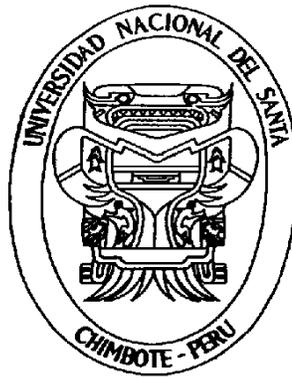


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Energía



**“COORDINACION DE AISLAMIENTO PARA UN ALIMENTADOR
EN MEDIA TENSION 13,2 KV EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE”**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero en Energía

AUTOR: BACH. PAUL CESAR DAVELOUIS NUÑOVERO
ASESOR: ING. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO

Chimbote - Perú
2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA



ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrada dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la Universidad Nacional del Santa (R. N° 471-2002-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN
ENERGIA**

**“COORDINACION DE AISLAMIENTO PARA UN ALIMENTADOR EN MEDIA
TENSION 13,2 KV EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE”**

TESISTA: Bach. DAVELOUIS NUÑOVERO PAUL CESAR

Ing. Julio Escate Ravello
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA



ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS

Damos la conformidad del presente Informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R. N° 471-2002-CU-R-UNS); titulado:

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN
ENERGIA**

**TITULO: "COORDINACION DE AISLAMIENTO PARA UN ALIMENTADOR EN
MEDIA TENSION 13,2 KV EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE"**

TESISTA: Bach. DAVELOUIS NUÑOVERO PAUL CESAR

Revisado y evaluado por el siguiente Jurado Evaluador:

Mg. Robert Guevara Chinchayán
Presidente

M.Sc. César López Aguilar
Secretario

Ing. Julio Escate Ravello
Integrante

Dedico este trabajo a mi querida
madre como muestra de mi
eterna gratitud.

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

I. COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN REDES DE MEDIA TENSIÓN

1.1	OBJETIVO DE LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO.....	1
1.2	DEFINICIONES BÁSICAS.....	1
1.2.1	Alimentador.....	1
1.2.2	Longitud de línea de fuga.....	1
1.2.3	Nivel de aislamiento.....	1
1.2.4	Sobretensión.....	1
1.2.5	Tensión nominal.....	1
1.2.6	Tensión máxima del sistema.....	1
1.2.7	Tensión disruptiva a la frecuencia industrial.....	2
1.2.8	Tensión de perforación.....	2
1.3	TIPOS DE AISLAMIENTO.....	2
1.3.1	Aislamiento externo.....	2
1.3.2	Aislamiento interno.....	3
1.3.3	Aislamiento autorecuperante.....	3
1.3.4	Aislamiento no autorecuperante.....	3
1.4	ESFUERZOS ELÉCTRICOS.....	4
1.4.1	Tensión permanente a la frecuencia industrial.....	4
1.4.2	Sobretensiones.....	5
1.5	PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO EN UN ALIMENTADOR EN MEDIA TENSION.....	9

II. FUNDAMENTOS DE AISLADORES

2.1	CONCEPTO DE AISLADOR.....	12
2.2	PASO DE CORRIENTE.....	12
2.2.1	Por conductividad del arterial.....	12
2.2.2	Por conductividad superficial.....	13
2.2.3	Por perforación de la masa del aislador.....	13

2.2.4	Por descarga disruptiva a través del aire.....	14
2.3	PROPIEDADES CONSERVADORAS DE LOS AISLADORES.....	16
2.4	CARACTERÍSTICAS DE AISLAMIENTO DE LOS AISLADORES.....	16
2.4.1	Nivel de aislamiento a baja frecuencia o frecuencia industrial....	17
2.4.2	Nivel de aislamiento al impulso tipo rayo.....	17
2.4.3	Niveles de aislamiento.....	18
2.5	MATERIALES DE LOS AISLAMIENTOS SEGÚN	
	REQUERIMIENTOS.....	19
2.5.1	Requerimientos de calidad.....	19
2.5.2	Aisladores de porcelana o vidrio.....	19
2.5.3	Aisladores poliméricos.....	19
2.5.4	Relación de la tensión disruptiva con la tensión de perforación...20	
2.6	TIPOS DE AISLADORES.....	23
2.6.1	Aisladores de suspensión o retención.....	23
2.6.2	Aisladores tipo line post.....	27
2.6.3	Aisladores tipo pin.....	31
III.	TIPOS DE CONTAMINACIÓN EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE	
3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	35
3.2	CONTAMINACIÓN MARINA.....	36
3.3	CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL.....	36
3.4	CONTAMINACIÓN DESÉRTICA – AGRÍCOLA.....	36
3.5	CONTAMINACIÓN EN AISLAMIENTOS EXTERNOS.....	39
3.6	PROCESO DE LA CONTAMINACIÓN EN AISLAMIENTOS	
	EXTERNOS.....	39
3.7	COMPOSICIÓN DE LA MATERIA CONTAMINANTE.....	39
3.7.1	Materia insoluble en suspensión permanente.....	40
3.7.2	Materia soluble en suspensión.....	40
3.8	FLAMEO EN AISLADORES CONTAMINADOS.....	40
3.8.1	Arqueo en aisladores debido a la contaminación.....	40
3.8.2	Efectos de los depósitos contaminantes sobre el	
	aislamiento.....	47

IV. SELECCIÓN DE AISLADORES USANDO EL MÉTODO DE LÍNEA DE FUGA	
4.1 METOLOGÍA DE CÁLCULO.....	50
4.2 GRADO DE AISLAMIENTO.....	58
4.3 SOBRETENSIÓN ATMOSFÉRICA COMO FUNCIÓN DE PROBABILIDAD.....	60
4.4 PROBABILIDAD DE FALLO PARA AISLADORES.....	69
4.5 DEPRECIACIÓN DE UN AISLADOR POLIMÉRICO.....	78
4.5.1 Deterioro del aislador.....	78
4.5.2 Mecanismos de degradación asociados con la exposición a la intemperie.....	78
4.5.3 Cálculo de la depreciación de un aislador polimérico usando el método de línea recta.....	79
 V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
5.1 CONCLUSIONES.....	82
5.2 RECOMENDACIONES.....	83
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
 ANEXOS.....	85
- Alineamiento vertical. Armado tipo A1.	
- Alineamiento con bajada subterránea. Armado tipo A2.	
- Anclaje simple de fin de línea. Armado tipo A3.	
- Anclaje de fin de línea con bajada subterránea. Armado tipo A4.	
- Anclaje doble. Armado tipo A5.	
- Anclaje doble con ménsula. Armado tipo A6.	
- Anclaje doble con seccionamiento. Armado tipo A7.	
- Anclaje con derivación. Armado tipo A8.	
- Anclaje con derivación y seccionamiento. Armado tipo A9.	
- Subestación aérea monoposte. Armado tipo SAM-1.	
- Subestación aérea monoposte en fin de línea. Armado tipo SAM-2.	
- Subestación aérea biposte en alineamiento. Armado tipo SAB-1.	
- Subestación aérea biposte con anclaje simple. Armado tipo SAB-2.	

- Sistema de puesta a tierra. Armado tipo PAT-1.
- Sistema de puesta a tierra tipo anillo. Armado tipo PAT-2.
- Retenida inclinada simple. Armado tipo RS.
- Diagrama unifilar Subestación Trapecio 138/13,8 kV.
- Diagrama unifilar Alimentador Libertad 13,2 kV.

RESUMEN

Los sistemas de aislamiento en redes de distribución en media tensión 13,2 kv comprenden principalmente dos elementos: el aire y los aisladores. Al ubicarse las redes al aire libre y cubrir kilómetros de distancia se hace necesario considerar diversos factores para un buena selección y posterior buen desempeño del aislamiento. Estos factores deben tomar en cuenta la contaminación ambiental y las sobretensiones que pudieran presentarse en el sistema.

En el presente trabajo se realiza un procedimiento de selección de aisladores para un alimentador en media tensión 13,2 kV en la ciudad de Chimbote basado en el método de longitud de línea de fuga, así como también se analiza la sobretensión cuyo comportamiento obedece a una distribución normal de probabilidad y finalmente se calcula la depreciación de un aislador polimérico usando el método de línea recta.

En cuanto al procedimiento se analiza y estudia la información bibliográfica así como las normas nacionales e internacionales para tal fin, luego se procede a los cálculos justificativos para el caso en mención, presentando los resultados en tablas elaboradas donde se muestran los parámetros o variables involucradas.

Finalmente estos resultados se analizan e interpretan obteniendo las conclusiones y recomendaciones.

ABSTRACT

Insulation in medium tension electrical distribution systems 13.2 kV mainly include two elements: Air and insulators. These systems generally are located in the outdoors and covering the distance of many kilometers. Therefore, it is very important to consider various factors for making an exact selection and later an excellent insulation effect. These factors are environmental pollution and overvoltages that may appear in systems.

In this thesis I performed an insulators selection procedure to electrical distribution system in 13.2 kV in the city of Chimbote based on the leakage line length method in the same way that the overvoltage is analyzed whose performance is similar to normal probability distribution and finally polymer insulator depreciation was calculated based on the straight line method.

Regarding the procedure the bibliography information is studied and analyzed in the same way that international and national standards. Afterwards justification calculations were done for this procedure showing findings in charts where the parameters and the variables were implicated.

Finally findings were analyzed and interpreted being registering the conclusions and recommendations.

INTRODUCCION

El funcionamiento de un alimentador en media tensión 13,2 kV depende fundamentalmente de su aislamiento. En buena práctica se requiere que la tensión de flameo o contorneo en seco de los aisladores sea de tres a cinco veces mayor que la tensión nominal de funcionamiento, y que la longitud de la línea de fuga sea aproximadamente el doble de la menor distancia entre puntos con tensiones en el aire.

Los aisladores no sólo deben tener resistencia mecánica suficiente para soportar con amplio margen las cargas externas sino que deben ser construidos de manera que puedan resistir condiciones severas como descargas atmosféricas y sobretensiones a la frecuencia industrial, por maniobra y el deterioro o pérdida de nivel de aislamiento por efecto de la contaminación ambiental entre otros factores.

En el caso de las sobretensiones de origen atmosférico aún siendo eventos aleatorios o anómalos y no característicos de la ciudad de Chimbote la presencia periódica del Fenómeno del Niño en los últimos años ha traído eventos de caída de rayos precedidos de lluvia, lo cual nos obliga a analizar desde la perspectiva de la coordinación de aislamiento y tomar alguna acción para prever algún daño o colapso en el sistema de alimentación de energía eléctrica así como también velar por la seguridad de las personas.

En general el aislamiento de una línea se logra por medio de los aisladores simples, o por medio de cadenas de aisladores cuyas dimensiones y formas dependen de la tensión límite que puedan soportar sin que se formen arcos en su superficie.

Por lo expuesto es de suma importancia conocer y valorar los parámetros que influyen en la selección y posterior operación de los aisladores para las diferentes áreas normadas según los códigos nacionales e internacionales.

FORMULACION DEL PROBLEMA

¿En qué medida los parámetros eléctricos y no eléctricos se relacionan entre sí e influyen en la coordinación de aislamiento para un alimentador en media tensión 13,2 kV en la ciudad de Chimbote?

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

Objetivo General:

- Determinar teórica y analíticamente la relación entre los parámetros eléctricos y otros de diferente naturaleza que intervienen en el procedimiento de coordinación de aislamiento y su repercusión en la operación para un alimentador en media tensión 13,2 kV en la ciudad de Chimbote.

Objetivos específicos:

- Realizar un procedimiento de selección de aisladores para un alimentador en media tensión 13,2 kV basado en el método de longitud de línea de fuga.
- Analizar la sobretensión cuyo comportamiento obedece a una distribución normal de probabilidad.
- Calcular la depreciación de un aislador para media tensión 13,2 kV usando el método de línea recta.

HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

Los parámetros eléctricos están influenciados por otros de naturaleza no eléctrica y esta relación o dependencia determina la coordinación de aislamiento para una óptima operación de un alimentador en media tensión 13,2 kV en la ciudad de Chimbote.

VARIABLES

Variable independiente:

- Parámetros eléctricos: Tensión nominal, frecuencia, nivel de aislamiento, longitud de línea de fuga, etc.
- Parámetros no eléctricos: Altura sobre el nivel del mar, presión atmosférica, densidad del aire, grado de contaminación, etc.

Variable dependiente:

- Tipos de aisladores: Suspensión, line post, pin.

CAPITULO I

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN REDES DE MEDIA TENSIÓN

1.1 OBJETIVO DE LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO¹:

La coordinación del aislamiento tiene por objeto determinar las características de aislamiento necesarias y suficientes de los diversos componentes de las redes (*también llamadas líneas o alimentadores*) con vistas a obtener una rigidez homogénea a las tensiones normales, así como a las sobretensiones de origen diverso. Su finalidad principal es la de permitir una distribución segura y optimizada de la energía eléctrica.

1.2 DEFINICIONES BÁSICAS:

1.2.1 Alimentador: Conductor o conductores cuya finalidad es suministrar energía eléctrica a un grupo de cargas a un determinado nivel de tensión.

1.2.2 Longitud de línea de fuga: Es la distancia medida a lo largo de la superficie del aislador entre las partes conductoras, previstas para las pruebas de tensión disruptivas. Esta se mide en mm/kV fase-tierra.

1.2.3 Nivel de aislamiento: Conjunto de valores de tensión que caracterizan el aislamiento de un material o equipo, relativos a su aptitud para soportar los esfuerzos dieléctricos sin deterioro, falla ni perforación.

1.2.4 Sobretensión: Es cualquier tensión función del tiempo, entre una fase y tierra o entre fases, que tiene un valor o valores pico que exceden al valor pico ($U_m\sqrt{2}/\sqrt{3}$ o $U_m\sqrt{2}$ respectivamente) correspondiente a la tensión máxima del equipo.

1.2.5 Tensión nominal: Es la tensión eficaz (r.m.s.) entre fases, a la frecuencia industrial (50 ó 60 Hz) de un sistema eléctrico. El sistema eléctrico es usualmente designado por una tensión nominal a la cual están asociadas ciertas características de operación.

1.2.6 Tensión máxima del sistema: Es el valor más alto de la tensión eficaz entre fases, que ocurre bajo condiciones normales en cualquier momento y en cualquier punto del sistema.

¹ Fuente: (Fulchiron, Cuaderno Técnico n° 151: Sobretensiones y coordinación de aislamiento, 1994, p.13)

1.2.7 Tensión disruptiva a la frecuencia industrial: Se denomina también tensión de contorno o flameo y es el valor eficaz de la tensión, expresado en kilovoltios, en el que se produce la descarga disruptiva o descarga por contorneamiento en el aislador. La descarga disruptiva se produce a través del aire bajo aspecto de chispas o arcos que establecen conexión eléctrica entre las piezas metálicas del aislador sometidas normalmente a la tensión de servicio y puede ser en seco o lluvia. En la descarga disruptiva se produce la falla o colapso del aislamiento al ser sometido a un esfuerzo eléctrico, el aislamiento es completamente anulado, reduciendo la tensión de los electrodos a prácticamente cero. En medios gaseosos o líquidos la descarga disruptiva se denomina cebado o “sparkover” y en aislamientos sólidos “flashover”.

1.2.8 Tensión de perforación: Es el valor eficaz de la tensión, expresado en kilovoltios, en el que tiene lugar la perforación del aislador, es decir la destrucción localizada del material, producida por una descarga que atraviesa el cuerpo del aislador, de acuerdo con esto, el desprendimiento de un fragmento del borde de un aislador por efecto del calor de un arco de contorneamiento, no debe considerarse como perforación.

El excesivo calentamiento local y el calentamiento diferencial ocasionado por la excesiva corriente de fuga, disminuye rápidamente la resistencia dieléctrica del material, lo cual se traduce mayor disipación de energía hasta producir la ruptura de perforación del aislador.

1.3 TIPOS DE AISLAMIENTO²:

1.3.1 Aislamiento externo: Es la distancia en aire atmosférico, y las superficies en contacto con aire atmosférico del aislamiento sólido (*aisladores propiamente dicho*) de equipos que estén sujetos a sollicitaciones dieléctricas y a los efectos de las condiciones atmosféricas y otros agentes externos, tales como la humedad, contaminación, intemperismo, etc.

² Fuente: (Rodríguez Hinostraza, 2010) disponible en:
<https://es.scribd.com/doc/34296119/CURSO-ELECTRIFICACION-RURAL-24-27-MAYO>

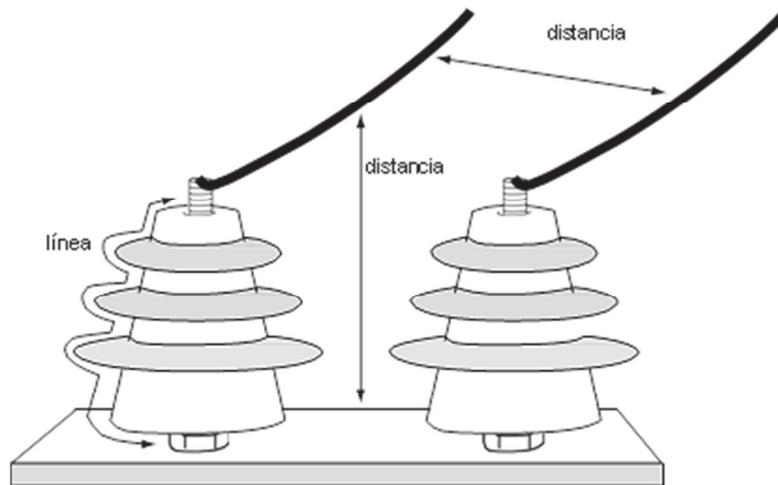


Figura 1. Distancia en el aire y línea de fuga

Fuente: Fulchiron, D. (1994). *Cuaderno Técnico nº 151: Sobretensiones y coordinación de aislamiento* (p.13). Barcelona: Schneider Electric.

1.3.2 Aislamiento interno: Son partes sólidas (*Ej. el papel aislante que cubre los bobinados de los aisladores*), líquidas (*Ej. el aceite dieléctrico de los transformadores*) o gaseosas (*Ej. el hexafluoruro de azufre SF_6 de los interruptores de potencia*) del aislamiento de los equipos que están protegidos de la atmósfera y de otros agentes externos.

1.3.3 Aislamiento autorecuperante: Aislamiento que recupera completamente sus características aislantes después de la ocurrencia de una descarga disruptiva. Los aislamientos autorecuperables pueden ser:

- a) Cubiertas de porcelana de los pasatapas (*bushings*).
- b) Superficies externas de los aisladores.
- c) Aislamientos en aire correspondientes a los espaciamientos entre conductores y tierra.

1.3.4 Aislamiento no autorecuperante: Aislamiento que pierde sus propiedades aislantes o no las recupera completamente después de una descarga disruptiva. Los aislantes no autorecuperables pueden ser:

- a) Parte interna de los pasatapas.
- b) Enrollamientos de transformadores, reactores, transformadores de medida.
- c) Partes sólidas de los aislamientos.

1.4 ESFUERZOS ELÉCTRICOS:

Los esfuerzos a los que están sometidos los aislamientos de los equipos y espacios de aire son la tensión permanente a la frecuencia industrial y las sobretensiones.

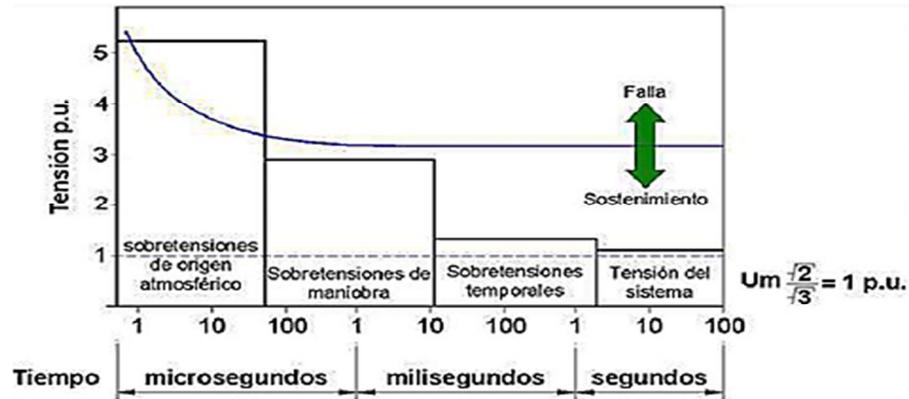


Figura 2. Esfuerzos eléctricos y curva tensión-tiempo de aislamiento

Fuente: Rodríguez, J. (2010). *Curso de actualización profesional: Aspectos técnicos relevantes en el desarrollo de proyectos de electrificación rural (Cap. 2)*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.

1.4.1 Tensión permanente a la frecuencia industrial:

Desde el punto de vista del aislamiento, es importante comprender la diferencia fundamental entre los esfuerzos eléctricos originados por la tensión nominal y los originados por las sobretensiones. Las sobretensiones son de naturaleza transitoria o sea breves, pero la tensión nominal o máxima de servicio, aún siendo reducida en magnitud, actúa permanentemente produciendo esfuerzos en el dieléctrico del aislamiento mientras el sistema está en operación.

Los esfuerzos continuos debidos a la tensión nominal o máxima del sistema son importantes puesto que contribuyen al envejecimiento del aislamiento. Con el paso del tiempo, podrían producirse fallas en el aislamiento sea por flameo o perforación.

Las cualidades dieléctricas o soportabilidad del aislamiento pueden cambiar de manera importante debido a los efectos combinados de la contaminación y la humedad del medioambiente llegando a producirse flameos. Debe quedar claramente establecido que los fenómenos de contaminación afectan la operación del sistema cuando éste opera a su tensión nominal.

1.4.2 Sobretensiones³:

Las sobretensiones son tensiones transitorias entre una fase y tierra, o entre fases, cuyo valor de cresta o pico excede el valor de cresta de la máxima tensión de equipo:

$U_m \sqrt{2}/\sqrt{3}$ para sobretensiones fase \pm tierra o $U_m \sqrt{2}$ para sobretensiones entre fases.

De acuerdo con su duración, forma de onda y frecuencia se clasifican en:

a) Sobretensiones temporales TOV (*temporary overvoltage*): Son sobretensiones a la frecuencia industrial de relativa larga duración; pueden ser débilmente amortiguadas o no amortiguadas. En algunos casos, su frecuencia puede ser varias veces menor o mayor que la frecuencia nominal del sistema. Las sobretensiones temporales se originan por las siguientes causas:

- Fallas de fase a tierra.
- Pérdida súbita o rechazo de carga.
- Resonancia y ferresonancia.
- Sobretensiones longitudinales durante la sincronización.
- Efecto Ferranti.
- Efecto combinado de sobretensiones temporales de distinto origen.

b) Sobretensiones temporales por falla de fase a tierra: Las sobretensiones temporales por fallas a tierra de una fase son las más comunes y se caracterizan por ser no amortiguadas y producir sobretensiones en las fases no falladas y cuya duración se puede prolongar hasta que la situación se corrija; es decir hasta que la falla se elimine. Para este tipo de fallas, la forma de onda no varía respecto a la forma estándar a la frecuencia industrial.

La magnitud de las sobretensiones depende del tipo de puesta a tierra del sistema en el lugar de la falla.

En sistemas con neutro efectivamente puesto a tierra, el factor de puesta a tierra es igual o menor a 1,4 y se cumple que: $0 \leq X_0/X_1 \leq 3$ y $R_0/X_1 \leq 1$.

En sistemas con neutro efectivamente puesto a tierra la falla fase a tierra por lo general dura menos de 0,2 segundos por actuación de la protección principal o 1 segundo por acción de la protección de respaldo.

Para sistemas con neutro aislado o puesto a tierra mediante una impedancia las sobretensiones en las fases sanas pueden exceder la tensión entre fases del sistema. Esto se

³ Fuente: (Rodríguez Hinojosa, 2010) disponible en:
<https://es.scribd.com/doc/34296119/CURSO-ELECTRIFICACION-RURAL-24-27-MAYO>

debe al hecho de que este tipo de sistemas están acoplados a tierra a través de las capacitancias parásitas, entonces la tensión en las fases sanas será: $TOV \geq 1,73 U_m$.

En este caso, la duración de la falla puede ser desde algunos segundos hasta horas, dependiendo de la magnitud de la corriente de falla y de los dispositivos de protección.

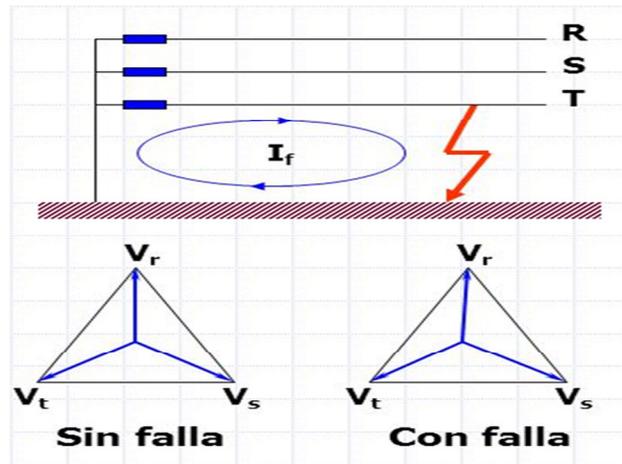


Figura 3. Sistema con neutro a tierra
Fuente: <http://slideplayer.es/slide/3741896/>

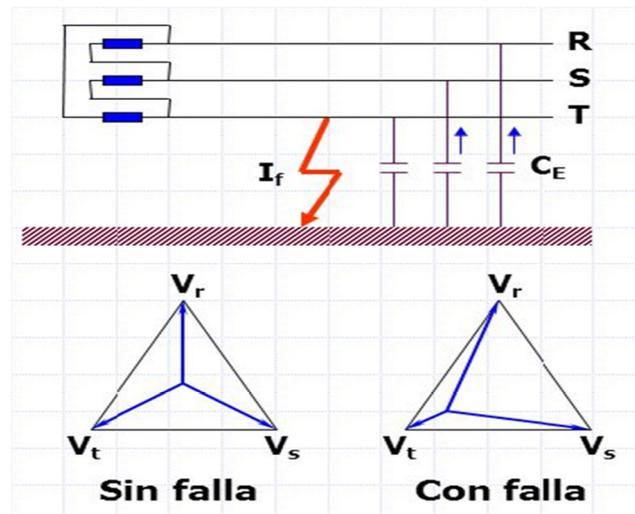


Figura 4. Sistema con neutro aislado
Fuente: <http://slideplayer.es/slide/3741896/>

c) Sobretensiones transitorias de frente lento o de maniobra: Las sobretensiones de frente lento pueden ser entre fase y tierra o entre fases, en un determinado punto del sistema, y se producen como consecuencia de la operación de un equipo de maniobra como por ejemplo un interruptor, alguna falla o cualquier otra causa.

El frente de onda tiene una duración de entre algunas decenas y algunos miles de microsegundos, y tiempos de cola del mismo orden de magnitud. Estas sobretensiones son de naturaleza oscilatoria y fuertemente amortiguadas.

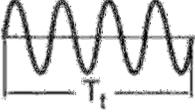
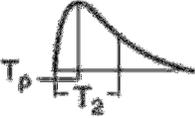
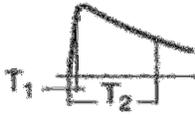
Las sobretensiones de frente lento se originan principalmente por:

- Energización y recierre de líneas.
- Rechazo de cargas.
- Conexión y desconexión de cargas capacitivas e inductivas.
- Descargas atmosféricas que inciden en los conductores de fase en lugares alejados al punto considerado.

Para los fines de coordinación de aislamiento, la forma de onda de tensión representativa es el impulso de maniobra normalizado utilizado en los ensayos, con tiempo de frente de 250 ms y tiempo de cola de 2500 ms.

d) Sobretensiones transitorias de frente rápido o de rayo: Las sobretensiones de frente rápido se caracterizan como sobretensiones entre fase y tierra o entre fases, en un determinado punto del sistema, debido a una descarga eléctrica atmosférica o a otra causa, cuya forma de onda presenta tiempos de frente entre 0,1 y 20 μ s, y tiempos de cola de hasta 300 μ s. Estas sobretensiones son fuertemente amortiguadas.

Tabla 1
Forma de sobretensiones representativas y ensayos normalizados

Clase de sobretensión	Baja frecuencia		Transitoria	
	permanente	temporal	de frente lento	de frente rápido
Forma de onda				
Frecuencia y tiempo	$f = 50 \text{ ó } 60 \text{ Hz}$ $T_1 \geq 3600 \text{ s}$	$10 < f < 500 \text{ Hz}$ $3600 \geq T_1 \geq 0,03 \text{ s}$	$5000 > T_p > 20 \text{ us}$ $20 \text{ ms} \geq T_2$	$20 > T_1 > 0,1 \text{ us}$ $300 \text{ us} \geq T_2$
Forma normalizada	$f = 50 \text{ ó } 60 \text{ Hz}$ $T_1 (*)$	$48 \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_1 = 60 \text{ s}$	$T_p = 250 \text{ us}$ $T_2 = 2500 \text{ us}$	$T_1 = 1,2 \text{ us}$ $T_2 = 50 \text{ us}$
Ensayo de tensión normalizada	(*)	Ensayo a frecuencia industrial de corta duración	Ensayo de choque de maniobra	Ensayo de choque de rayo

(*) a especificar por el Comité del producto considerado

Fuente: Norma IEC 71 Adaptado de Fulchiron, D. (1994). *Cuaderno Técnico nº 151: Sobretensiones y coordinación de aislamiento* (p.20). Barcelona: Schneider Electric.

1.5 PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO EN UN ALIMENTADOR EN MEDIA TENSION⁴:

En el diseño de un alimentador en media tensión es necesario elegir un régimen o esquema de conexión a tierra del neutro que puede estar aislado o conectado a tierra.

El régimen con el neutro aislado en media tensión tiene la ventaja de permitir una continuidad del servicio, no desconectando a la primera falla; sin embargo requiere que la capacitancia de la red no determine una corriente de falla a tierra excesiva que podría ser peligrosa para las personas y equipos.

El régimen del neutro aislado implica:

- Riesgo de aparición de elevadas sobretensiones que pueden provocar la aparición de otros defectos.
- El empleo de materiales de aislamiento reforzado.
- Un control de aislamiento obligatorio.
- Una protección contra las sobretensiones hasta el punto de llegar a ser obligatoria.
- La realización de una protección selectiva compleja contra los defectos a tierra que generalmente no podrá realizarse con simples relés amperimétricos.

El régimen con el neutro puesto a tierra exige generalmente la desconexión obligatoria al primer defecto, sin embargo tiene las siguientes ventajas:

- Amortigua las sobretensiones.
- Permite instalar protecciones simples.
- Permite el empleo de materiales con un nivel de aislamiento menor que con el neutro aislado.

Las redes de “3 hilos” utilizan cuatro tipos de puesta a tierra:

- Neutro directo a tierra.
- Neutro poco impedante R/L
- Neutro compensado o “de Petersen”.
- Neutro aislado.

⁴ Fuente: (Fulchiron, 2002, p.10)

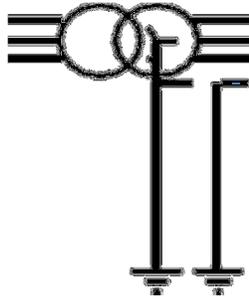


Figura 5. Neutro distribuido y puesto a tierra en multitud de puntos

Fuente: Fulchiron, D. (2002). *Cuaderno Técnico nº 203: Elección de parámetros fundamentales en las redes de MT de distribución pública* (p.10). Barcelona: Schneider Electric.

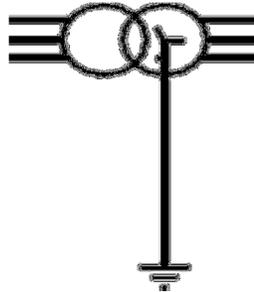


Figura 6. Neutro puesto a tierra directamente y no distribuido

Fuente: Fulchiron, D. (2002). *Cuaderno Técnico nº 203: Elección de parámetros fundamentales en las redes de MT de distribución pública* (p.10). Barcelona: Schneider Electric.

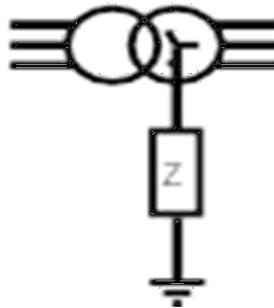


Figura 7. Neutro puesto a tierra mediante una impedancia

Fuente: Fulchiron, D. (2002). *Cuaderno Técnico nº 203: Elección de parámetros fundamentales en las redes de MT de distribución pública* (p.10). Barcelona: Schneider Electric.

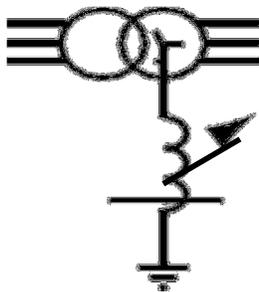


Figura 8. Neutro puesto a tierra mediante un circuito compensado

Fuente: Fulchiron, D. (2002). *Cuaderno Técnico nº 203: Elección de parámetros fundamentales en las redes de MT de distribución pública* (p.10). Barcelona: Schneider Electric.



Figura 9. Neutro aislado de tierra

Fuente: Fulchiron, D. (2002). *Cuaderno Técnico nº 203: Elección de parámetros fundamentales en las redes de MT de distribución pública* (p.10). Barcelona: Schneider Electric.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS DE AISLADORES

2.1 CONCEPTO DE AISLADOR:

Los aisladores son elementos cuya finalidad consiste en aislar eléctricamente el conductor de la línea del apoyo que lo soporta, al emplearse conductores se precisa de aisladores que posean buenas propiedades dieléctricas ya que la misión fundamental de estos es evitar el paso de la corriente del conductor hacia tierra. La unión de los conductores con los aisladores y de estos con los apoyos se efectúa mediante piezas metálicas denominadas herrajes (*también se usa el término ferretería*).

2.2 PASO DE CORRIENTE:

El paso de la corriente del conductor al apoyo puede producirse por las causas siguientes:

2.2.1 Por conductividad del material: Es decir a través de la masa del aislador, para evitar esto se emplean materiales cuya corriente de fuga sea despreciable como el vidrio, porcelana o polímeros.

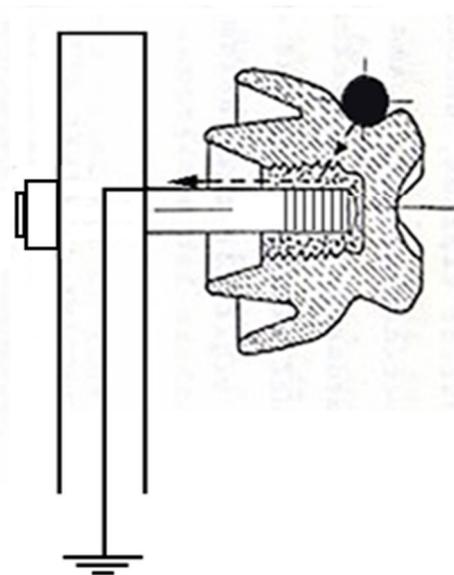


Figura 10. Paso de corriente en un aislador por conductividad del material o masa

Fuente: Adaptado de Franco, S. (2002). *Contaminación por salinidad en líneas de transmisión cercanas a la costa* (p.75). Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3262>

2.2.2 Por conductividad superficial: Se produce cuando una corriente de fuga contornea la parte exterior del aislador por aumento de la conductividad, esto es ocasionado principalmente por haberse depositado en la superficie del aislador una capa de polvo o humedad.

Esta conductividad también recibe el nombre de efecto corona y es una manifestación luminosa producida por la ionización del aire en el contorno del aislador, esto suele reducirse dando un perfil adecuado a la superficie del aislador.

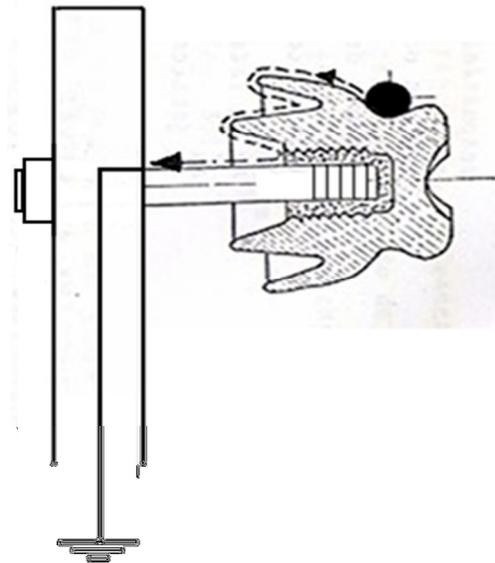


Figura 11. Paso de corriente en un aislador por conductividad superficial

Fuente: Adaptado de Franco, S. (2002). *Contaminación por salinidad en líneas de transmisión cercanas a la costa* (p.76). Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3262>

2.2.3 Por perforación de la masa del aislador: Al ser muy difícil mantener la uniformidad dieléctrica de un material en toda su masa, existe el peligro de que se perfora el aislador, sobre todo si el espesor es grande. Por ello, los aisladores suelen fabricarse en varias piezas de pequeño espesor unidas por una pasta especial.

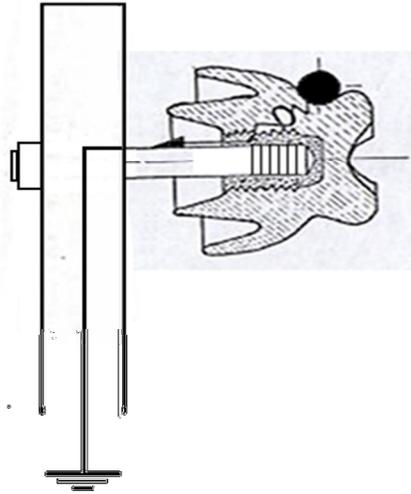


Figura 12. Paso de corriente en un aislador por perforación de la masa

Fuente: Adaptado de Franco, S. (2002). *Contaminación por salinidad en líneas de transmisión cercanas a la costa* (p.77). Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3262>

2.2.4 Por descarga disruptiva a través del aire: Puede producirse un arco entre el conductor y el soporte a través del aire, cuya rigidez dieléctrica a veces no es suficiente para evitar la descarga. Esto suele ocurrir con la lluvia o humedad debido a la ionización del aire, y se puede evitar con un diseño adecuado para aisladores de intemperie, tratando de aumentar la distancia entre aislador y soporte de forma que la tensión necesaria para la formación del arco en el aire sea mayor.

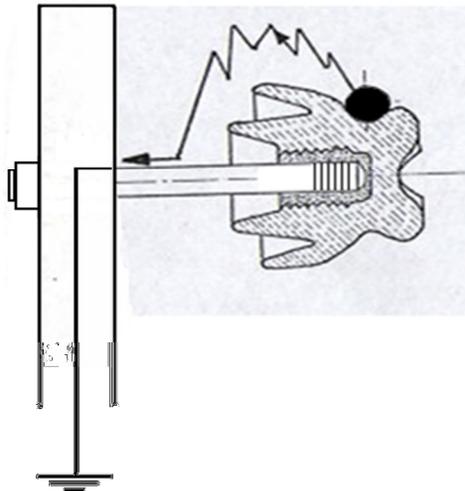


Figura 13. Paso de corriente en un aislador por descarga disruptiva a través del aire

Fuente: Adaptado de Franco, S. (2002). *Contaminación por salinidad en líneas de transmisión cercanas a la costa* (p.78). Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3262>

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, las cualidades específicas que deben cumplir los aisladores son:

- a) Rigidez dieléctrica suficiente para que la tensión de perforación (*a la cual se ceba el arco a través de la masa del aislador*) sea lo más elevada posible. Esta rigidez depende de la calidad del material empleado y del espesor del aislador.
- b) Disposición adecuada, porque la tensión de contorneamiento presenta valores elevados y por consiguiente se debe evitar que se produzcan descargas de contorno entre los conductores y el apoyo a través de los aisladores. La tensión de contorneamiento es la tensión a la que se ceba un arco a través del aire siguiendo la mínima distancia entre fase y tierra, es decir, el contorno del aislador. Esta distancia se llama longitud o línea de fuga (*ver figura 14*).
- c) Resistencia mecánica adecuada para soportar los esfuerzos demandados por el conductor.
- d) Resistencia a las variaciones de temperatura.

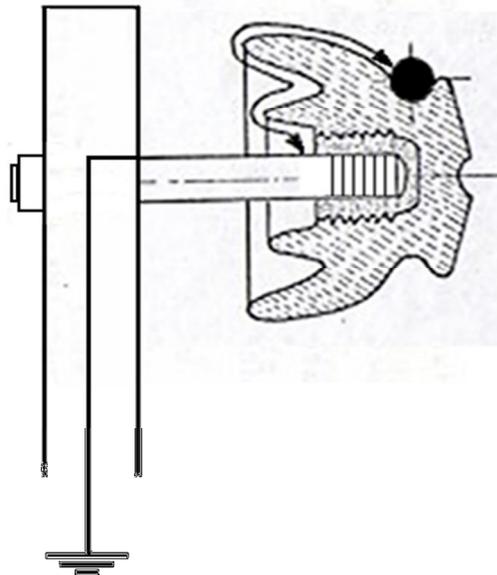


Figura 14. Línea de fuga de un aislador

Fuente: Adaptado de Franco, S. (2002). *Contaminación por salinidad en líneas de transmisión cercanas a la costa* (p.84). Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3262>

2.3 PROPIEDADES CONSERVADORAS DE LOS AISLADORES:

- El aislador debe ser impermeable, para evitar que penetre agua en su cuerpo, esta propiedad se llama hidrofobicidad (*típico en los aisladores poliméricos*).
- El aislador no debe ser poroso, para evitar que penetre en su cuerpo sustancias no aislantes.
- Debe ser muy liso, para presentar gran dificultad a la formación de depósitos sobre su superficie y además, en caso de lluvia, el agua no escurra por su cuerpo de manera continua y así pueda bajo estas condiciones mantener la línea aislada.
- El aislador debe tener una forma especial o geometría que tiene que ver fundamentalmente con la conservación de la resistencia eléctrica, bajo condiciones de lluvia y otras que se puedan presentar durante la operación así como también garantizar una buena resistencia mecánica.

La geometría del perfil de los aisladores tiene mucha importancia en su buen comportamiento en condiciones normales, bajo lluvia, y en condiciones de contaminación salina que se presentan en las aplicaciones reales cerca del mar o desiertos, o contaminación de polvos o humos cerca de zonas industriales.

La contaminación puede ser lavada por la lluvia, pero en ciertos lugares no llueve suficiente para que se produzca este efecto beneficioso, o la contaminación es muy elevada como es el caso de la ciudad de Chimbote. No hay duda de que la terminación superficial del aislante es muy importante para que la adherencia del contaminante sea menor, y reducir los efectos negativos. La resistencia a la contaminación exige aumentar la línea de fuga superficial del aislador y elegir valores que están normados para las diferentes zonas según la clasificación de la contaminación del ambiente.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE AISLAMIENTO DE LOS AISLADORES:

Para poder seleccionar los aisladores para una aplicación determinada, es necesario conocer su comportamiento al aplicarle las sobretensiones que pueden presentarse en un sistema o alimentador eléctrico en media tensión, establecidas como sobretensión a la frecuencia industrial, por maniobra y por descarga atmosférica. A cada sobretensión obedece o corresponde un determinado nivel de aislamiento, para el presente trabajo se han considerado los siguientes:

2.4.1 Nivel de aislamiento a baja frecuencia o frecuencia industrial (60 Hz):

Los aisladores están sometidos normalmente a una diferencia de potencial de baja frecuencia, resultante del voltaje de operación del sistema en que están instalados, podrán también estar sometidos a sobrevoltajes de baja frecuencia en casos de fallas monofásicas o bifásicas a tierra, cuya magnitud depende de las características del sistema.

Además, si los aisladores están colocados a la intemperie, que es el caso más frecuente, habrá que considerar su comportamiento en condiciones de atmósfera seca y húmeda.

El parámetro dominante en el comportamiento de los aisladores sometidos a tensiones de frecuencia industrial es la “línea de fuga superficial”, que determina la resistencia que ofrece el aislador al paso de la corriente por su superficie.

2.4.2 Nivel de aislamiento al impulso tipo rayo:

El comportamiento de un aislador sometido a impulsos de tensión similares a los producidos por rayos depende principalmente de su longitud y en grado menor de su geometría, el valor al que se flamea un aislador sometido a impulsos de tensión depende tanto de la magnitud de los impulsos como del tiempo que estén aplicados.

Si se somete un aislador a una serie de impulsos de tensión de forma de onda normalizada ($1,2 \times 50 \mu s$) y de diversos valores de cresta y se traza la gráfica determinada por el valor de cresta de cada onda y el tiempo que tarda en producirse el flameo del aislador se obtiene la curva llamada curva tensión - tiempo del aislador.

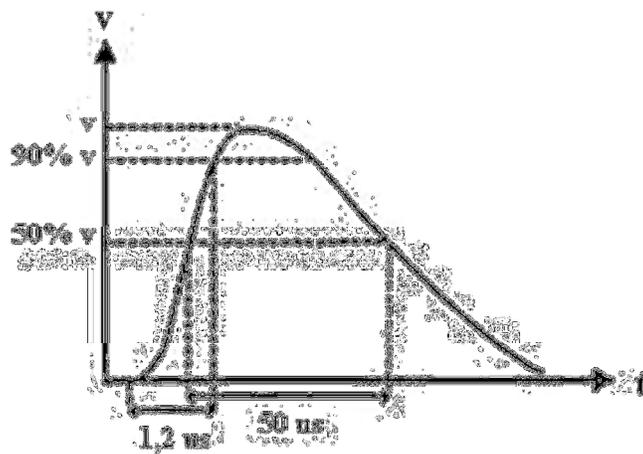


Figura 15. Curva tensión - tiempo del aislador al impulso tipo rayo

Fuente: <http://lasmejoresnotaspublicadas.blogspot.pe/2014/01/pararrayos-cts-y-cec-como-funcionan.html>

La tensión de flameo al impulso crítico de un aislador se define como el valor de cresta de la onda que causa flameo del aislador en la cola de la onda el 50% de la veces que se aplica una onda normalizada de dicha magnitud.

El nivel de aislamiento al impulso BIL (*Basic Insulation Level o Nivel Básico de Aislamiento*) expresado en kV es el valor de cresta de la onda de mayor magnitud que soporta el aislador sin flamearse.

2.4.3 Niveles de aislamiento normalizados:

En la siguiente tabla se muestran los niveles de aislamiento que se aplicarán a los alimentadores o redes primarias en condición estándar según norma DGE-MEM.

Tabla 2
Niveles de aislamiento(*) normalizados para redes primarias en el Perú

Tensión Nominal entre fases (kV)	Tensión Máxima entre fases (kV)	Tensión de sostenimiento a la onda 1,2/50 entre fases y fase a tierra (kVp)	Tensión de sostenimiento a la frecuencia industrial entre fases y fase-tierra (kV)
22,9/13,2	25/14,5	125	50
22,9	25	125	50

(*) También llamado tensión de sostenimiento o tensión soportada

Fuente: MEM - Norma DGE (2003). *Bases para el Diseño de Líneas y Redes Eléctricas para Electrificación Rural* (p.24). Lima, Perú. Disponible en:

<http://www.adinelsa.com.pe/files/normaslegales/rd018-2003-EM.pdf>

2.5 MATERIALES DE LOS AISLADORES SEGÚN REQUERIMIENTOS:

2.5.1 Requerimientos de calidad⁵:

El proveedor deberá demostrar que tiene implementado y funcionando en su fábrica un sistema de garantía de calidad con programas y procedimientos documentados en manuales, cumpliendo las siguientes normas:

- ISO 9001: Sistemas de calidad, modelo de garantía de calidad en diseño, producción, instalación y servicio.
- ISO 14001: Sistemas de gestión ambiental, modelo de mejoramiento continuo y prevención de la contaminación, cumplimiento de la reglamentación ambiental.

El cliente se reserva el derecho de verificar los procedimientos y la documentación relativa a la fabricación de los aisladores, y el fabricante se obliga a poner a su disposición estos antecedentes.

2.5.2 Aisladores de porcelana o vidrio:

Los aisladores de porcelana deben fabricarse por proceso húmedo. Toda la superficie expuesta de los aisladores de porcelana debe cubrirse con un vitrificado de tipo compresión duro, liso, brillante e impermeable a la humedad, que le permita por medio del lavado natural del agua de lluvia mantenerse fácilmente libre de polvo o suciedades residuales ocasionadas por la contaminación ambiental. La superficie total del aislador, con excepción de la superficie de quema, deberá estar esmaltada. La superficie total deberá estar libre de imperfecciones. La porcelana utilizada no tiene que presentar porosidades, debiendo ser de alta resistencia dieléctrica, elevada resistencia mecánica, químicamente inerte y elevado punto de fusión.

En caso que los aisladores sean de vidrio, estos deberán ser templados y de preferencia del tipo sodio-calcio, recocido o temperado, homogéneo e incoloro.

2.5.3 Aisladores poliméricos:

Todos los aisladores poliméricos serán livianos, resistentes a los actos de vandalismo e inmunes a daños causados por agua o radiación solar. Los aisladores deben presentar aletas de diseño aerodinámico que faciliten su autolimpieza por el viento y lluvia.

Se preferirán aquellos aisladores que sean de goma de silicona de alta performance, del tipo hidrofóbico o sea que repelen o concentren el agua en su superficie y no lo dejen ingresar al cuerpo.

⁵ Fuente: (Endesa S.A, 2008)

Disponible en: https://www.ampla.com/media/339146/e-mt-011_2008%20r-02.pdf

La experiencia en servicio ha mostrado que la hidrofobicidad es decisiva para un funcionamiento fiable en condiciones de contaminación con medidas mínimas de mantenimiento preventivo tales como limpieza o lavado.

2.5.4 Relación de la tensión disruptiva con la tensión de perforación eléctrica⁶:

Los aisladores deberán ser diseñados de tal manera que la relación de su tensión disruptiva en seco a baja frecuencia, con la tensión de perforación dieléctrica a baja frecuencia, esté de acuerdo con las Normas ANSI C22.9 o normas internacionales aplicables. Cuando no exista una norma, esta relación no deberá exceder de 75%.

EXCEPCIÓN: Los aisladores diseñados específicamente para ser utilizados en áreas de alta contaminación atmosférica, pueden tener una tensión disruptiva en seco de baja frecuencia, nominal no mayor de 80% de su tensión de perforación dieléctrica de baja frecuencia.

⁶ MEM - DGE (2001). *Código Nacional de Electricidad: Suministro* (p.227). Lima, Perú.
Disponible en: <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/compendio/rm366-201.pdf>



Figura 16. Efecto hidrofóbico de la superficie del aislador polimérico sin contaminación

Fuente: Pfisterer. (2014). *Nota técnica: Aisladores de silicona, un análisis de sus componentes*. Revista de Ingeniería Eléctrica (p.97).

Disponible en: http://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie292_pfisterer_aisladores_de_silicona.pdf



Figura 17. Efecto hidrofóbico de la superficie del aislador polimérico contaminado

Fuente: Pfisterer. (2014). *Nota técnica: Aisladores de silicona, un análisis de sus componentes*. Revista de Ingeniería Eléctrica (p.98).

Disponible en: http://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie292_pfisterer_aisladores_de_silicona.pdf

2.6 TIPOS DE AISLADORES:

La clasificación esta basada en la forma y en la función que cumplen cada uno de ellos en la estructura del alimentador en media tensión, para esto es importante tener en cuenta los diseños de armados según las normas del Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad y el Código Nacional de Electricidad (*ver anexos donde se muestran algunos armados de estructuras para un alimentador en media tensión 13,2 kV*).

2.6.1 Aisladores de suspensión o retención: También llamados tipo campana, generalmente el ensamble de varios de ellos forman una cadena para los de vidrio o porcelana, los poliméricos constituyen una sola unidad. Los de vidrio o porcelana tienen insertos metálicos que los articulan con un grado de libertad u horquilla o dos para el tipo caperuza y pin. Las normas fijan con detalle la geometría, tamaños, resistencia electromecánica y ensayos.



Figura 18. Aisladores de suspensión de porcelana

Fuente: <http://www.emprel.com.ar/lineas-aereas-electricas/lineas-electricas-aisladores.html>

Tabla 3
Características aisladores de porcelana de suspensión clase 52-1

Características Generales	
Norma de ensayos	ANSI C29.2
Clase (ANSI C29.2)	52-1
Tipo	Retención
Material	Porcelana
Tipo de acoplamiento	Clevis
Anodo de zinc	Opcional
Características Eléctricas	
Tensión de contorno(*) frec. ind. en seco (kV)	60
Tensión de contorno frec. ind. bajo lluvia (kV)	30
Tensión crítica tipo impulso-positiva (kV)	100
Tensión crítica tipo impulso negativa (kV)	100
Tensión de perforación en aceite (kV)	80
Low frequency test voltaje (rms to ground) (kV)	7,5
Características Mecánicas	
Resistencia electromecánica (kN)	44
Resistencia mecánica al impacto (N-m)	5
Resistencia mecánica a la tensión (kN)	22
Características Dimensionales	
Distancia de fuga (mm)	178

(*) Llamada también tensión de flameo o tensión disruptiva

Fuente: Especificación Técnica: Aisladores de porcelana, vidrio y poliméricos para media tensión, Grupo Endesa S.A – 2008, disponible en:
https://www.ampla.com/media/339146/e-mt-011_2008%20r-02.pdf

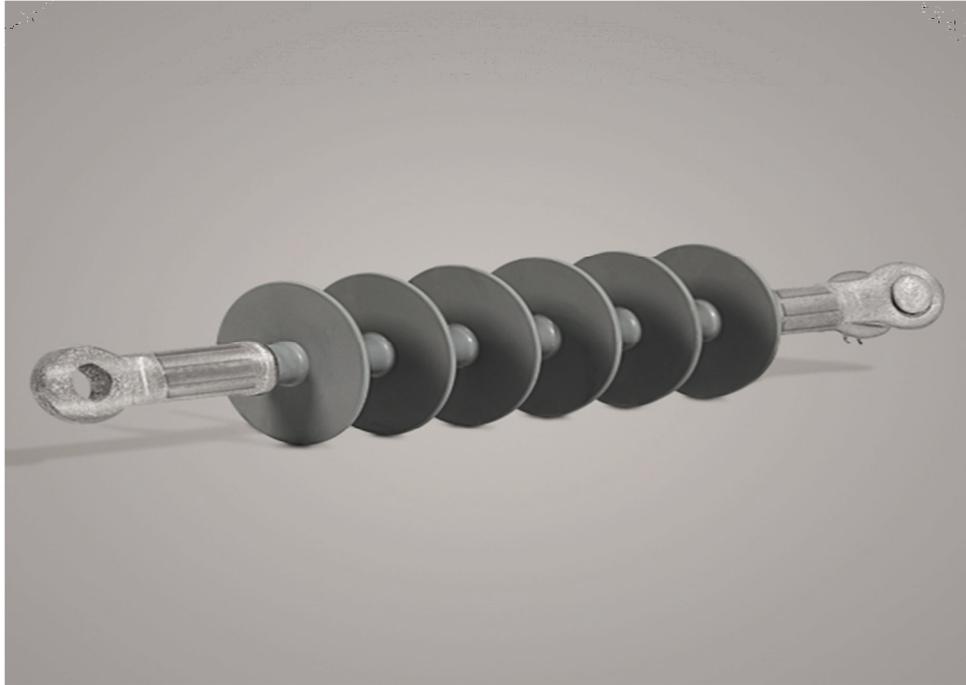


Figura 19. Aislador polimérico de suspensión o anclaje

Fuente: <http://www.tecsur.com.pe/productos/aisladores-porcelana-polimericos>

Tabla 4
Características aisladores de suspensión poliméricos

Características Generales			
Norma de ensayos	ANSI C29.13	ANSI C29.13	ANSI C29.13
Clase (ANSI C29.13)	DS-15	DS-28	DS-35
Tipo	Retención	Retención	Retención
Material	Polimérico	Polimérico	Polimérico
Características Eléctricas			
Tensión máxima de operación (kV)	15	25	36
Tensión de contorno freq. ind. en seco (kV)	90	130	145
Tensión de contorno freq. ind. bajo lluvia (kV)	65	100	130
Tensión crítica tipo impulso-positiva (kV)	140	190	250
Low frequency test voltaje (rms to ground (kV)	15	20	30
Maximun riv at 1000 KHz (μ V)	10	10	10
Características Mecánicas			
Carga mecánica nominal (sml) (kN)	44,5	44,5	44,5
Torsión (N-m)	47,5	47,5	47,5
Características Dimensionales			
Distancia de fuga (mm)	355	560	740
Largo L (mm)	330 \pm 15	430 \pm 25	525 \pm 60

Fuente: Especificación Técnica: Aisladores de porcelana, vidrio y poliméricos para media tensión, Grupo Endesa S.A – 2008, disponible en:
https://www.ampla.com/media/339146/e-mt-011_2008%20r-02.pdf

2.6.2 Aisladores tipo line post: Generalmente son de porcelana pero también existen los de polímeros. La porcelana trabaja a tracción pero existen pocos fabricantes que ofrecen esta solución, especialmente si se requieren elevadas prestaciones, ya que no es una solución natural para este material, en cambio es la solución natural de los aisladores de suspensión. Las normas fijan con detalle la geometría, tamaños, resistencia electromecánica y ensayos.



Figura 20. Aisladores tipo line post de porcelana

Fuente: <http://www.emincco.com.co/prueba/porcelana5.html>

Tabla 5
Características aisladores de porcelana tipo line post

Características Generales			
Norma de ensayos	ANSI C29.7	ANSI C29.7	ANSI C29.7
Clase (ANSI C29.7)	57-1	57-2	57-3
Tipo	Line Post	Line Post	Line Post
Material	Porcelana	Porcelana	Porcelana
Características Eléctricas			
Tensión máxima de operación (kV)	15	25	36
Tensión de contorno freq. ind. en seco (kV)	70	100	125
Tensión de contorno freq. ind. bajo lluvia (kV)	50	70	95
Tensión crítica tipo impulso-positiva (kV)	120	160	200
Low frequency test voltaje (rms to ground) (kV)	15	22	30
Maximun riv at 1000 KHz (μ V)	100	100	200
Características Mecánicas			
Resistencia a la flexión (kN)	12,5	12,5	12,5
Características Dimensionales			
Distancia de fuga (mm)	355	560	740
Distancia de arco (mm)	165	241	311
Altura / Largo (mm)	228,6	304,8	381
Diámetro nominal	140	152,4	165

Fuente: Especificación Técnica: Aisladores de porcelana, vidrio y poliméricos para media tensión, Grupo Endesa S.A – 2008, disponible en:
https://www.ampla.com/media/339146/e-mt-011_2008%20r-02.pdf

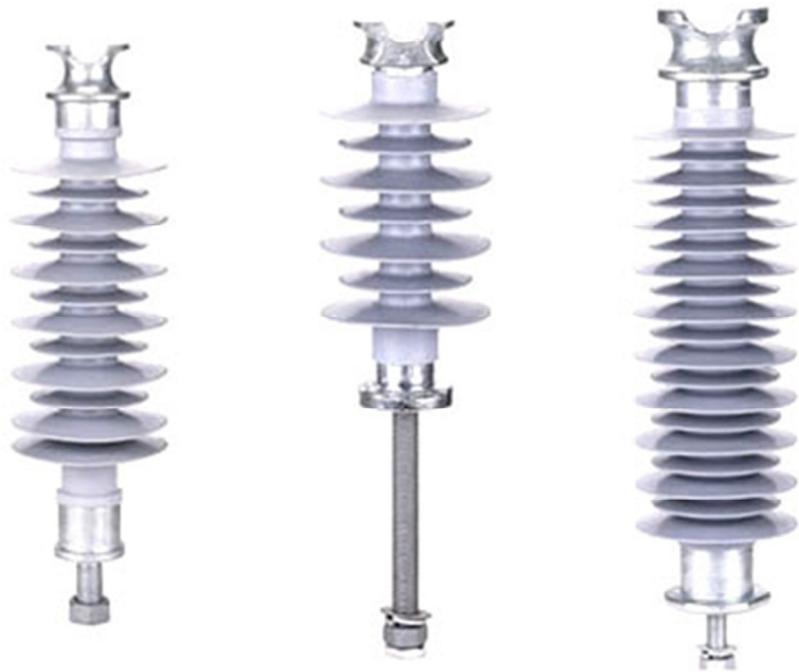


Figura 21. Aisladores tipo line post polimérico

Fuente: <http://www.pomanique.com/productsdetail/composite-insulator//pin-insulator/20.html>

Tabla 6
Características aisladores poliméricos tipo line post

Características Generales			
Normas de ensayos	IEC 61952	IEC 61952	IEC 61952
Designación	12,5-15-355	12,5-25-560	12,5-36-740
Tipo	Line Post	Line Post	Line Post
Material	Polimérico	Polimérico	Polimérico
Protección de línea de fuga	Opcional	Opcional	Opcional
Características Eléctricas			
Tensión de operación (kV)	15	25	36
Tensión de contorno frec. ind. en seco (kV)	70	100	125
Tensión de contorno frec. ind. bajo lluvia (kV)	50	70	95
Tensión crítica tipo impulso-positiva (kV)	120	160	200
Low frequency test voltaje (rms to ground)	15	22	30
Maximum riv at 1000 KHz (μ V)	100	100	200
Características Mecánicas			
Resistencia a la flexión (kN)	12,5	12,5	12,5
Características Dimensionales			
Distancia de fuga (mm)	355	560	740
Distancia de arco (mm)	165	241	311
Dimensiones de la rosca	M20 x 2,5	M20 x 2,5	M20 x 2,5
Profundidad mínima de sujeción del perno (mm)	25	25	25

Fuente: Especificación Técnica: Aisladores de porcelana, vidrio y poliméricos para media tensión,
 Grupo Endesa S.A – 2008, disponible en: https://www.ampla.com/media/339146/e-mt-011_2008%20r-02.pdf

2.6.3 Aisladores tipo pin: Usados en tensiones bajas y medias tienen forma de una pequeña campana, montados sobre un perno o pin (*también llamado espiga con cabeza de plomo*) y se fabrican de porcelana, vidrio o polímero. Actualmente es muy común el tipo híbrido que tiene componentes poliméricos y de porcelana en una sola unidad compacta. Según la necesidad o diseño su función puede ser en estructuras de alineamiento, de cruce y en subestaciones de distribución cumpliendo una función similar al aislador line post. Las normas fijan con detalle la geometría, tamaños, resistencia electromecánica y ensayos.



Figura 22. Aisladores tipo pin de porcelana

Fuente: <http://www.emincco.com.co/prueba/porcelana2.html>

Tabla 7
Características aisladores de porcelana tipo pin

Características Generales		
Norma de ensayos	ANSI C29.5	
Clase (ANSI C29.5)	55-3	
Tipo	Pin	
Material	Porcelana	
Esmalte anti-rediointerferencia RF (radio freed)	Opcional	
Características Eléctricas		
Tensión máxima de operación (kV)	15	
Tensión de contorno freq. ind. en seco (kV)	65	
Tensión de contorno freq. ind. bajo lluvia (kV)	35	
Tensión crítica tipo impulso-positiva (kV)	100	
Tensión crítica tipo impulso-negativa (kV)	130	
Tensión de perforación en aceite (kV)	90	
Low frequency test voltaje (rms to ground) (kV)	10	
Maximum riv at 1000 KHz (μ V)	5500	50
Características Mecánicas		
Resistencia electromecánica (kN)	11	
Características Dimensionales		
Distancia de fuga (mm)	178	
Distancia de arco (mm)	114	
Altura mínima del pin (mm)	127	

Fuente: Especificación Técnica: Aisladores de porcelana, vidrio y poliméricos para media tensión, Grupo Endesa S.A – 2008, disponible en:
https://www.ampla.com/media/339146/e-mt-011_2008%20r-02.pdf



Figura 23. Aislador tipo pin polimérico o híbrido

Fuente: <http://grupoitc.biz/producto/aislador-hibridos-tipo-pedestal/>

Tabla 8
Características aisladores poliméricos tipo pin

Características Generales			
Normas de ensayos	ANSI C29.5 IEC 61109	ANSI C29.5 IEC 61109	ANSI C29.5 IEC 61109
Designación	13-15-300	13- 5-350	13-25-550
Tipo	Pin	Pin	Pin
Material	Polimérico	Polimérico	Polimérico
Tipo de amarre (convencional/grapa)	Opcional	Opcional	Opcional
Características Eléctricas			
Tensión máxima de operación (kV)	15	25	25
Tensión de contorno freq. ind. en seco (kV)	70	85	95
Tensión de contorno freq. ind. bajo lluvia (kV)	40	55	60
Tensión crítica tipo impulso-positiva (kV)	14	125	150
Tensión crítica tipo impulso-negativa (kV)	10	160	190
Tensión de perforación en aceite (kV)	18	200	220
Low frequency test voltaje (rms to ground) (kV)	10	10	15
Maximun riv at 1000 KHz (μ V)	50	100	100
Características Mecánicas			
Resistencia a la flexión (kN)	13	13	13
Características Dimensionales			
Distancia de fuga (mm)	30	350	550
Distancia de arco (mm)	16	165	230
Altura mínima del pin (mm)	15	152	152
Diámetro para el perno (mm)	25,4	25,4	35

Fuente: Especificación Técnica: Aisladores de porcelana, vidrio y poliméricos para media tensión, Grupo Endesa S.A – 2008, disponible en:
https://www.ampla.com/media/339146/e-mt-011_2008%20r-02.pdf

CAPITULO III
TIPOS DE CONTAMINACIÓN EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA⁷:

La ciudad de Chimbote se encuentra situada en la costa norcentral del Perú, 9° 04' 28' S y 78° 35' 37' O, a 130 Km de la ciudad de Trujillo por el norte y 431 Km de la ciudad de Lima por el sur, tiene una altitud de 5 msnm, es la capital de la Provincia del Santa, en el extremo noroeste de la Región Ancash. Se ubica a orillas del océano Pacífico en la bahía El Ferrol, en la desembocadura del río Lacramarca. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI es la octava ciudad más poblada del Perú y según el censo del 2014 alberga una población de 371, 012 habitantes siendo la ciudad más poblada de la Región Ancash.

La ciudad tiene una superficie aproximada de 26565 km² claramente dividido en dos sectores por el río Lacramarca: Chimbote propiamente dicho al noroeste y Nuevo Chimbote al sureste, los cuales a su vez están conformados por diversas urbanizaciones y barrios populares.

Debido a su ubicación en el trópico y la presencia de la cordillera de los andes, la zona costera peruana, en la que se ubica Chimbote, presenta un clima desértico subtropical, de precipitaciones casi nulas. La temperatura oscila entre 28 °C en verano y 13 °C en invierno. Los vientos son constantes todo el año, predominantemente con dirección suroeste, a una velocidad de 30 a 40 km/h.

Chimbote es conocido por la actividad portuaria que en ella se lleva a cabo, así como por ser sede importante de la industria pesquera y siderúrgica del país, además de eje comercial de esta parte del Perú. A mediados del siglo XX Chimbote llegó a ser el primer puerto pesquero del mundo.

El medio ambiente chimbotano ha sido severamente afectado por la contaminación de la actividad fabril y la explosión demográfica; la bahía se encuentra contaminada y la ciudad ha ido ocupando terrenos de los humedales provocando su reducción, son mínimas las partes que permiten algún desarrollo de flora y fauna entre otros.

⁷ Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Chimbote>

Chimbote es conocido por ser un puerto dedicado a la industria pesquera, tanto en la labor extractiva como en la transformación. Las fábricas de harina y aceite de pescado tienen sus plantas industriales en la zona industrial de Chimbote, la cual abarca el tercio sur de la bahía. Las principales especies de pescado extraídas son la anchoveta, el atún, el jurel, la caballa entre otros. Otra industria importante es la siderúrgica, que se abastece de las extracciones mineras de las regiones del interior de la región. Por ello a Chimbote se le conoce como "La capital de la pesca y el acero".

3.2 CONTAMINACIÓN MARINA:

Puede ubicarse no solo en las inmediaciones de la costa, sino también a considerables distancias de las mismas por la acción de los vientos. Su nivel de contaminación se ubica entre los niveles medio y alto, siendo en algunos casos considerado como crítico; esta contaminación contiene un alto contenido de sal (*principalmente cloruro de sodio, NaCl*) con un grado de humedad elevado, esto debido a que generalmente se tiene una dirección de mar a tierra, además es muy inestable, ya que en un año puede alcanzarse tanto el nivel mínimo como el máximo de contaminación.

3.3 CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL:

Tiene su aparición con el desarrollo de las industrias y los efectos contaminantes de las mismas al medio pueden ser de diversos tipos, en dependencia de la fuente que la origina: pesquera, siderúrgica, energética, etc. Este tipo de contaminación es considerada de tipo artificial, los desechos que arrojan las industrias sobre las líneas y subestaciones de distribución ocasionan altos niveles de contaminación en períodos cortos de tiempo, en muchos lugares estos desechos como humo y material particulado se adhieren fuertemente a la superficie del aislador, provocando el deterioro y deficiencia en su desempeño eléctrico, trayendo como consecuencia el flameo de los aisladores.

3.4 CONTAMINACIÓN DESÉRTICA - AGRÍCOLA:

Es la que se presenta en las zonas desérticas (*principalmente en la zona de Nuevo Chimbote*) por efecto del polvo, es un proceso natural del entorno y es incrementada por la acción de los vientos. En el caso agrícola se manifiesta durante el laboreo de la tierra y uso de fertilizantes en los campos de cultivo de los valles que rodean la ciudad; todo esto hace que el polvo llegue a depositarse en los aisladores.

En algunos de los casos mencionados el contaminante puede ser eliminado con facilidad con el uso de medidas de lavado o limpieza con trapo industrial, mientras que en otros pueden llegar a formarse incrustaciones que solo pueden ser eliminadas con el uso de agentes químicos.

Para cada zona o área los aisladores deben tener la capacidad de soportar los efectos de la contaminación presentada mediante una distancia o longitud de fuga adecuada. La tabla 9 nos recomienda distancias de fuga normalizadas para cada nivel de contaminación.

Tabla 9
Distancias de fuga unitaria recomendada según nivel de contaminación

Nivel de Contaminación	Descripción	Distancia de fuga unitaria mínima (mm/kv)
<p>I Ligero</p>	<p>-Areas sin industrias y con baja densidad de casas equipadas con instalaciones de calefacción.</p> <p>-Areas con baja densidad de industrias o casas, pero sujeto a lluvias y/o vientos frecuentes.</p> <p>-Areas de agricultura.</p> <p>-Areas montañosas.</p> <p>-Todas estas áreas deberán encontrarse al menos 10 a 20 km del mar y no debe estar expuesta a los vientos directamente desde el mar.</p>	<p>16</p>
<p>II Mediano</p>	<p>-Areas con industrias que no producen particularmente humo contaminante y/o con densidad promedio de casas equipadas con instalaciones de calefacción.</p> <p>-Areas con alta densidad de industrias o casas, pero sujeto a lluvias y/o vientos frecuentes.</p> <p>-Areas expuestas a viento desde el océano, pero no muy cercanas a la costa (al menos a varios kilómetros de distancia).</p>	<p>20</p>
<p>III Alto</p>	<p>-Areas con alta densidad de industrias y barrios residenciales de grandes ciudades con alta densidad de instalaciones de calefacción que producen polución.</p> <p>-Areas cerca del mar o expuestas a vientos desde el mar relativamente fuertes.</p>	<p>25</p>
<p>IV Muy alto</p>	<p>-Areas de extensión moderada, sujetas a polvo conductor y a humo industrial que produce depósitos conductores particularmente espesos.</p> <p>-Areas de extensión moderada, muy cercanas de la costa y expuestas a la “brisa marina” o a vientos desde el mar muy intensos.</p> <p>-Areas desérticas, caracterizadas por la escasa lluvia, expuestas a fuertes vientos llevando arena y sal, y sujeto a condensación regular.</p>	<p>31</p>

Fuente: Norma IEC 815, *Grados de Contaminación*, disponible en:
<http://contenido.coes.org.pe/alfrescostruts/download.do?nodeId=75d6b3d3-563f-46bc-907e-7a47f4e3f8c3>

3.5 CONTAMINACIÓN EN AISLAMIENTOS EXTERNOS:

La contaminación es causada por una gran variedad de agentes como humos provenientes de la industria pesquera, siderúrgica, parque automotor, brisa salina etc., estos cuando se mezclan por efecto de la lluvia o niebla, pueden reducir la tensión de flameo o contorneo a la frecuencia nominal en los aisladores hasta la mitad y en ocasiones hasta una cuarta parte dependiendo del tipo y densidad de contaminantes, así como de la frecuencia de las lluvias de lavado.

Los aisladores que se encuentran bajo condiciones de intemperie, están sometidos a las condiciones del medio en que se encuentran situados, las cuales varían ampliamente de lugar a otro, dependiendo de las características de la zona en que se encuentre la parte de la instalación en cuestión, estas características hacen posible que el nivel de aislamiento requerido, pueda variar a lo largo de una misma línea o alimentador, pues las condiciones de contaminación son diferentes a lo largo del recorrido.

3.6 PROCESO DE LA CONTAMINACIÓN EN AISLAMIENTOS ELÉCTRICOS:

El proceso de contaminación en aisladores se origina cuando se depositan partículas de contaminante sobre la superficie aislante, estas se adhieren por la acción de diversos factores involucrados en dicho proceso, además al interactuar con la humedad se vuelven conductoras, originando sobre la superficie del aislador la aparición de corrientes de fuga, descargas parciales y finalmente flameo, con la subsiguiente salida de operación de las líneas de distribución y subestaciones eléctricas.

La contaminación ambiental es una de las causas más frecuentes de falla en alimentadores de energía eléctrica; de acuerdo con estudios realizados se sabe que la severidad del nivel de contaminación que afecta a los aisladores, está directamente asociado tanto con la climatología como con el tipo de contaminante que predomine en la región; en el caso específico de la ciudad de Chimbote se presentan los tres tipos de contaminación mencionados anteriormente.

3.7 COMPOSICIÓN DE LA MATERIA CONTAMINANTE:

Generalmente las partículas que se depositan en la superficie de los aisladores forman una capa contaminante, la cual tiene la capacidad de absorber humedad presente en el medio ambiente provocando la aparición de corrientes de fuga sobre la superficie.

3.7.1 Materia insoluble en suspensión permanente:

Comprende todos los materiales inorgánico insolubles, condensables, de tamaño microscópico, los cuales tienen un índice de disolución en agua muy bajo, estos se mantienen en suspensión mediante fuerzas cinéticas debidas al movimiento molecular de los gases en la atmósfera, pero se precipitan por medio de fuerzas eléctricas. Generalmente la materia insoluble no contribuye en la conductividad eléctrica, pero si influye en la tensión de flameo o contorneo debido a su capacidad para retener humedad, un ejemplo claro de material insoluble es el caolín, material que es utilizado en las pruebas de laboratorio para contaminar artificialmente los aisladores.

3.7.2 Materia soluble en suspensión:

Comprende materiales orgánicos pesados como sales, polvos, gases, etc., los cuales se depositan en la superficie de los aisladores, fundamentalmente por gravedad, dentro de este mismo grupo también se encuentran las materias orgánicas en descomposición y partículas de vapor de agua proveniente de la niebla, llovizna o sereno que se condensan o dispersan de acuerdo a las condiciones meteorológicas del viento y la temperatura ambiente.

Desde el punto de vista eléctrico, la materia soluble, es la que permite la conducción eléctrica de fase a tierra a través de la superficie del aislador.

3.8 FLAMEO EN AISLADORES CONTAMINADOS:

3.8.1 Arqueo (flashover) en los aisladores debido a la contaminación:

La contaminación puede reducir significativamente la tensión (*medida como tensión de potencia a la frecuencia industrial*) a la cual se produce el arqueo que saca de servicio la línea conduciendo a cortes de energía no planeados y disminuyendo la confiabilidad del sistema, el proceso de arqueo, que es el que finalmente descarga la línea, es un proceso complejo que ocurre a través de diferentes fases como son:

a) Formación de la capa contaminante:

Los problemas de contaminación en aisladores ocurren cuando el medio que las rodea lleva diversas sustancias, especialmente salinas e industriales, estas sustancias se depositan sobre ellos creando una capa que en condiciones secas no causan mayor problema. El depósito de contaminante es gobernado por la interacción de varias fuerzas (*gravitacional, eléctrica, viento etc.*) que actúan simultáneamente, el componente conductor de los contaminantes influye en la tensión de contorneo del aislador

proveyendo en condiciones húmedas, una cubierta conductiva en su superficie, el componente inerte por otro lado, es la porción de materia sólida que no se disuelve; la humedad es entregada por la naturaleza a través de los mecanismos de condensación y rocío, la condensación representa un proceso lento de humedad durante el cual los contaminantes conductivos se pueden disolver completamente, este proceso a menudo se produce bajo condiciones de neblina en horas de la mañana, la brisa o llovizna pueden causar el mismo efecto.

La superficie del aislador suele ser un factor muy importante, debido a que se ha encontrado que la cantidad de partículas contaminantes depositadas sobre los aislamientos varía en forma lineal con la rugosidad de la superficie del aislador, es decir, mientras más lisa sea la superficie de un aislador menor será la cantidad de partículas que se depositen, por el contrario, la rugosidad de la superficie permite la formación de esta capa.

El campo eléctrico debido a su acción provoca la atracción de las partículas, haciendo con esto más denso el depósito del contaminante en regiones de mayor intensidad, es decir, en el lado de la línea, por esto la capa formada sobre la superficie del aislamiento no es homogénea.

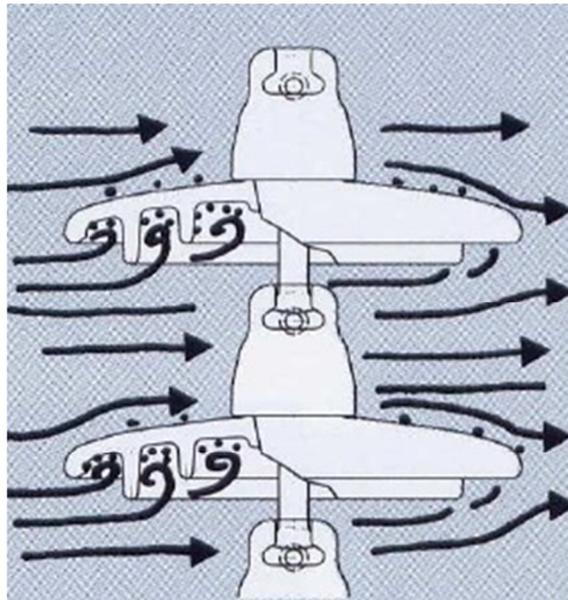


Figura 24. Formación de la capa contaminante

Fuente: Rodríguez, J. (2010). *Curso de actualización profesional: Aspectos técnicos relevantes en el desarrollo de proyectos de electrificación rural (Cap. 2)*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.

Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/34296119/CURSO-ELECTRIFICACION-RURAL-24-27-MAYO>

b) Humedecimiento de la capa contaminante:

Esta se presenta por migración de humedad (*llovizna, neblina o brisa*) en la capa contaminante, cuando esta capa se humecta, su comportamiento es el de un electrolito, disminuyéndose su resistencia e incrementándose la corriente de filtración a través de ella. Con el aumento de la corriente se incrementa el calor generado y a su vez la temperatura de la capa contaminante lo que hace que disminuya aún más su resistencia debido al coeficiente térmico de los electrolitos.

Cuando un aislador contaminado esta seco, la distribución de tensión es esencialmente la misma que para un aislador limpio, pero a medida que el proceso de humectación progresa la resistencia superficial se ve afectada, debido a que la parte soluble del contaminante se convierte en electrolito iniciándose así un flujo de iones conocidos como corrientes de fuga.

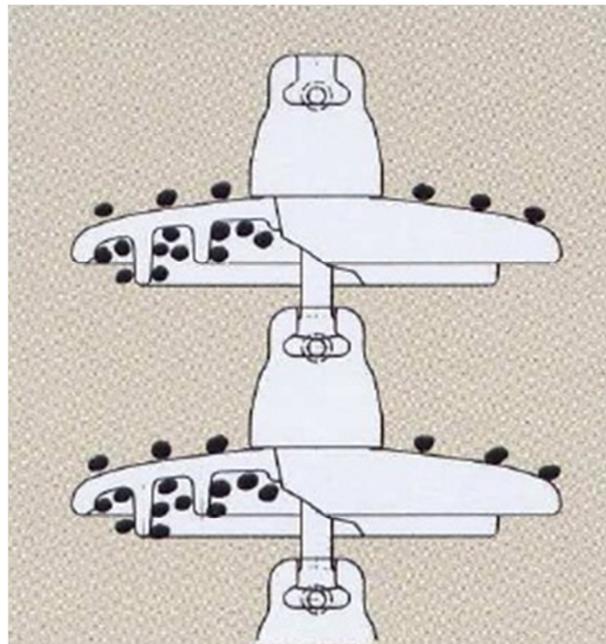


Figura 25. Humedecimiento de la capa contaminante

Fuente: Rodríguez, J. (2010). *Curso de actualización profesional: Aspectos técnicos relevantes en el desarrollo de proyectos de electrificación rural (Cap. 2)*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/34296119/CURSO-ELECTRIFICACION-RURAL-24-27-MAYO>

c) Secado de la capa contaminante:

Cuando la resistencia de la capa empieza lentamente a aumentar, hasta que la pérdida de humedad sea tal que la capa empieza a secarse, momento en el cual alcanza valores altos de resistencia, este fenómeno es mas acentuado en las partes estrechas del aislador donde la densidad de corriente es mayor, es en este instante que la capa empieza a secarse y la conductividad de estas zonas bajan rápidamente hasta que alcanzan el cero, formándose así zonas perfectamente secas detectables a simple vista, las cuales son conocidas con el nombre de “bandas secas”. El incremento en la resistencia producido por la banda seca, hace que la corriente disminuya pero su formación implica que la mayor parte de la tensión aplicada al aislador aparezca a través de ella, por estar aún mojado o húmedo el resto de la capa contaminante depositada sobre el aislador y por lo tanto posee baja resistencia.

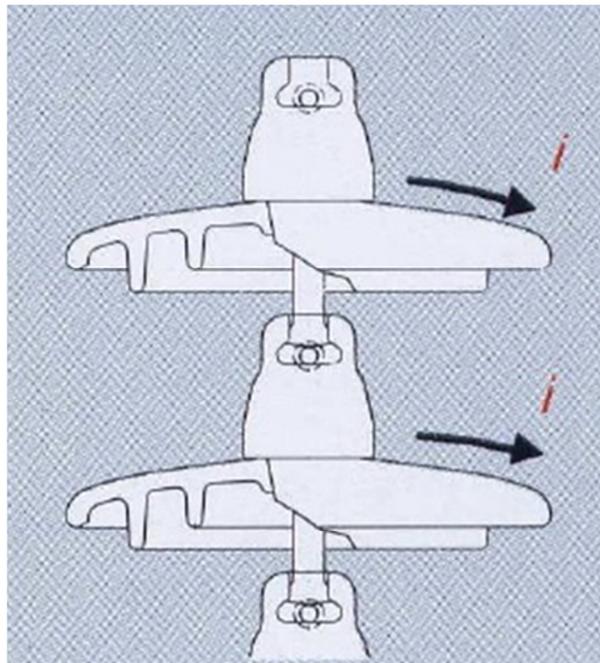


Figura 26. Secado de la capa contaminante

Fuente: Rodríguez, J. (2010). *Curso de actualización profesional: Aspectos técnicos relevantes en el desarrollo de proyectos de electrificación rural (Cap. 2)*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/34296119/CURSO-ELECTRIFICACION-RURAL-24-27-MAYO>

d) Formación y descarga a través de las bandas secas:

El ancho de la banda seca varía en dependencia de varios factores como son: Características de absorción de la capa, régimen de humectación, lugar donde se forma la banda seca, etc., dicha banda se sigue formando a través de un proceso cíclico hasta un punto en que la tensión aplicada a la misma es ligeramente inferior al valor requerido para iniciar la descarga por el aire, por lo que cualquier disminución en el ancho de la banda, distorsión del campo eléctrico o el desarrollo de algún proceso de ionización provocará la descarga, el arco crecerá hasta un límite en el que, dependiendo las características del sistema, este se extingue o produce un corto circuito en el aislador.

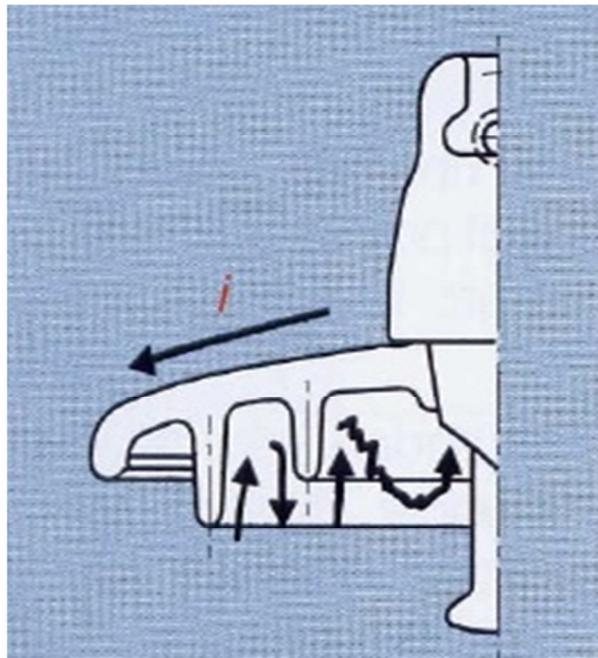


Figura 27. Formación y descarga a través de bandas secas

Fuente: Rodríguez, J. (2010). *Curso de actualización profesional: Aspectos técnicos relevantes en el desarrollo de proyectos de electrificación rural (Cap. 2)*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/34296119/CURSO-ELECTRIFICACION-RURAL-24-27-MAYO>

e) Descarga parcial o arco a través de las bandas secas:

Cuando una banda seca completa es establecida, la mayor parte de la tensión aplicada al aislador es entonces impuesto en ella debido a su alta resistencia, la corriente es interrumpida por la ruptura del aire como puente entre esta banda seca y mantendrá la corriente, el arco lleva la corriente en un canal concentrado liberando el calor en una forma muy concentrada más que distribuirlo sobre la superficie, esto conduce a preferir la elongación de la amplitud de la banda seca en la ubicación del punto final de arco, donde la densidad de corriente es más alta, el arco puede extenderse longitudinalmente y se llega a cubrir una parte crítica del camino a lo largo de la fuga, el arqueo o flashover definitivo será prácticamente inevitable.

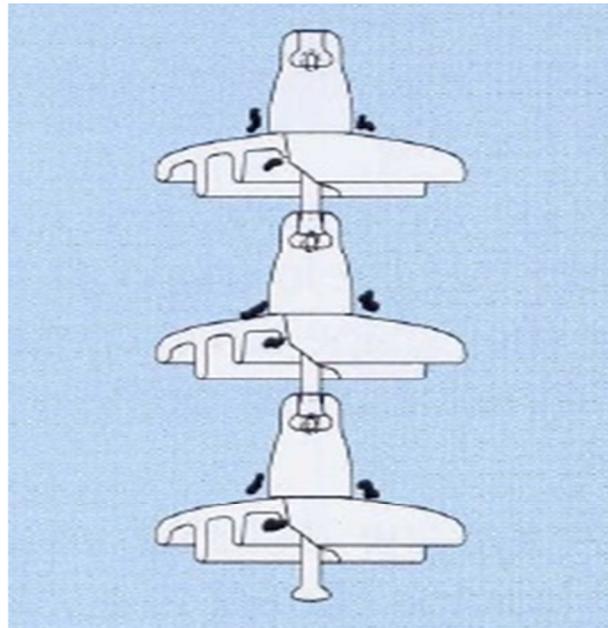


Figura 28. Descarga parcial a través de las bandas secas

Fuente: Rodríguez, J. (2010). *Curso de actualización profesional: Aspectos técnicos relevantes en el desarrollo de proyectos de electrificación rural (Cap. 2)*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/34296119/CURSO-ELECTRIFICACION-RURAL-24-27-MAYO>

f) Flameo del aislador:

En condiciones de humedad, la circulación de la corriente de fuga genera la disipación de energía por efecto joule (expresado matemáticamente por: $Q = I^2 R t$, donde: Q =Energía calorífica disipada, I =Intensidad de la corriente que circula, R =Resistencia eléctrica del conductor, t =Tiempo) ocasionando la evaporación de la humedad contenida en la capa contaminante.

El incremento de esta corriente en las regiones conductivas, permite la falla por flameo, debido a que se reduce la resistencia superficial y se incrementa la corriente de fuga, logrando que las descargas lleguen a encadenarse y se presente la falla a tierra causando la salida de operación del alimentador.

La energía liberada durante el arco de potencia puede ser de tal magnitud, que ocasione la falla del aislador ya sea por ruptura mecánica y caída o por daño parcial; en caso de no llegar a la ruptura mecánica o algún daño parcial después del arco de potencia, el aislador seguirá trabajando hasta que nuevamente la actividad de las bandas secas ocasione otro arco de potencia.

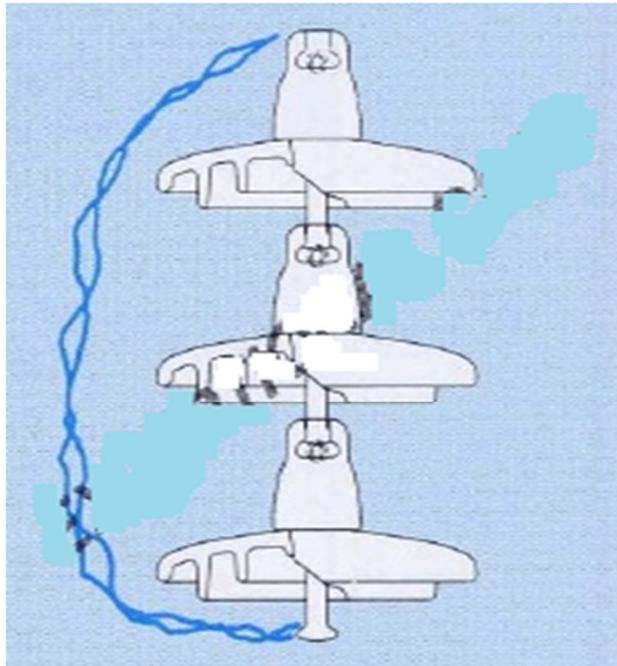


Figura 29. Flameo del aislador

Fuente: Rodríguez, J. (2010). *Curso de actualización profesional: Aspectos técnicos relevantes en el desarrollo de proyectos de electrificación rural (Cap. 2)*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/34296119/CURSO-ELECTRIFICACION-RURAL-24-27-MAYO>

3.8.2 Efectos de los depósitos contaminantes sobre los aisladores⁸:

Entre los principales efectos que ocasiona la contaminación ambiental en los aisladores encontramos los siguientes:

a) Excesiva corriente de fuga:

A medida que se humedece la superficie del aislador, disminuye su resistencia superficial, y se presenta una corriente de fuga apreciable de carácter intermitente sobre la superficie del aislador, lo cual provoca la disipación de energía en forma calorífica, aumentando la temperatura y a su vez disminuyendo la resistencia dieléctrica del aislador, ocasionándole pérdida de su capacidad aislante.

b) Flameos continuos:

El riesgo de flameo por contaminación puede presentarse en tres casos especiales:

1. Cuando el aislador se expone a la lluvia, después de haber sido energizado a la tensión nominal de trabajo durante un largo período de tiempo.
2. Cuando un aislador contaminado y húmedo se energiza a su tensión nominal de trabajo.
3. Cuando un aislador contaminado y húmedo se somete a una tensión transitoria.

c) Perforación:

El excesivo calentamiento local y el calentamiento diferencial ocasionados por la excesiva corriente de fuga, disminuyen rápidamente la resistencia dieléctrica del material, lo cual se traduce en una mayor disipación de energía calorífica, hasta producir la ruptura y perforación del aislador.

d) Corrosión:

Se produce una acelerada corrosión de las partes metálicas en los alimentadores que operan en zonas de alta contaminación y brisa salina como es la ciudad de Chimbote. Las principales causas de dicha corrosión son:

1. Efectos electrolíticos debidos a la corriente de fuga.
2. Pérdida de la capa de zinc (*galvanizado*), quedando el metal expuesto a la acción corrosiva del medio.
3. Generación de ácido nítrico a partir del ozono producido por el efecto corona y el calentamiento.

⁸ Fuente: Franco, S. (2002). *Contaminación por salinidad en líneas de transmisión cercanas a la costa* (p.104-106). Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3262>



Figura 30. Aislador flameado y corroído

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/fisica/transmision-energia/aislamiento>

Todos estos procesos complejos y dinámicos expuestos anteriormente se comprueban o contrastan con la realidad como se muestra en la tabla 10 donde se reportan las interrupciones en el año 2014 para el Alimentador Libertad en Media Tensión 13,2 kV de la Empresa Concesionaria del Servicio Público de Energía Eléctrica Hidrandina S.A en la ciudad de Chimbote donde se puede apreciar la salida de servicio del alimentador por un defecto de aislamiento.

Tabla 10**Reporte de interrupciones año 2014, AMT Libertad 13,2 kV- Chimbote**

N° Int.	Observación / Causa	Medida correctiva	Protección que se activa	Area responsable
1	Se verificó, encontrando en la SED CH2136 biposte la fase "S" decapitada en toda la cuña por deterioro de cable de aleación y cobre que alimenta a la entrada del Cut-Out de 35mm ² en M.T, se procedió a la reparación de la fase "S" empleando un conector bimetálico, se desenergiza el AMT Libertad, previa realimentación de un tramo.	Se realizará mantenimiento preventivo.	Cut-Out	Distribución
2	Salió por repercusión al salir el AMT Meiggs.	Se verificará ajuste de relés.	Interruptor	Trasmisión
3	Se encontró dos aisladores con bajo aislamiento (a tierra) fases R y S en la estructura N° 2094744, se realizó el cambio y se normaliza el servicio eléctrico.	Se realizará mantenimiento preventivo.	Interruptor	Distribución
4	Sale por repercusión al salir el AMT Meiggs por falla.	Se revisará el estudio de coordinación.	Interruptor	Distribución
5	Falla en M.T. debido a que se filtró falla del AMT Libertad, no despejó relé del AMT Libertad.	Se revisará estudio de coordinación de relé AMT Libertad.	Interruptor	Distribución
6	Falla en evaluación, se está tratando de retroalimentar desde la SET Chimbote Norte y Chimbote Sur.	Falla interna protección relé T-60.	Interruptor	Trasmisión
7	Sale al SET Trapecio por repercusión de la falla de la LT L-1113	Se revisará la SET.	Interruptor	Trasmisión

Fuente: Hidrandina S.A – Unidad de Negocios Chimbote

CAPITULO IV
SELECCIÓN DE AISLADORES USANDO EL MÉTODO DE LÍNEA DE FUGA

4.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO:

El nivel de aislamiento como otras características eléctricas de los aisladores se ve influenciado por factores externos principalmente de naturaleza medioambiental como son: La temperatura ambiente, la presión atmosférica, la densidad del aire, la humedad, la lluvia, el grado de contaminación de la zona, el nivel cerámico⁹ etc.

Las características de aislamiento normalizadas de los aisladores se refieren a una presión atmosférica de 76 cm Hg.

La tensión de flameo o contorneo de los aisladores en el aire varía en proporción directa del factor de densidad del aire, que está dado por la siguiente fórmula:

$$d = 3,92 * b / 273 + t \quad (1)$$

Donde:

- d : Factor de densidad del aire.
- b : Presión barométrica (en cm Hg).
- t : Temperatura ambiente (en °C).

Este factor es igual a la unidad para una presión barométrica de 76 cm. de columna de mercurio y a una temperatura de 25°C.

La presión barométrica se relaciona con la altitud medida en metros sobre el nivel del mar de acuerdo a la ecuación:

$$\log (b) = \log (76) - h / 18336 \quad (2)$$

⁹ Definido para un determinado lugar como como el número promedio de días al cabo del año en los que hay tormenta o por lo menos se oye un trueno.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Nivel_cer%C3%A1nico

Al aumentar la altitud sobre el nivel del mar, lo que implica una disminución de la presión atmosférica, disminuye el nivel de aislamiento de los aisladores en el aire y sería necesario aumentar este nivel con respecto al que sería necesario al nivel del mar, para tener un aislamiento adecuado en las instalaciones.

A continuación en las tablas 11, 12, 13 se muestran los niveles de aislamiento para los diferentes tipos de aisladores a diferentes alturas así como también sus respectivos gráficos de barras:

Tabla 11
Nivel de aislamiento para aisladores de suspensión

Altura h (msnm)	Presión atmosférica b (cmHg)	Densidad relativa del aire d	Nivel de aislamiento (kV)			
			Aislador de suspensión			
			Porcelana Clase 52-1		Polimérico Clase DS-15	
En seco	Bajo lluvia	En seco	Bajo lluvia			
0	76,00	1,00	60,00	30,00	90,00	65,00
100	74,91	0,98	58,80	29,40	88,20	63,70
200	73,98	0,97	58,20	29,10	87,30	63,05
300	73,05	0,96	57,60	28,80	86,40	62,40
400	72,14	0,95	57,00	28,50	85,50	61,75
500	71,24	0,94	56,40	28,20	84,60	61,10
600	70,35	0,92	55,20	27,60	82,80	59,80
700	69,47	0,91	54,60	27,30	81,90	59,15
800	68,61	0,90	54,00	27,00	81,00	58,50
900	67,75	0,89	53,40	26,70	80,10	57,85
1000	66,90	0,88	52,80	26,40	79,20	57,20

Nota: Para la altura sobre el nivel del mar se han tomado intervalos de 100 m para disponer de una mayor cantidad de resultados que nos permitan observar mejor el comportamiento de las variables involucradas, teniendo en cuenta que hasta los 1000 msnm se consideran características ambientales homogéneas en la costa peruana.

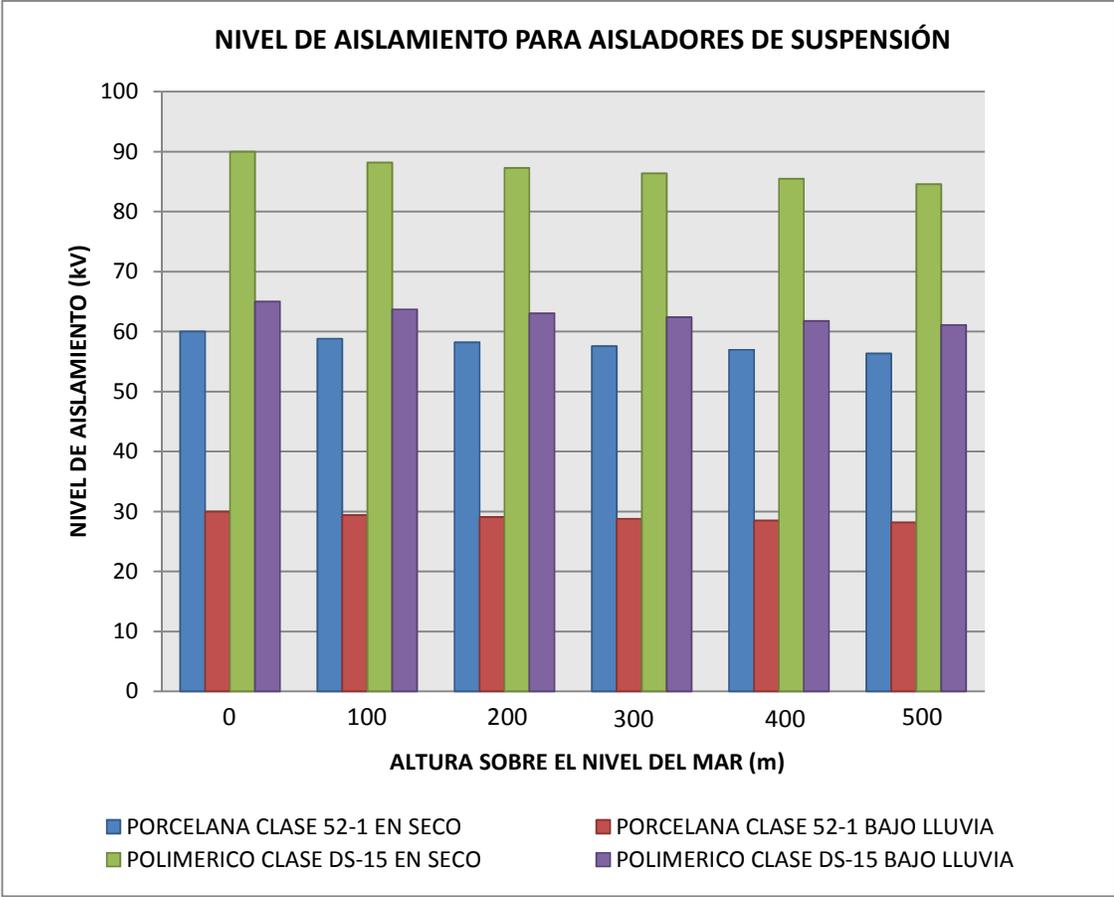


Figura 31. Nivel de aislamiento para aisladores de suspensión de porcelana y poliméricos en seco y lluvia

Tabla 12
Nivel de aislamiento para aisladores tipo line post

Altura h (msnm)	Presión atmosférica b (cmHg)	Densidad relativa del aire d	Nivel de aislamiento (kV)			
			Aislador line post			
			Porcelana Clase 57-1		Polimérico Clase 15-355	
En seco	Bajo lluvia	En seco	Bajo lluvia			
0	76,00	1,00	70,00	50,00	70,00	50,00
100	74,91	0,98	68,60	49,00	68,60	49,00
200	73,98	0,97	67,90	48,50	67,90	48,50
300	73,05	0,96	67,20	48,00	67,20	48,00
400	72,14	0,95	66,50	47,50	66,50	47,50
500	71,24	0,94	65,80	47,00	65,80	47,00
600	70,35	0,92	64,40	46,00	64,40	46,00
700	69,47	0,91	63,70	45,50	63,70	45,50
800	68,61	0,90	63,00	45,00	63,00	45,00
900	67,75	0,89	62,30	44,50	62,30	44,50
1000	66,90	0,88	61,60	44,00	61,60	44,00

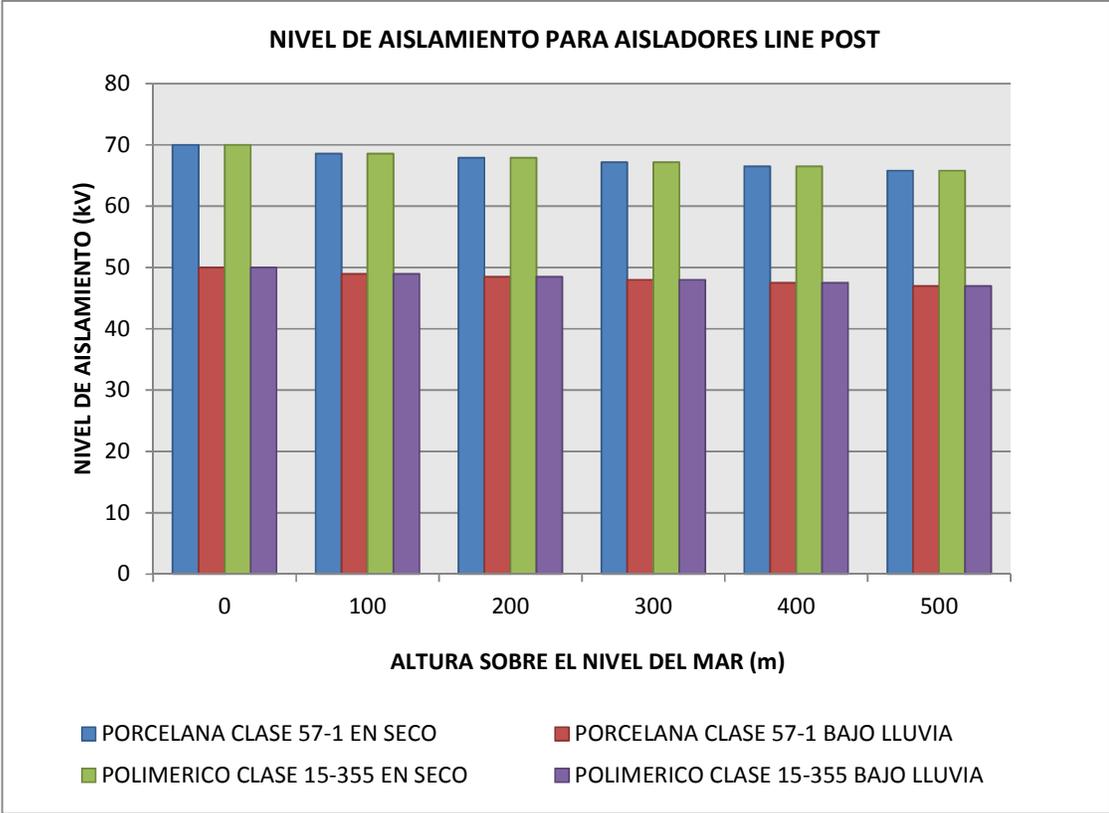


Figura 32. Nivel de aislamiento para aisladores tipo line post en seco y lluvia

Tabla 13
Nivel de aislamiento para aisladores tipo pin

Altura h (msnm)	Presión atmosférica b (cmHg)	Densidad relativa del aire d	Nivel de aislamiento (kV)			
			Aislador pin			
			Porcelana Clase 55-3		Polimérico Clase 15-300	
En seco	Bajo lluvia	En seco	Bajo lluvia			
0	76,00	1,00	65,00	35,00	70,00	40,00
100	74,91	0,98	63,70	34,30	68,60	39,20
200	73,98	0,97	63,05	33,95	67,90	38,80
300	73,05	0,96	62,40	33,60	67,20	38,40
400	72,14	0,95	61,75	33,25	66,50	38,00
500	71,24	0,94	61,10	32,90	65,80	37,60
600	70,35	0,92	59,80	32,20	64,40	36,80
700	69,47	0,91	59,15	31,85	63,70	36,40
800	68,61	0,90	58,50	31,50	63,00	36,00
900	67,75	0,89	57,85	31,15	62,30	35,60
1000	66,90	0,88	57,20	30,80	61,60	35,20

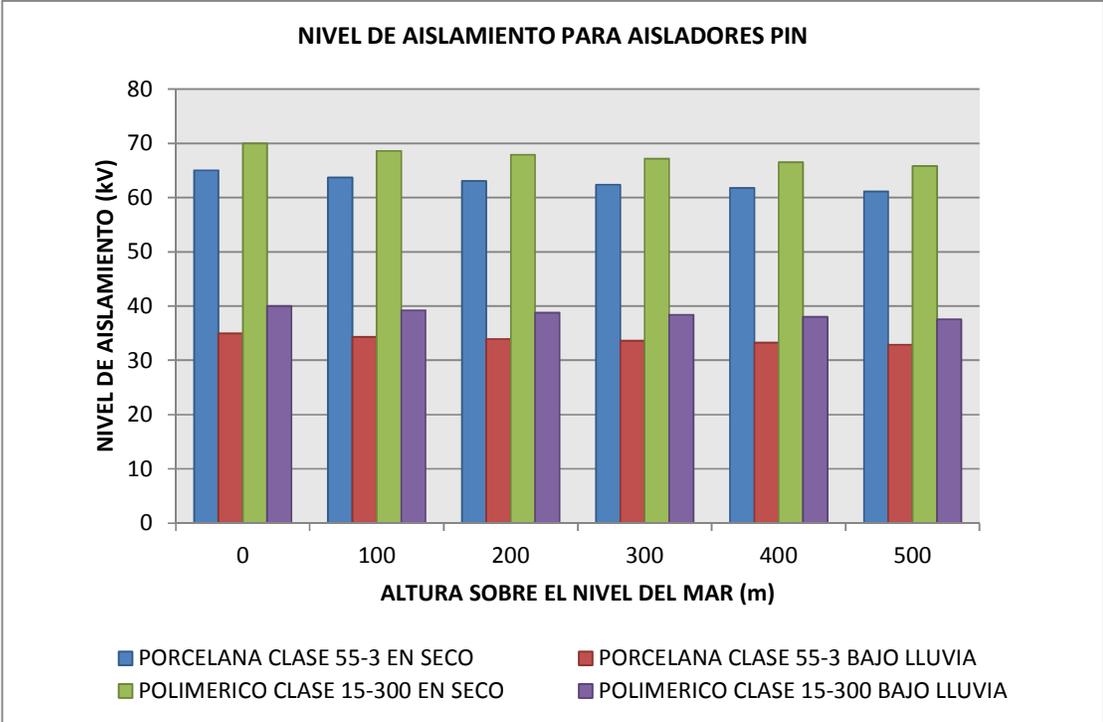


Figura 33. Nivel de aislamiento para aisladores tipo pin en seco y lluvia

4.2 GRADO DE AISLAMIENTO¹⁰:

Se llama grado de aislamiento a la relación entre la longitud de línea de fuga de un aislador o de la cadena y la tensión entre fases de la línea.

El grado de aislamiento viene dado por la siguiente fórmula:

$$GA = n * LF / V \quad (3)$$

Donde:

GA	:	Grado de aislamiento (cm/kv)
LF	:	Línea de fuga (cm)
V	:	Tensión compuesta más elevada (kv)
n	:	Número de aisladores de la cadena

Los grados de aislamiento recomendados según las zonas que atraviesan las líneas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 14
Grados de aislamientos normalizados para diferentes zonas según IEC

Zonas	GA (cm/kV)
Forestales y agrícolas	1,7 - 2,0
Industriales y próximas al mar	2,2 - 2,5
Fábricas de productos químicos	2,6 - 3,2
Centrales térmicas	> 3,2

Fuente: Adaptado de Norma IEC 815, disponible en:
file:///C:/Users/ADVANCE/Downloads/Aisladores%20lineas%20aereas.pdf

Reemplazando datos en la fórmula 3, mostramos los grados de aislamientos para diferentes tipos de aisladores en la tabla 15:

¹⁰ Fuente: file:///C:/Users/ADVANCE/Downloads/Aisladores%20lineas%20aereas.pdf

Tabla 15
Grado de aislamiento para diferentes tipos de aisladores

Tipo de aislador	Material	Tensión máxima de operación (kV)	Línea de fuga (mm)	Grado de aislamiento (cm/kV)	Zona de uso recomendada
Suspensión	Porcelana Clase 52-1	15	178	1,2	(*)
	Polimérico	15	355	2,7	Industrial y próxima al mar
Line post	Porcelana Clase 57-1	15	355	2,7	Industrial y próxima al mar
	Polimérico	15	355	2,7	Industrial y próxima al mar
Pin	Porcelana Clase 55-3	15	178	1,2	(*)
	Polimérico	15	300	2,0	Forestal y agrícola

(*) Grado de aislamiento por debajo del nivel mínimo requerido para una determinada zona

4.3 SOBRETENSIÓN ATMOSFÉRICA COMO FUNCIÓN DE PROBABILIDAD

La ciudad de Chimbote, la costa y el Perú en general históricamente se ven afectados por el Fenómeno del Niño cuyos efectos climáticos en estos últimos años se han vuelto más impredecibles como insólitos producto del cambio climático o calentamiento global¹¹, solo por mencionar algunos eventos hemos tenido la caída de rayos en el distrito de Nuevo Chimbote¹² en la región Ancash en el año 2015 y en varias localidades costeras de la región La Libertad en el año 2014 como está debidamente reportado y registrado¹³. Estos eventos que estadísticamente no sucedían nos lleva a prestar atención a las sobretensiones de origen atmosférico como un complemento a nuestro estudio teniendo en cuenta que la seguridad industrial es un factor importante en el campo de las redes eléctricas y de la ingeniería en general.

¹¹ Ver el enlace:

<http://www.solociencia.com/ecologia/08020106.htm>

¹² Ver el enlace, reporte del 2015/02/03:

<http://www.diariodechimbote.com/portada/noticias-locales/77959-relampagos-y-truenos-precedieron-a-inusual-y-copiosa-lluvia-anoche>

Ver el enlace, reporte del 2015/02/03:

<https://www.facebook.com/ChimboteOnline/videos/vb.311816308902434/784822411601819/?type=2&theater>

Ver el enlace, reporte del 205/02/03:

<http://rpp.pe/peru/actualidad/relampagos-alarmaron-a-la-poblacion-de-nuevo-chimbote-noticia-765703>

Ver el enlace:

<http://peru21.pe/opinion/rayos-costa-2211311>

¹³ Ver el enlace, reporte del 2014/11/07:

<http://elcomercio.pe/peru/la-libertad/ascope-relampagos-y-truenos-sorprenden-y-causan-susto-noticia-1769667>

Ver el enlace, reporte del 2014/11/06:

<http://rpp.pe/peru/actualidad/la-libertad-temor-por-relampagos-y-truenos-en-ascope-noticia-740054>

Ver el enlace, reporte del 2014/11/06:

<http://laindustria.pe/trujillo/regional/truenos-relampagos-y-lluvia-causan-temor-en-valle-chicama>

Ver el enlace:

<http://soltvperu.com/web/los-relampagos-y-truenos-sorprendieron-a-los-pobladores-de-la-provincia-de-ascope/>

Ver el enlace, reporte del 2014/11/07:

<https://www.youtube.com/watch?v=Vdzv7AK7oKo>

Ver el enlace, reporte del 2014/11/09:

https://www.youtube.com/watch?v=bX_h64N-s4Y

Vamos a analizar su comportamiento desde el punto de vista de las probabilidades teniendo en cuenta que obedecen a una función de distribución normal o gaussiana.

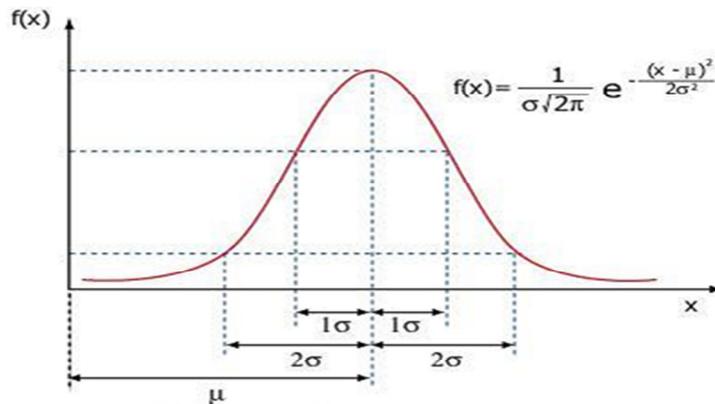


Figura 34. Distribución normal o gaussiana

Fuente: <http://www.actiweb.es/mathclass/pagina3.html>

Según Zapata (2010, p.47-48) la función de probabilidad normal se define por medio de un parámetro de localización, usualmente llamado μ , y un parámetro de escala, usualmente llamado $T > 0$.

Es usual presentar el eje x en forma de desviación estándar y expresar T como un porcentaje con respecto a μ o sea $T \% = T / \mu * 100\%$.

El área encerrada entre $-3 T$ y $+3 T$ es de 0.9972 por lo cual, se asume que estos valores encierran todos los valores posibles de la variable.

El nombre “normal” se aplica a esta distribución ya que en las poblaciones consideradas “normales” las características de los elementos o variables se concentran alrededor del valor medio y muy pocos de ellos tienen valores muy por fuera de dicho valor. Es decir, existe muy poca probabilidad de encontrar elementos o variables con características que estén por fuera de $\pm 3 T$.

Como los valores de la función de distribución de probabilidad deben hallarse numéricamente, para esto se utiliza la distribución normal estándar Φ que se define con $\mu=0$ y $T=1$.

Las aplicaciones más importantes de la distribución normal de probabilidad son: Estudio de errores, inflación, sobretensiones, tensión o voltaje de aguante de aisladores entre otros.

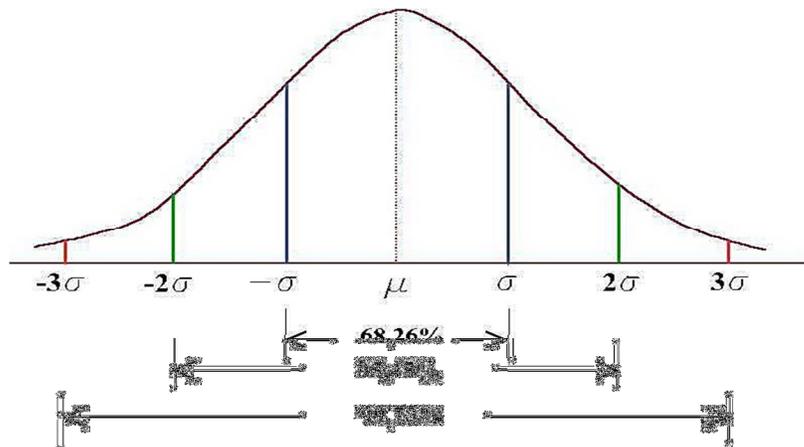


Figura 35. Distribución normal estándar

Fuente: <http://www.actiweb.es/mathclass/pagina3.html>

Los aisladores de los alimentadores en media tensión que operan a 13,2 kV tienen diferentes niveles de aislamientos BIL. La tensión o voltaje de aguante de los aisladores y las sobretensiones ocasionadas por descargas atmosféricas siguen una distribución probabilística normal o gaussiana con un valor medio llamado CFO (*Critical Flash Over o Coeficiente de Flameo*) y una desviación estándar del 5%. El BIL es la tensión o voltaje de aguante para sobretensiones producidas por descargas atmosféricas y es el valor que se ubica a 3 desviaciones estándar por debajo del valor medio de la distribución gaussiana.

Según esto se ha calculado los CFO para los diferentes tipos de aisladores a diferentes alturas sobre el nivel del mar usando la siguiente fórmula:

$$\text{CFO} = \text{BIL} + 3 * T \quad (4)$$

Los resultados se muestran en las tablas 16, 17 y 18 así como también sus respectivos gráficos de barras:

Tabla 16**Nivel de aislamiento BIL o voltaje de aguante para aisladores de suspensión**

Altura h (msnm)	Presión atmosférica b (cmHg)	Densidad relativa del aire d	Nivel de aislamiento BIL (kV) Aislador de suspensión			
			Porcelana Clase 52-1		Polimérico Clase DS-15	
			Tensión Crítica Tipo Impulso (kV)	CFO	Tensión Crítica Tipo Impulso (kV)	CFO
0	76,00	1,00	100,00	117,65	140,00	164,71
100	74,91	0,98	98,00	115,29	137,20	161,41
200	73,98	0,97	97,00	114,12	135,80	159,76
300	73,05	0,96	96,00	112,94	134,40	158,12
400	72,14	0,95	95,00	111,76	133,00	156,47
500	71,24	0,94	94,00	110,59	131,60	154,82
600	70,35	0,92	92,00	108,24	128,80	151,53
700	69,47	0,91	91,00	107,06	127,40	149,88
800	68,61	0,90	90,00	105,88	126,00	148,24
900	67,75	0,89	89,00	104,70	124,60	146,59
1000	66,90	0,88	88,00	103,53	123,20	144,94

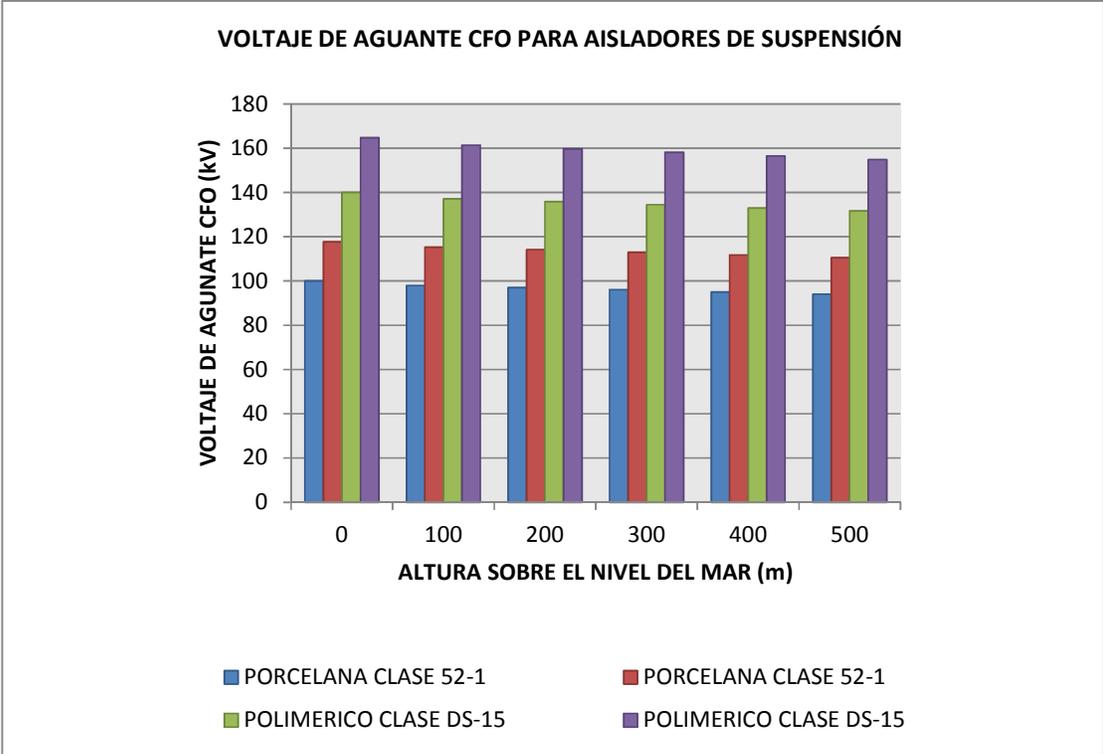


Figura 36. Tensión o voltaje de aguante para aisladores tipo suspensión

Tabla 17
Nivel de aislamiento BIL o voltaje de aguante para aisladores tipo line post

Altura h (msnm)	Presión atmosférica b (cmHg)	Densidad relativa del aire d	Nivel de aislamiento BIL (kV) Aislador line post			
			Porcelana Clase 57-1		Polimérico Clase 15-355	
			Tensión crítica tipo impulso (kV)	CFO	Tensión crítica tipo impulso (kV)	CFO
0	76,00	1,00	120,00	141,18	120,00	141,18
100	74,91	0,98	117,60	138,35	117,60	138,35
200	73,98	0,97	116,40	136,94	116,40	136,94
300	73,05	0,96	115,20	135,53	115,20	135,53
400	72,14	0,95	114,00	134,12	114,00	134,12
500	71,24	0,94	112,80	132,71	112,80	132,71
600	70,35	0,92	110,40	129,88	110,40	129,88
700	69,47	0,91	109,20	128,47	109,20	128,47
800	68,61	0,90	108,00	127,06	108,00	127,06
900	67,75	0,89	106,80	125,65	106,80	125,65
1000	66,90	0,88	105,60	124,24	105,60	124,24

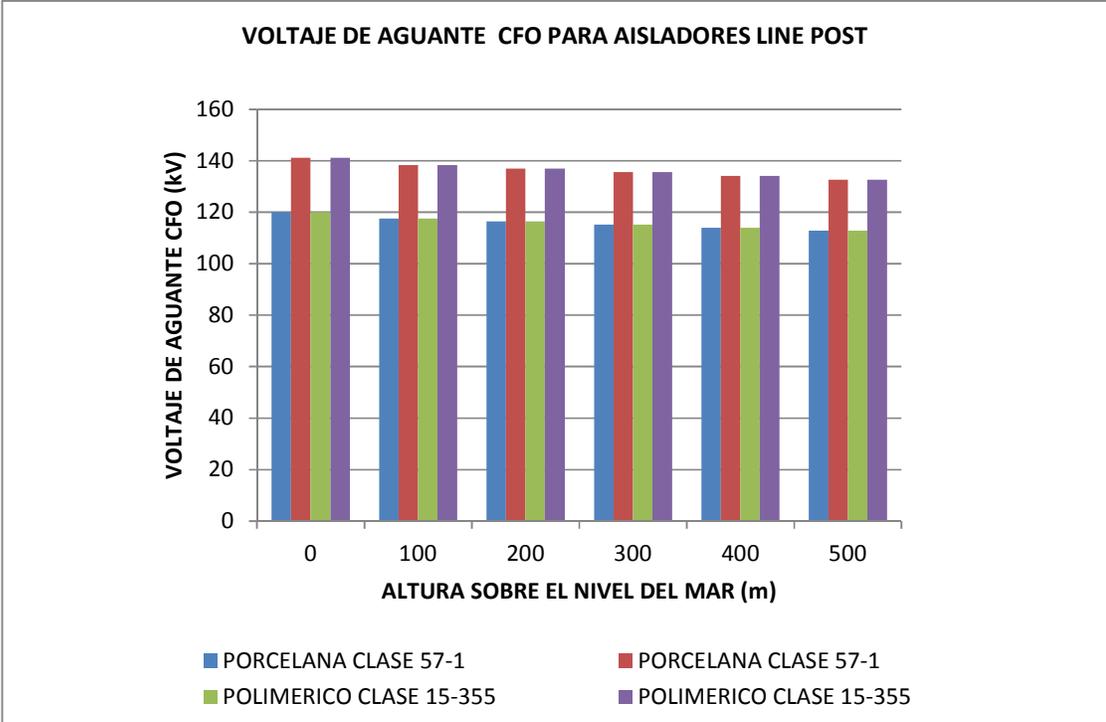


Figura 37. Tensión o voltaje de aguante para aisladores tipo line post

Tabla 18**Nivel de aislamiento BIL o voltaje de aguante para aisladores tipo pin**

Altura h (msnm)	Presión atmosférica b (cmHg)	Densidad relativa del aire d	Nivel de aislamiento BIL (kV) Aislador pin			
			Porcelana Clase 55-3		Polimérico Clase 15-300	
			Tensión crítica tipo impulso (kV)	CFO	Tensión crítica tipo impulso (kV)	CFO
0	76,00	1,00	100,00	117,65	140,00	164,71
100	74,91	0,98	98,00	115,29	137,20	161,41
200	73,98	0,97	97,00	114,12	135,80	159,76
300	73,05	0,96	96,00	112,94	134,40	158,12
400	72,14	0,95	95,00	111,76	133,00	156,47
500	71,24	0,94	94,00	110,59	131,60	154,82
600	70,35	0,92	92,00	108,24	128,80	151,53
700	69,47	0,91	91,00	107,06	127,40	149,88
800	68,61	0,90	90,00	105,88	126,00	148,24
900	67,75	0,89	89,00	104,71	124,60	146,59
1000	66,90	0,88	88,00	103,53	123,20	144,94

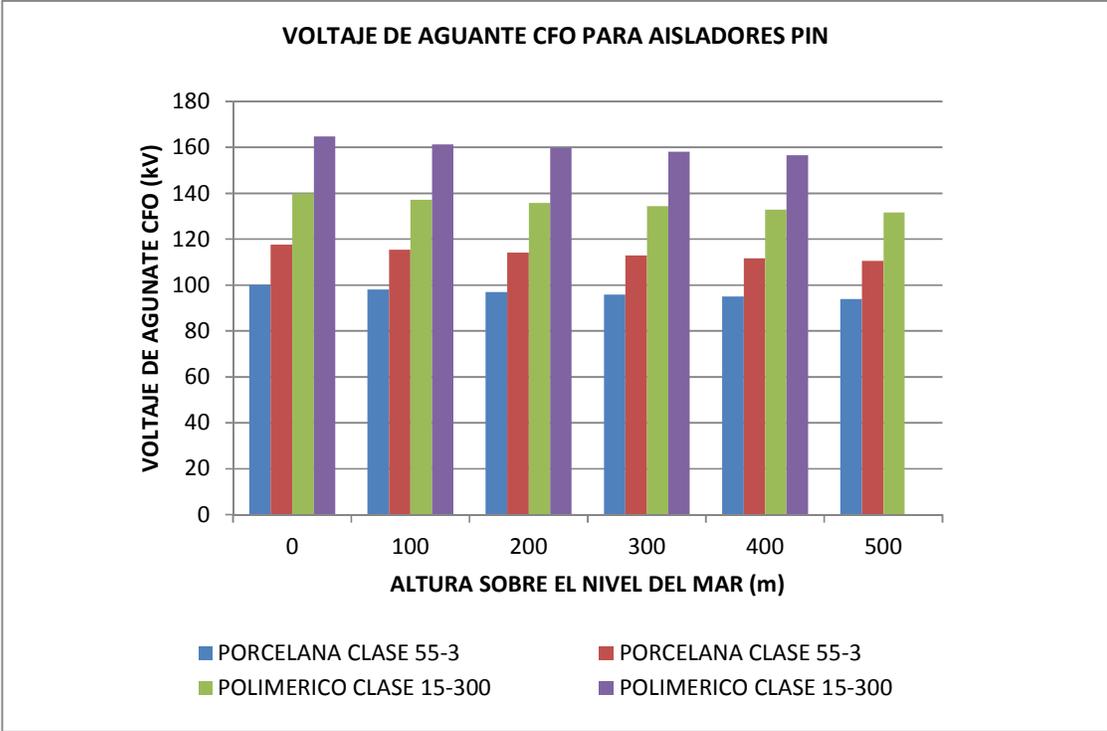


Figura 38. Tensión o voltaje de aguante para aisladores tipo pin

4.4 PROBABILIDAD DE FALLO PARA AISLADORES¹⁴:

La probabilidad que una descarga atmosférica ocasione daño a un aislador puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$Z = X - CFO / 0,05 CFO \quad (5)$$

Donde:

- Z : Probabilidad de fallo
- X : Valor de sobretensión por descarga atmosférica¹⁵
- CFO : Critical Flash Over para descargas atmosféricas

Los resultados se muestran en las tablas 20, 21 y 22 así como también sus respectivos gráficos de barras:

¹⁴ Fuente: (Zapata, 2010, p.49)

¹⁵ Del Código Nacional de Electricidad Suministro-2001, p.61, tabla 124-1 tomamos el valor de 110 kV de nivel de aislamiento al impulso BIL para el nivel de tensión máxima de diseño entre fases de 15Kv.
Disponibile en: <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/compendio/rm366-201.pdf>

Tabla 19
Probabilidades Normal Estándar

z	segundo decimal de z									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-3,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
-3,3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
-3,2	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005
-3,1	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007
-3,0	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010
-2,9	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
-2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
-2,7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
-2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
-2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
-2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
-2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
-2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
-2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
-2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
-1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
-1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
-1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
-1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
-1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
-1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
-1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
-1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
-1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
-1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
-0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
-0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
-0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
-0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
-0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
-0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
-0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
-0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
-0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753

va...

...viene

0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

Fuente: Universitat Oberta de Catalunya UOC, Proyecto e-Math, disponible en:
http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Distrib_Normal.pdf

Tabla 20
Probabilidad de fallo para aisladores de suspensión

Altura h (msnm)	Probabilidades de fallo por descarga atmosférica							
	Aislador de suspensión							
	Porcelana Clase 52-1				Polimérico Clase DS-15			
	Tensión crítica tipo impulso (kV)	CFO	z	Φ %	Tensión crítica tipo impulso (kV)	CFO	z	Φ %
0	100,00	117,65	-1,30	9,68	140,00	164,71	-6,64	-
100	98,00	115,29	-1,08	13,57	137,20	161,41	-6,37	-
200	97,00	114,12	-0,72	23,58	135,80	159,76	-6,23	-
300	96,00	112,94	-0,52	30,50	134,40	158,12	-6,08	-
400	95,00	111,76	-0,31	37,83	133,00	156,47	-5,94	-
500	94,00	110,59	-0,11	46,02	131,60	154,82	-5,79	-
600	92,00	108,24	0,32	62,17	128,80	151,53	-5,48	-
700	91,00	107,06	0,55	70,88	127,40	149,88	-5,32	-
800	90,00	105,88	0,68	75,17	126,00	148,24	-5,16	-
900	89,00	104,70	0,99	83,89	124,60	146,59	-4,99	-
1000	88,00	103,53	1,25	89,44	123,20	144,94	-4,82	-

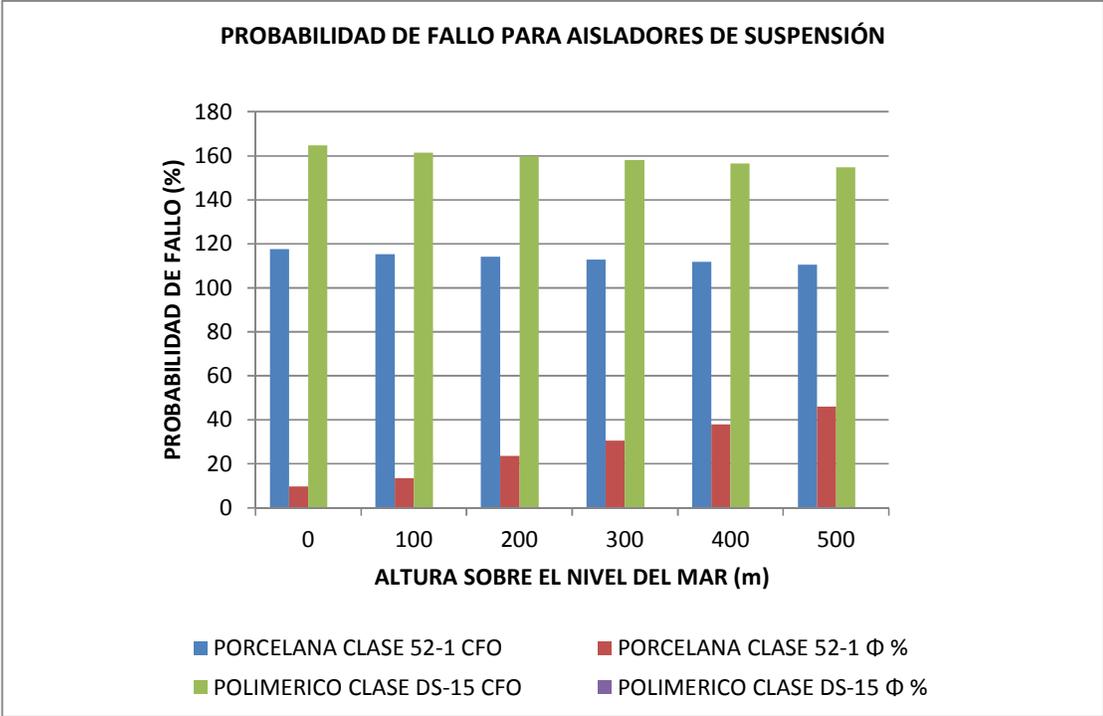


Figura 39. Probabilidad de fallo para aisladores tipo suspensión

Tabla 21
Probabilidad de fallo para aisladores tipo line post

Altura h (msnm)	Probabilidades de fallo por descarga atmosférica							
	Aislador line post							
	Porcelana Clase 57-1				Polimérico Clase 15-355			
	Tensión crítica tipo impulso (kV)	CFO	z	Φ %	Tensión crítica tipo impulso (kV)	CFO	z	Φ %
0	120,00	141,18	-4,42	-	120,00	141,18	-4,42	-
100	117,60	138,35	-4,09	-	117,60	138,35	-4,09	-
200	116,40	136,94	-3,93	-	116,40	136,94	-3,93	-
300	115,20	135,53	-3,76	-	115,20	135,53	-3,76	-
400	114,00	134,12	-3,59	-	114,00	134,12	-3,59	-
500	112,80	132,71	-3,42	0,03	112,80	132,71	-3,42	0,03
600	110,40	129,88	-3,06	0,11	110,40	129,88	-3,06	0,11
700	109,20	128,47	-2,88	0,20	109,20	128,47	-2,88	0,20
800	108,00	127,06	-2,69	0,36	108,00	127,06	-2,69	0,36
900	106,80	125,65	-2,49	0,64	106,80	125,65	-2,49	0,64
1000	105,60	124,24	-2,29	1,10	105,60	124,24	-2,29	1,10

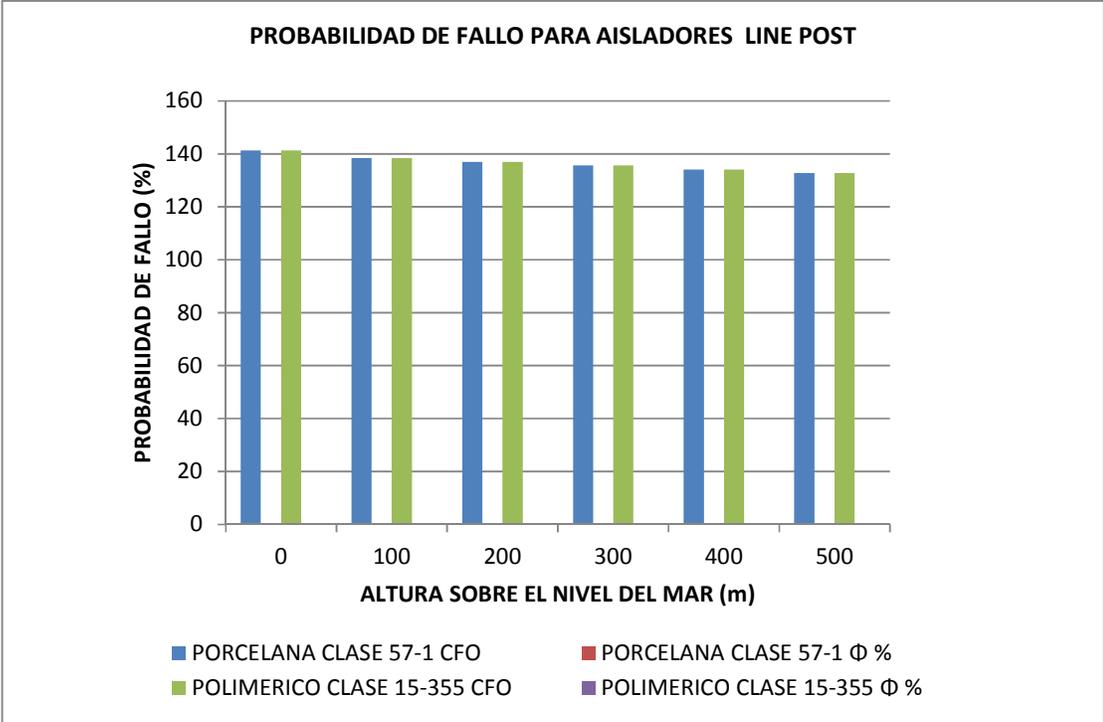


Figura 40. Probabilidad de fallo para aisladores tipo line post

Tabla 22
Probabilidad de fallo para aisladores tipo pin

Altura h (msnm)	Probabilidades de fallo por descarga atmosférica							
	Aislador pin							
	Porcelana Clase 55-3				Polimérico Clase 15-300			
	Tensión crítica tipo impulso (kV)	CFO	z	Φ %	Tensión crítica tipo impulso (kV)	CFO	z	Φ %
0	100,00	117,65	-1,30	9,68	140,00	164,71	-6,64	-
100	98,00	115,29	-1,08	13,57	137,20	161,41	-6,37	-
200	97,00	114,12	-0,72	23,58	135,80	159,76	-6,23	-
300	96,00	112,94	-0,52	30,50	134,40	158,12	-6,08	-
400	95,00	111,76	-0,31	37,83	133,00	156,47	-5,94	-
500	94,00	110,59	-0,11	46,02	131,60	154,82	-5,79	-
600	92,00	108,24	0,32	62,17	128,80	151,53	-5,48	-
700	91,00	107,06	0,55	70,88	127,40	149,88	-5,32	-
800	90,00	105,88	0,68	75,17	126,00	148,24	-5,16	-
900	89,00	104,71	0,99	83,89	124,60	146,59	-4,99	-
1000	88,00	103,53	1,25	89,44	123,20	144,94	-4,82	-

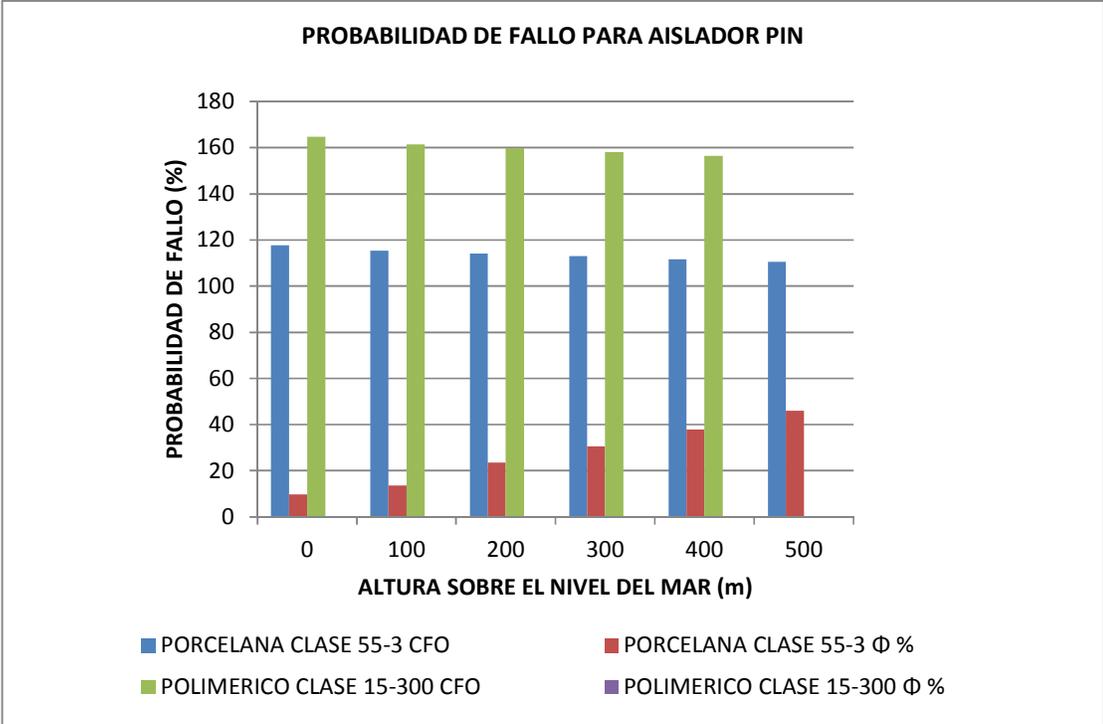


Figura 41. Probabilidad de fallo para aisladores tipo pin

4.5 DEPRECIACIÓN DE UN AISLADOR POLIMÉRICO¹⁶:

4.5.1 Deterioro del aislador:

Las propiedades eléctricas y el comportamiento de los aisladores poliméricos dependen principalmente de las propiedades del material (*Ej. la hidrofobicidad*) y de los cambios de estas propiedades debidos a la exposición a la intemperie (*proceso de envejecimiento*).

Asimismo, dicho comportamiento depende también de un diseño adecuado al reducir el número de interfaces donde se pueden presentar arqueos y donde puede ocurrir una degradación acelerada del material.

El proceso de selección de un aislador polimérico para una aplicación particular debe incluir un análisis de los materiales disponibles, de la experiencia operativa, del dimensionamiento de su longitud y distancia de fuga, de los resultados de pruebas de envejecimiento acelerado y de las condiciones bajo las cuales va a operar.

Los aisladores poliméricos están sujetos a diferentes condiciones ambientales y de contaminación, por lo que el material de las partes internas y de la cubierta debe ser capaz de soportar los efectos de las descargas superficiales producto de la erosión o formación de caminos conductores (*tracking*) y diversos mecanismos de falla que pueden presentarse en campo.

4.5.2 Mecanismos de degradación asociados con la exposición a la intemperie:

Los aisladores poliméricos pueden envejecerse y preservar cambios debido a los múltiples esfuerzos encontrados en servicio, ya que tienen uniones más débiles que los materiales cerámicos.

El envejecimiento y la vida esperada de los aisladores poliméricos dependen de varios factores, muchos de los cuales están asociados con la exposición a la intemperie, mientras que otros están relacionados con las condiciones de operación. Aunque el exponerse a los elementos naturales ha demostrado que envejece los materiales, existe una gran experiencia que sugiere que la vida del aislador está más relacionada con diseños de pobre desempeño y un mal control de calidad durante el proceso de fabricación.

El envejecimiento se refiere al proceso que causa la falla del aislador para poder cumplir con su función. Dependiendo de los materiales utilizados en los aisladores, de su diseño y de las condiciones ambientales, se pueden generar diferentes mecanismos de degradación que pueden provocar la falla del aislador, algunos de estos mecanismos son:

¹⁶ Fuente: (Industria Eléctrica, 2015) disponible en: http://www.dirind.com/die/monografia.php?cla_id=5

- Formación de caminos conductores sobre la superficie del material aislante.
- Aparición de partículas de relleno en la superficie aislante.
- Cambios en el color base del material aislante.
- Rompimiento del material no cerámico como resultado de la exposición a altos niveles de energía UV asociada con la presencia de corona.
- Corrosión de las partes metálicas debido a la reacción química con el ambiente.
- Microfracturas superficiales con profundidades entre 0,01 y 0,1 mm.
- Pérdida significativa del material aislante, irreversible y no conductora (*erosión*).
- Exposición de la barra de fibra de vidrio al ambiente.
- Fracturas superficiales con profundidad mayor a 0,1 mm.
- Fuga de grasa de las interfaces faldón-cubierta o faldón-núcleo hacia la superficie.
- Penetración de agua (*hidrólisis*) en forma líquida o vapor, causando el ablandamiento de cubierta o faldones.
- Pérdidas de hidrofobicidad.
- Daños por arco de potencia.
- Daños por perforación.
- Separación o apertura del material aislante.
- Daños por vandalismo.

4.5.3 Cálculo de la depreciación de un aislador de suspensión polimérico usando el método de línea recta¹⁷:

Utilizamos la siguiente fórmula:

$$\mathbf{D.M.L.R = ID / VU} \quad \mathbf{(6)}$$

Donde:

- D.M.L.R : Depreciación Método de Línea Recta
- ID : Importe Depreciable
- VU : Vida Util (*Para nuestro caso 10 años*)

$$\mathbf{ID = CH - VR} \quad \mathbf{(7)}$$

¹⁷ Fuente: (FacilContabilidad, 2012) disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=8lSqGL98dbA>

Donde:

CH : Costo Histórico (*En este costo se incluyen el precio de compra del activo fijo, en este caso el aislador y los accesorios, los aranceles no recuperables y otros gastos necesarios para que el aislador se encuentre funcionando, para nuestro caso consideramos S/.100*)

VR : Valor Residual (*Es la reserva del activo después de terminar su vida útil, se estima contablemente y muchas veces se asume en 10% del valor del costo histórico para nuestro caso consideramos S/.10*)

Reemplazando datos, los resultados los mostramos en la tabla 23 así como también la gráfica respectiva:

Tabla 23
Depreciación de un aislador de suspensión polimérico método de línea recta

Nº Períodos	Concepto Depreciación activo fijo	Dep. Anual	Dep. Acumulada	Importe en libros (100-9)
1	Año 1	9	9	91
2	Año 2	9	18	82
3	Año 3	9	27	73
4	Año 4	9	36	64
5	Año 5	9	45	55
6	Año 6	9	54	46
7	Año 7	9	63	37
8	Año 8	9	72	28
9	Año 9	9	81	19
10	Año 10	9	90 (ID)	10 (VR)

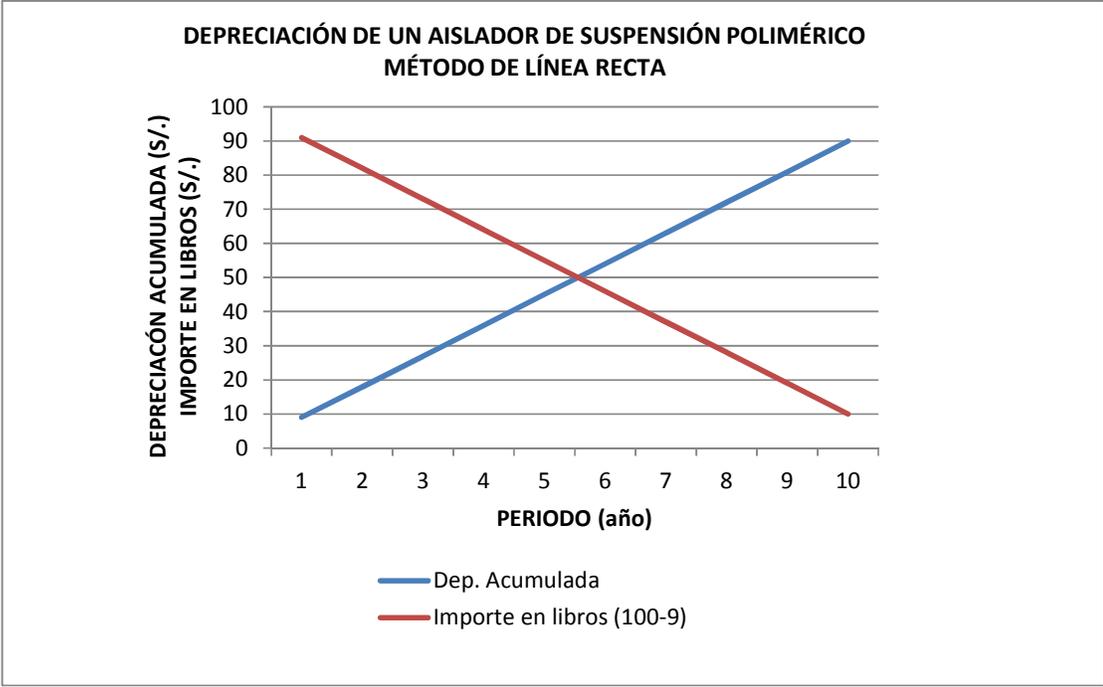


Figura 42. Depreciación de un aislador de suspensión polimérico método de línea recta

CAPITULO V
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 CONCLUSIONES:

Después de analizar los resultados y fundamentos teóricos se concluye lo siguiente:

1. El nivel de aislamiento disminuye entre 0,5 y 1,0 kV al aumentar la altitud en intervalos de 100 m sobre el nivel del mar por lo tanto es primordial mejorar esto mediante el aumento de la línea de fuga, esto se consigue aumentando el número de aisladores si se trata de una cadena de suspensión y para el caso de los otros tipos de aisladores seleccionando un aislador de la clase inmediata superior hasta lograr el nivel requerido, incluso es factible usar algún aislador especificado para un nivel de tensión superior como 25 kV o 36 kV si fuera necesario.
2. La tensión o voltaje de aguante CFO para un aislador sigue una distribución probabilística normal y este valor disminuye entre 1,0 a 2,0 kV al aumentar la altitud en intervalos de 100 m sobre el nivel del mar, aumentando por lo tanto la probabilidad de fallo por descarga atmosférica en el aislador, pero aún con esta tendencia solo en el caso del aislador de suspensión de procelana mostrado en la tabla 20 tenemos una probabilidad de fallo de 9,68% a nivel del mar lo cual se disminuye aumentando otra unidad reduciendo esta probabilidad en 50% osea 4,84% lo cual es un valor aceptable. Para otras probabilidades de fallo de valores altos se puede aumentar la longitud de la cadena o seleccionar unidades de una clase superior. Para los otros tipos de aisladores y altitudes la probabilidad de fallo varía entre 0% y 1% lo cual se ha considerado despreciable. Con estos resultados comprobamos el amortiguamiento fuerte de los aisladores para sobretensiones por descargas atmosféricas anómalas o fortuitas precedidas por lluvias que se pudieran presentar debido al Fenómeno del Niño en Chimbote y en la costa peruana en general.
3. La vida útil de los aisladores está en función de las condiciones de operación como la tensión nominal, tensión máxima, las sobretensiones y la contaminación ambiental. La experiencia práctica y el seguimiento hecho en el año 2014 al AMT Libertad 13,2 kV en la ciudad de Chimbote nos demuestran que los años de vida útil real difieren hasta en 50% del valor de vida útil proporcionado por el fabricante, esto plantea un problema relacionado con el mantenimiento de los mismos.

5.2 RECOMENDACIONES:

Después de analizar los resultados y conclusiones se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Según los fundamentos teóricos y la experiencia práctica los contaminantes producen en el aislador: Excesiva corriente de fuga, flameos continuos, perforación y corrosión. Este último factor también tiene influencia directa en fallas y disminución de la vida útil del mismo, motivo por el cual se recomienda tomar medidas de control para disminuir sus efectos a través del mantenimiento predictivo y preventivo.
2. La hidrofobicidad es una propiedad fundamental de los aisladores poliméricos y esto hace que se recomiende su uso en alimentadores ubicados en zonas con alto grado de contaminación ambiental como es la ciudad de Chimbote, esto se corrobora con la experiencia de la Empresa Concesionaria del Servicio Público de Energía Eléctrica Hidrandina S.A cuya tendencia es la sustitución total de aisladores cerámicos por poliméricos para las zonas en mención con el agregado de solo necesitar un mantenimiento mínimo.
3. El Fenómeno del Niño tiene una periodicidad entre 2 a 7 años entonces los aisladores soportarán durante su vida útil 2 posibles eventos anómalos de caída de rayos precedidos de lluvia en temporadas del Fenómeno del Niño por lo tanto se debería evaluar la instalación de descargadores de tensión en algunos puntos vulnerables como son los transformadores de distribución por ser estos un activo importante dentro del sistema de los alimentadores que debemos proteger dada su vulnerabilidad a cortocircuitos e incendios durante estos eventos además de proteger la vida y seguridad de las personas.

Referencias Bibliográficas

- Endesa S.A. (2008). *Especificación Técnica: Aisladores de porcelana, vidrio y poliméricos para redes de media tensión*. Recuperado el 15 de 09 de 2015, de https://www.ampla.com/media/339146/e-mt-011_2008%20r-02.pdf
- FacilContabilidad. (15 de 07 de 2012). *facilcontabilidad.com*. Recuperado el 02 de 11 de 2015, de <https://www.youtube.com/watch?v=8lSqGL98dbA>
- Franco Tinoco, S. (2002). *Contaminación por salinidad en líneas de transmisión cercanas a la costa*. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Fulchiron, D. (1994). *Cuaderno Técnico No 151: Sobretensiones y coordinación de aislamiento*. Barcelona: Schneider Electric.
- Fulchiron, D. (2002). *Cuaderno Técnico No 203: Elección de parámetros fundamentales en las redes de MT de distribución pública*. Barcelona: Schneider Electric.
- Industria Eléctrica. (2015). *Aislamiento en líneas de transmisión aéreas*. Recuperado el 03 de 10 de 2015, de http://www.dirind.com/die/monografia.php?cla_id=5
- Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad. (2001). *Código Nacional de Electricidad-Suministro*. Lima.
- Rodríguez Hinojosa, J. (2010). *Aspectos técnicos relevantes en el desarrollo de proyectos de electrificación rural - Curso de actualización profesional*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Zapata, C. (2010). *Análisis probabilístico y simulación* (1 ed.). Pereira: Grupo de investigación en planeamiento de sistemas eléctricos, Universidad de Pereira.

ANEXOS