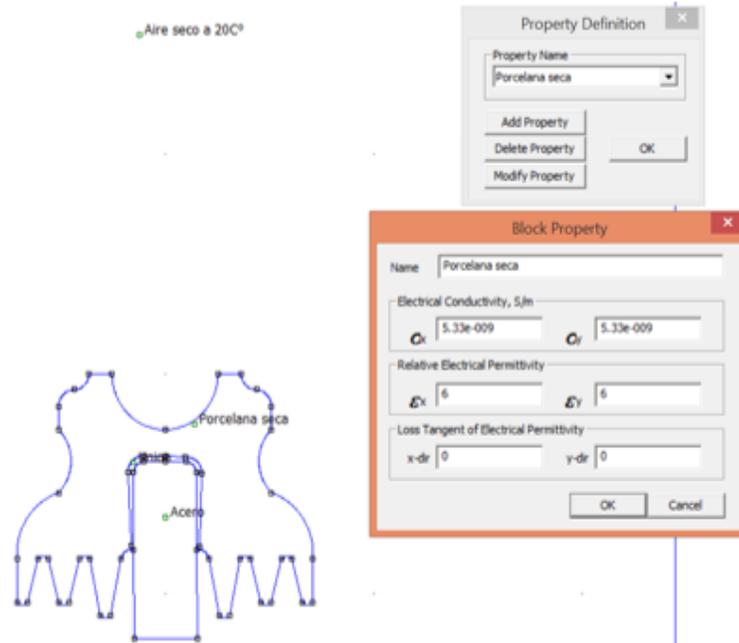
MATERIAL	PERMEABILIDAD
AIRE	1
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (HÚMEDO)	10
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (LLUVIOSO)	50
CEMENTO (UNIONES)	15
ACERO (CAPERUZA, PIN)	1000000
PORCELANA (AISLANTE)	6



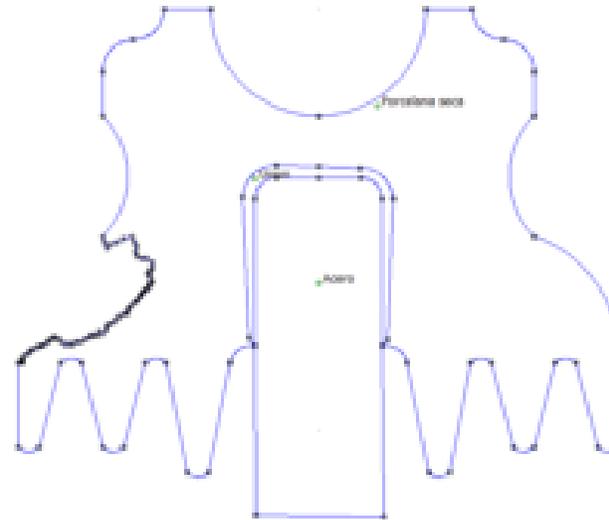
# Análisis

## Simulación de pruebas de rigidez dieléctrica en aisladores por el software FEMM

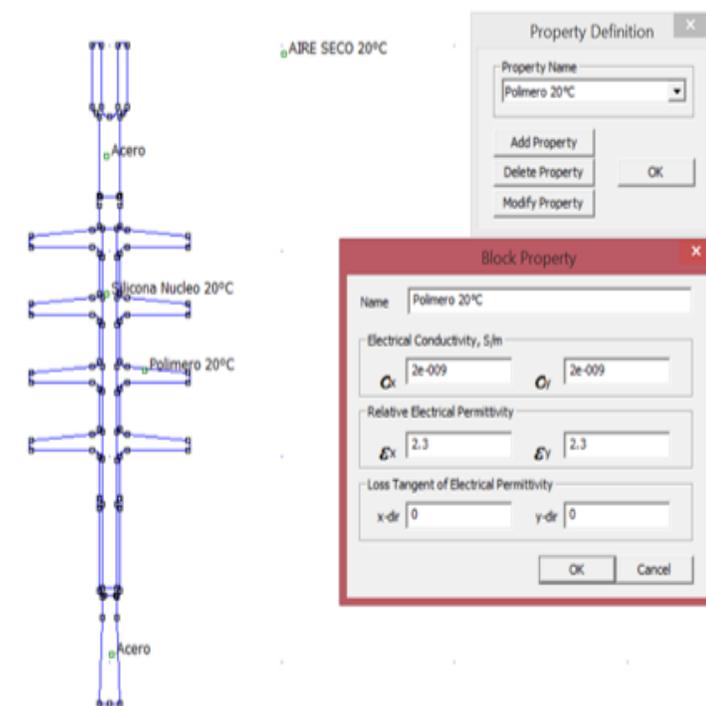
**CERÁMICO NUEVO**



**CERÁMICO CON FALLA ESTRUCTURAL**

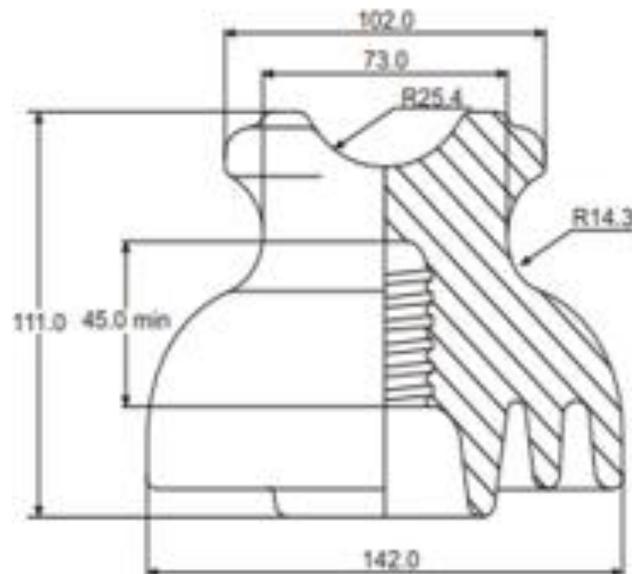


**POLIMÉRICO DE SUSPENSIÓN**



## Aisladores para pruebas de Rigidez Dieléctrica

Tipo Pin Sencillo GAMMA CORONA ANSI-4, NBA 95Kv,  
13 Kn

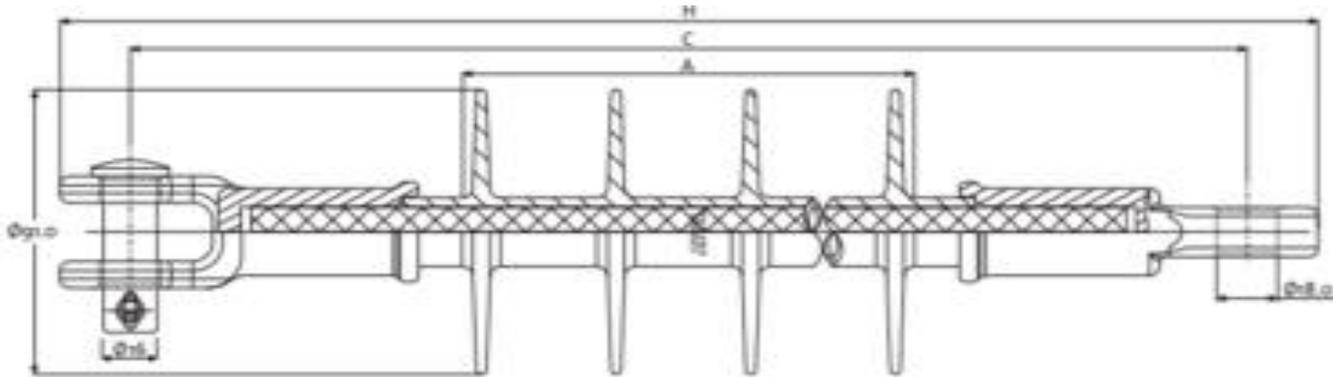


### Características técnicas:

- Voltaje típico de aplicación 13,4 Kv
- Flameo en seco = 65 Kv
- Flameo en húmedo = 35 Kv

## Aisladores para pruebas de Rigidez Dieléctrica

Tipo Pin Sencillo GAMMA CORONA ANSI-4, NBA 95Kv,  
13 Kn

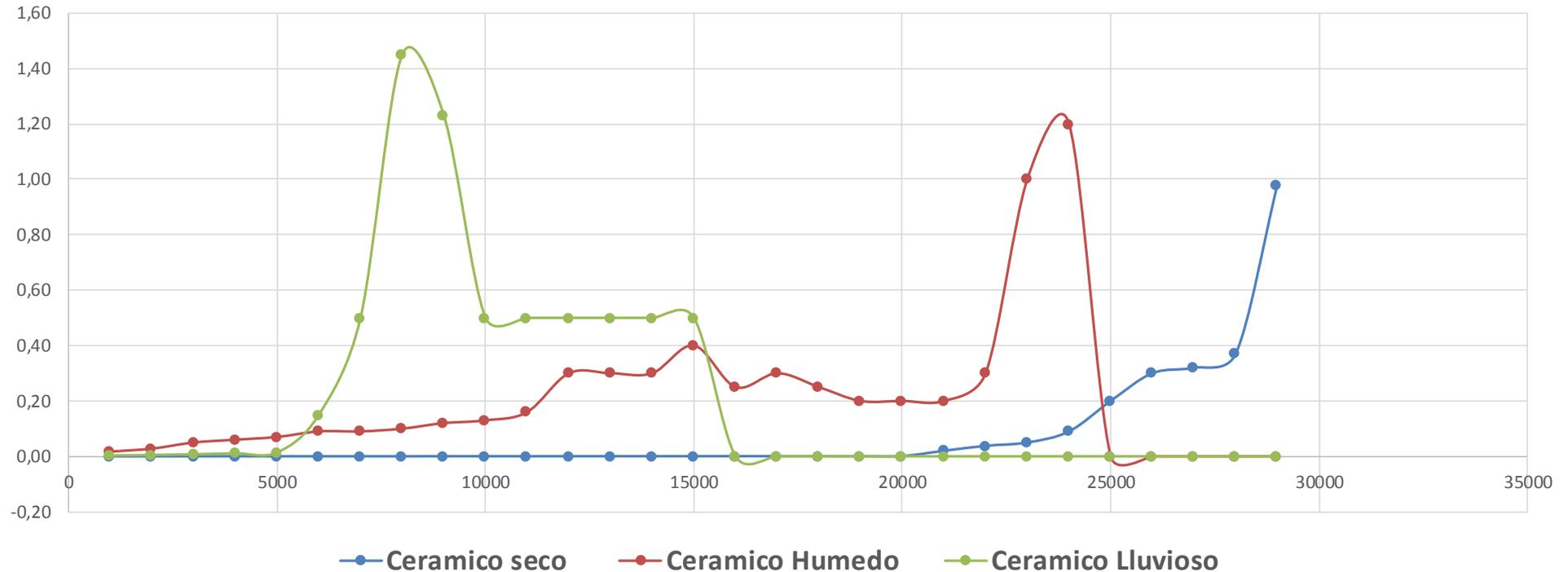


### Características técnicas:

- Voltaje típico de aplicación 14 Kv
- Flameo en seco = 95 Kv
- Flameo en húmedo = 85 Kv

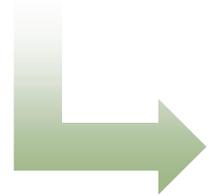
## Resultados en pruebas físicas del Aislador GAMMA CORONA ANSI-4 (Nuevo)

If de Aislador Ceramico tipo pin ANSI-4

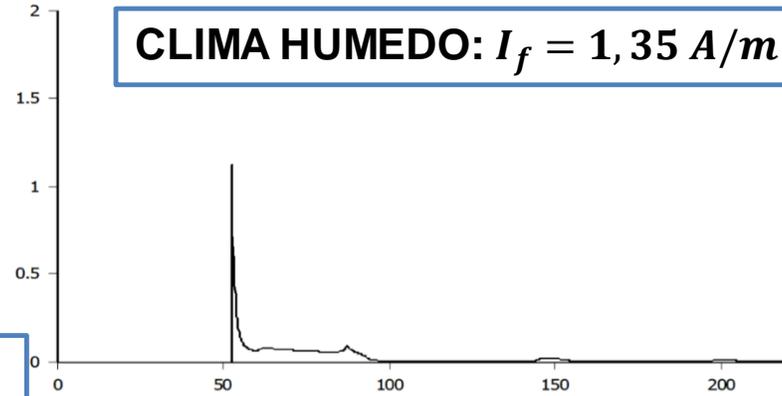


# Análisis

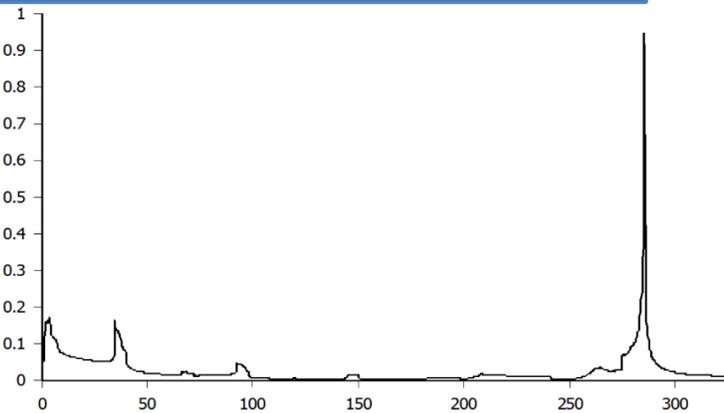
## Resultados en pruebas simuladas en FEMM del Aislador GAMMA CORONA ANSI-4 (Nuevo)



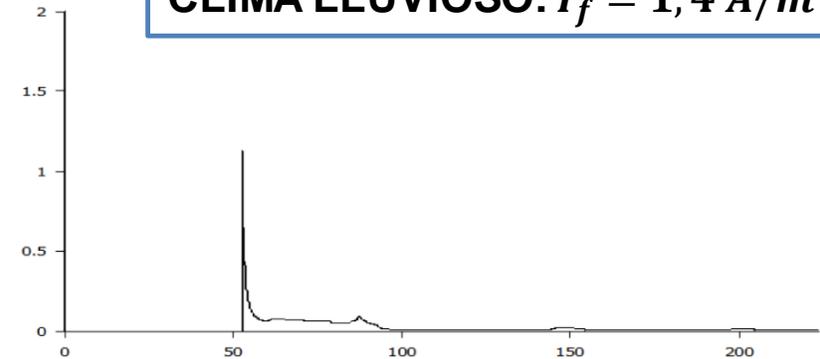
CLIMA HUMEDO:  $I_f = 1,35 A/m$



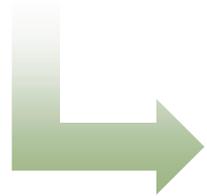
CLIMA SECO:  $I_f = 0.98 A/m$



CLIMA LLUVIOSO:  $I_f = 1,4 A/m$

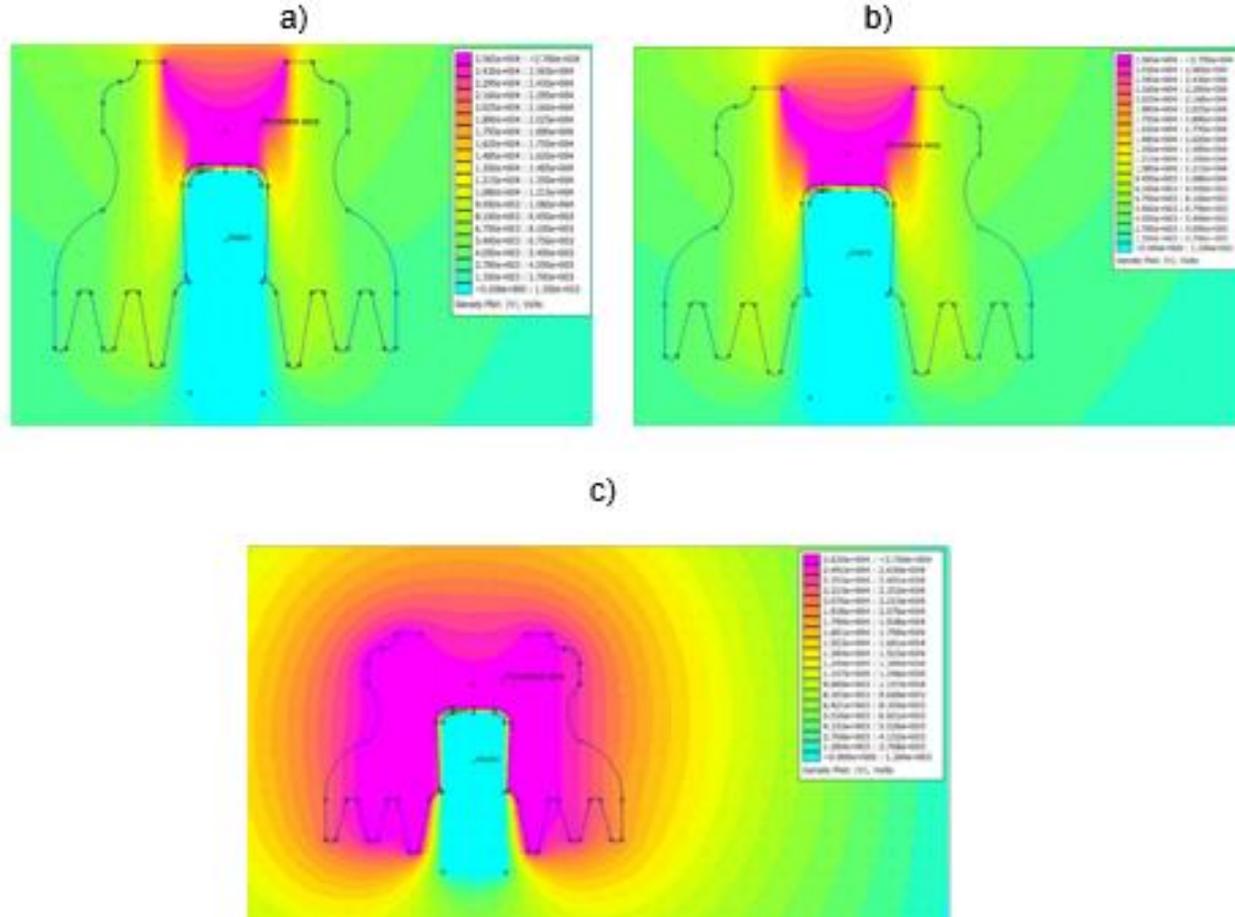
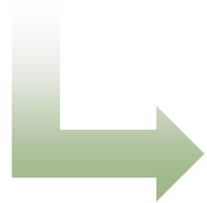


## Resultados en pruebas físicas del Aislador GAMMA CORONA ANSI-4 (Nuevo)



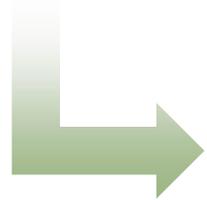
Ambiente	Seco	Húmedo	Lluvioso
$I_f$ A/m (Datos de Prueba Real)	1.02	1.2	1.52
$I_f$ A/m (Datos de Prueba en FEMM)	0.98	1.35	1.4
Rigidez Die. V/m (Datos Técnicos)	65000	35000	35000
Rigidez Die. V/m (Datos de Prueba Real)	29000	24000	8000

## Resultados en pruebas físicas del Aislador GAMMA CORONA ANSI-4 (Nuevo)

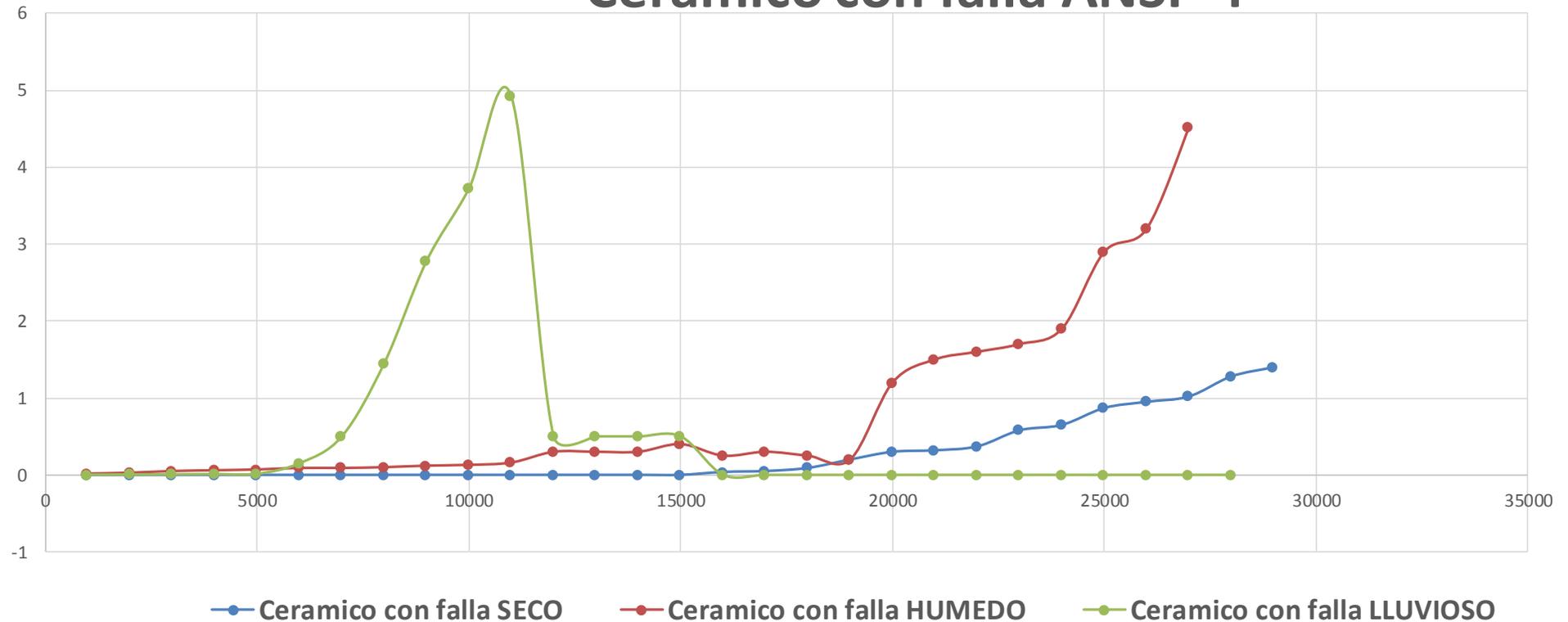


# Análisis

## Resultados en pruebas físicas del Aislador GAMMA CORONA ANSI-4 (CON FALLA ESTRUCTURAL)



### Ceramico con falla ANSI-4



—●— Cerámico con falla SECO

—●— Cerámico con falla HUMEDO

—●— Cerámico con falla LLUVIOSO



# Análisis

## Resultados en pruebas físicas del Aislador GAMMA CORONA ANSI-4 (CON FALLA ESTRUCTURAL)

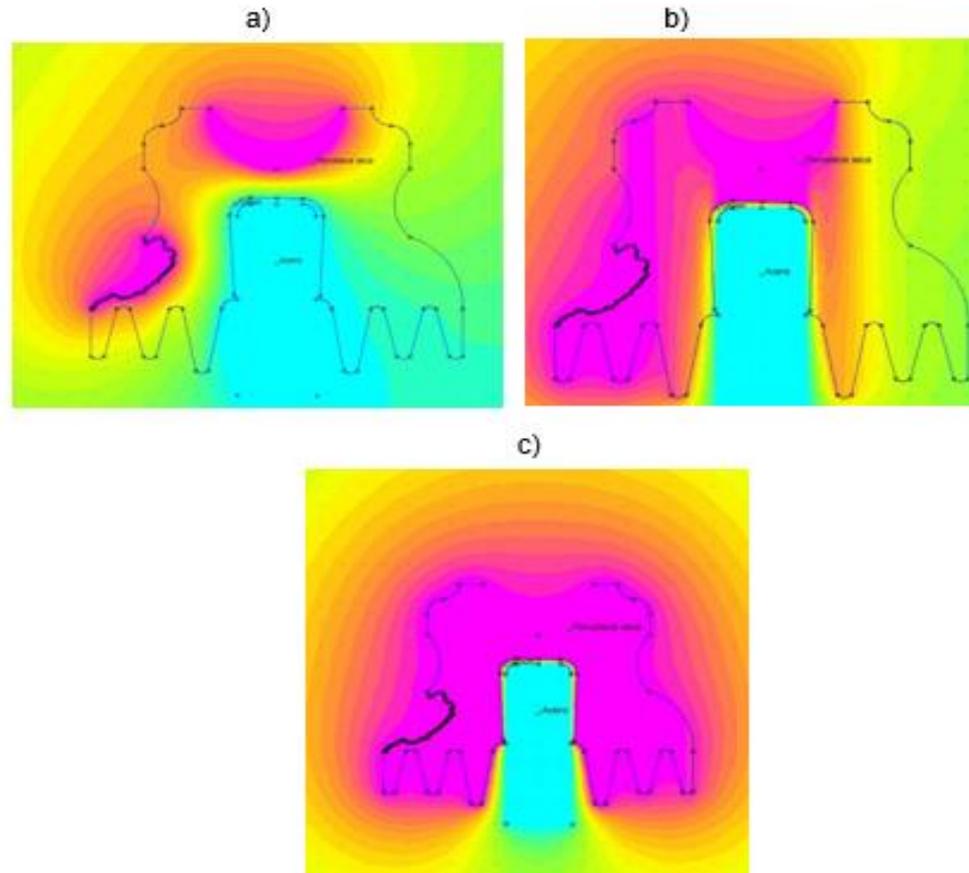
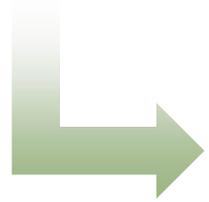


Ambiente	Seco	Húmedo	Lluvioso
$I_f A/m$ (Datos de Prueba Real)	1.4	4.52	4.92
$I_f A/m$ (Datos de Prueba en FEMM)	1.5	4.45	5.5
Rigidez Die. $V/m$ (Datos Técnicos)	65000	35000	35000
Rigidez Die. $V/m$ (Datos de Prueba Real)	29000	27000	11000



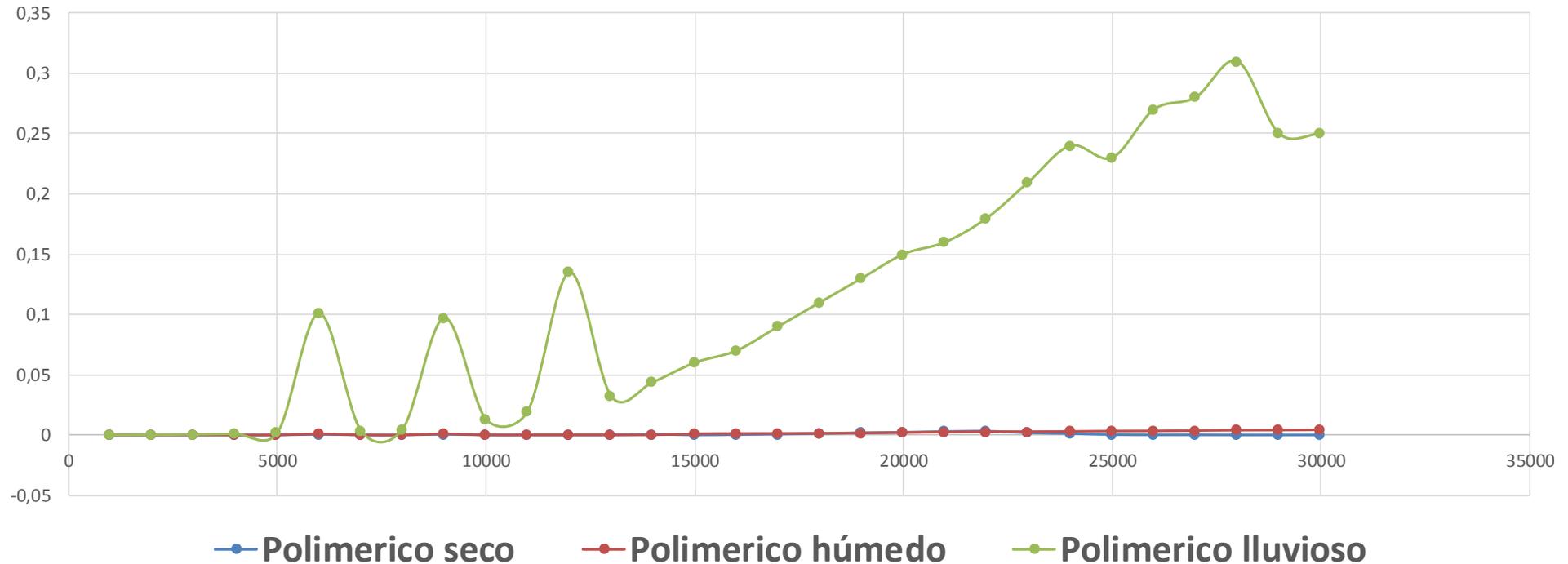
# Análisis

## Resultados en pruebas físicas del Aislador GAMMA CORONA ANSI-4 (CON FALLA ESTRUCTURAL)



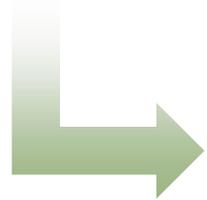
## Resultados en pruebas físicas del Aislador GAMMA ANSI C29.5 SML 70Kn, NBA 14Kv

### Aislador Polimerico de Supención ANSI C29.5

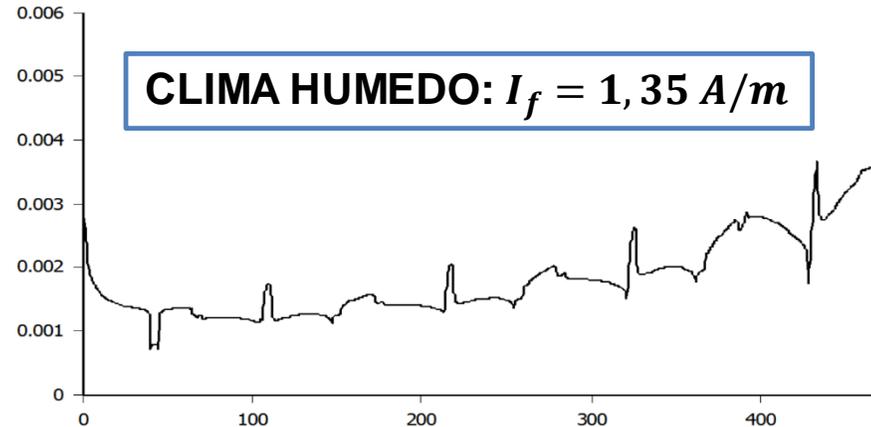
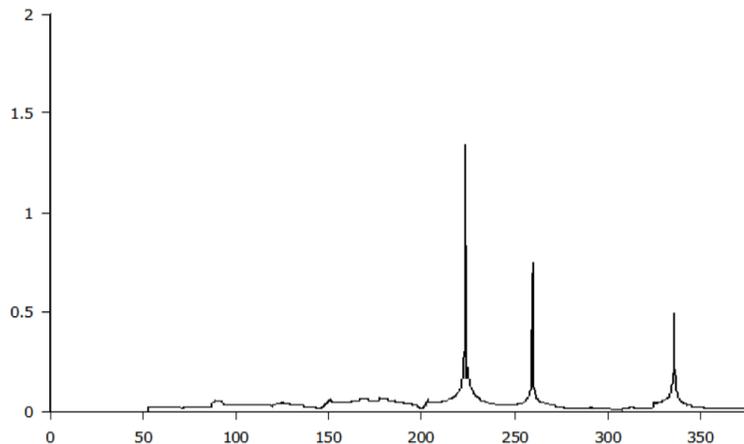


# Análisis

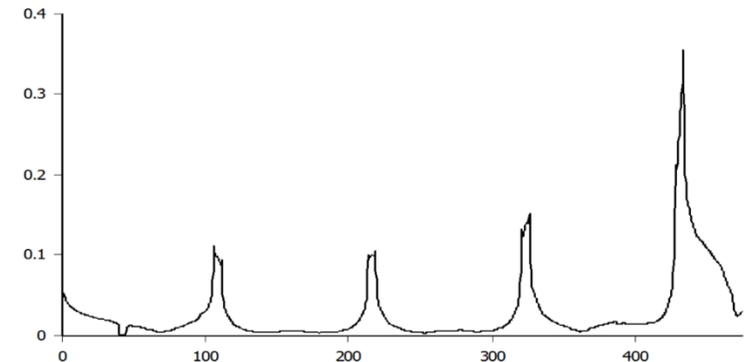
## Resultados en pruebas físicas del Aislador GAMMA ANSI C29.5 SML 70Kn, NBA 14Kv



**CLIMA SECO:  $I_f = 0.98 A/m$**



**CLIMA LLUVIOSO:  $I_f = 1,4 A/m$**



# Análisis

## Resultados en pruebas físicas del Aislador GAMMA ANSI C29.5 SML 70Kn, NBA 14Kv

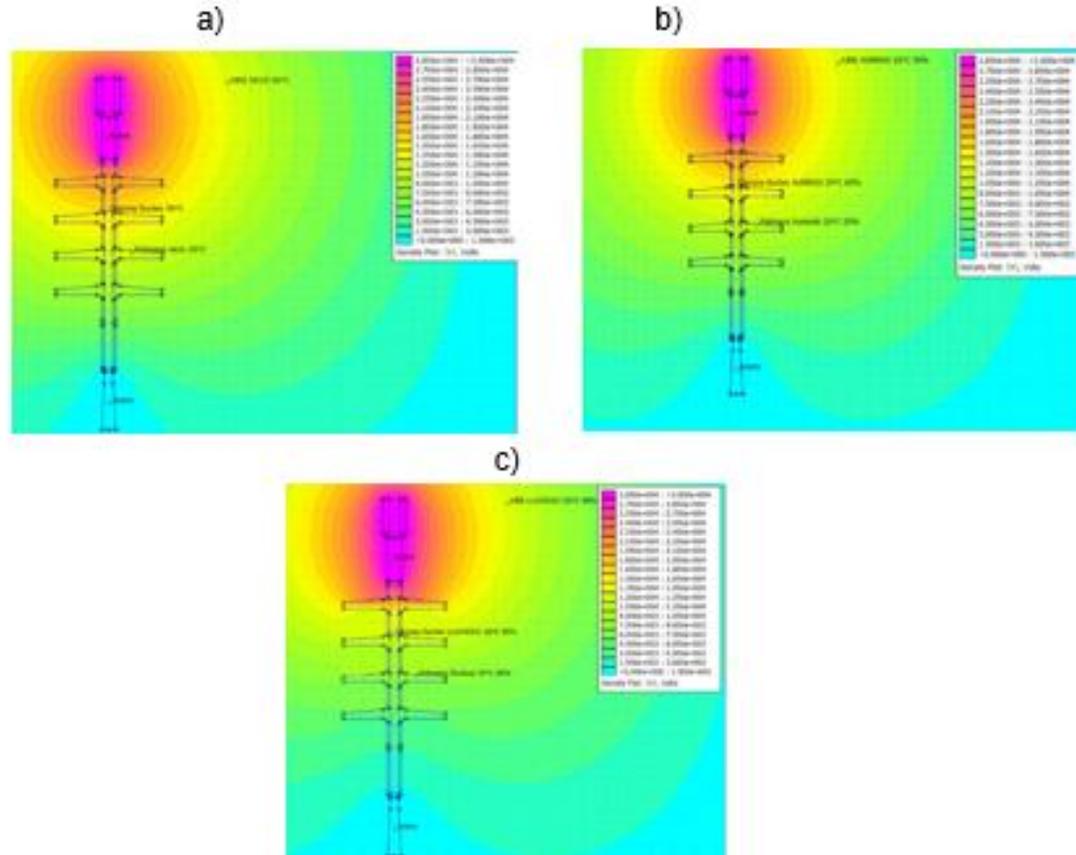
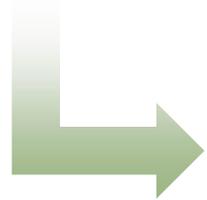


Ambiente	Seco	Húmedo	Lluvioso
$I_f$ A/m (Datos de Prueba Real)	0.000	0.043	0.32
$I_f$ A/m (Datos de Prueba en FEMM)	0.028	0.05	0.38
Rigidez Die.V/m (Datos Técnicos)	95000	85000	85000
Rigidez Die.V/m (Datos de Prueba Real)	30000	30000	29000



# Análisis

## Resultados en pruebas físicas del Aislador GAMMA ANSI C29.5 SML 70Kn, NBA 14Kv



# Conclusiones

- Se construyó una cámara capaz de simular ambientes de climas seco, húmedo y lluvioso por medio de un controlador electrónico según las normas: IEC 60815-1 Y IEC 60507.
- Se realizó los cambios pertinentes en temperatura con un máximo de 50°C controlables y una humedad relativa de 36-98%, que interfieren en el ambiente de la cámara de simulación climática así permitiendo una recreación específica de los ambientes a los cuales el aislador está sometido en operación.



# Conclusiones

- Las pruebas realizadas de disrupción eléctrica en clima simulado seco a temperaturas de 20°, 25° y 30°C, humedad a 55% y lluvia a 95% con una conductividad de agua de 200  $\mu\text{S}/\text{m}$ , se aplicaron a dos tipos de aisladores Pin sencillo cerámico marca GAMMA CORONA ANSI-4 (Nuevo y con Falla en su estructura) y el aislador de suspensión polimérico Clevis-Lengüeta, GAMMA ANSI C29.5, permitiendo así determinar las corrientes de fuga en cada y rigidez dieléctrica al momento de su operación pertinente.



# Conclusiones

- Los resultados obtenidos en las pruebas de simulación climática a los aisladores cerámicos GAMMA CORONA ANSI-4 del mismo tipo pero con uno de ellos con falla en su estructura permiten observar que el aislador sano brinda una rigidez dieléctrica aceptable en ambientes seco y húmedo que en comparación con el aislador con falla, la corriente de fuga que este presentó de 5 A en un valor de voltaje 11kV en estos ambientes fue relativamente grande permitiendo el Flash Over inclusive antes de llegar al voltaje de operación de manera constante.
- El aislador polimérico Clevis-Lengüeta ANSI C29.5, presentó en la mayoría de las pruebas climáticas una corriente de fuga considerablemente baja que no superó los 0,32A lo cual indica su eficiencia y confiabilidad de operación en ambientes de clima críticos.



# Conclusiones

- Los resultados de corriente de fuga y rigidez dieléctrica obtenidos en las pruebas físicas por medio de la cámara de simulación climática se comprobaron mediante la obtención de los mismos datos en condiciones de permeabilidad y conductividad del material y atmosfera en la que se encontraba el aislador en el Software FEMM, demostrando un error del 10% en la similitud de los resultados tanto en forma física como virtual.
- Mediante el controlador electrónico con el que cuenta la cámara de simulación climática se permitió la realización de una Guía-Manual de operación de la misma para su aprovechamiento en el laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.



# Recomendaciones

- Se recomienda la protección adecuada y pertinente de los alumnos, docentes y elementos electrónicos en el interior de la jaula de operación del HI- POT, donde se encuentra la cámara de simulación climática.
- Revisar la guía de operación de la cámara de simulación climática asegurándose de seguir de manera pertinente los pasos de operación de la misma antes y después de realizar las pruebas físicas.
- Realizar pruebas de simulación climática con contaminantes como polvo y ceniza lo cual permitirá observar de manera clara la operación de estos aisladores en ambientes críticos de contaminación externa.



***GRACIAS POR SU ATENCIÓN***



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA