

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS EN EL
DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

DIEGO MAURICIO TAUTA RUA

ING. ELECTRICISTA

d.tautaru@pascualbravo.edu.co

DANIELA RENDÓN RAMOS

d.rendon@pascualbravo.edu.co

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Medellín

2018

Evaluación del impacto de las variables meteorológicas en el diseño de líneas de transmisión

DANIELA RENDÓN RAMOS

Trabajo de grado para optar al título de:

Ingeniero Electricista

Asesor

DIEGO MAURICIO TAUTA RUA

ING. ELECTRICISTA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

MEDELLÍN

2018

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín,

DEDICATORIA

Primeramente dedico esta tesis a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desfallecer ante los baches y percances en el camino, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Y a mi familia por su acompañamiento durante cada paso de mi carrera, en especial en esta última etapa de arduo trabajo e innumerables sacrificios en los que constantemente estuvieron brindándome apoyo incondicional y las fuerzas necesarias para alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero y profesor Diego Mauricio Tauta, por su constante apoyo, dedicación y contribución gracias a su amplio conocimiento

A la Institución Universitaria Pascual Bravo por brindarme la oportunidad de formarme como un profesional íntegro y capacitado para el mundo laboral.

A todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en el desarrollo de este proceso.

Contenido

Indice de ilustraciones	8
Resumen	9
Introducción.....	10
1. Marco teórico	14
1.1 Variables meteorológicas.....	14
1.2 Temperatura	14
1.2.3 Variaciones de temperatura:	15
1.3 La presión atmosférica.....	19
1.4 El viento.....	21
1.4.1 Velocidad del viento.....	21
1.4.2 La dirección del viento	22
1.4.5. Medida del viento.....	23
1.5. La radiación solar	23
1.6. La humedad	24
1.7 La precipitación o nivel pluviométricos	26
1.7.1 Efecto de la lluvia en las líneas	27
1.9 Nivel cerámico y densidad de descargas a tierra (ddt)	28
2. Análisis y resultados.....	32

2.1	Influencia de la temperatura ambiente en el comportamiento de las líneas de transmisión	32
2.2	Influencia de la radiación solar en el comportamiento de las líneas de transmisión	34
2.3	Influencia de la velocidad del viento en la capacidad de corriente de la línea de transmisión	36
2.4	Influencia del nivel de descargas a tierra (ddt) en el comportamiento del aislamiento de la línea de transmisión	38
2.5	Influencia de la velocidad del viento en el diseño mecánico de las líneas de transmisión	43
2.6	Influencia de la presión atmosférica en el efecto corona y el aislamiento	46
3.	Conclusiones	52
4.	53
5.	Recomendaciones	54
6.	Bibliografía.....	55

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 corriente en el conductor considerando las temperaturas 50, 75 y 100°C (Bustamante, 2014).....	19
Ilustración 2 Comportamiento de los cables con respecto a la temperatura ambiente	33
Ilustración 3 comportamiento del cable según la radiación solar.....	35
Ilustración 4 comportamiento del cable según el viento	37
Ilustración 5 variación estimada de las salidas de la línea por cada 1000km años, respecto al GFD	40
Ilustración 6 Longitud de aisladores por cantidad de densidad de descargas	41
Ilustración 7 tasa de flameo vs longitud de aislador con GFD constante.....	42
Ilustración 8 comportamiento en la torre de suspensión, con respecto al cambio de velocidad en el viento	43
Ilustración 9 comportamiento en la torre de retención, con respecto al cambio de la velocidad del viento.....	44
Ilustración 10 comportamiento del efecto corona con respecto a la altitud	47
Ilustración 11 comportamiento de la distancia de fuga en los aisladores con respecto la altitud	49
Ilustración 12 comportamiento en la distancia de arco seco en el diseño de aislamiento para sobretensiones a frecuencia industrial, con respecto la altitud	50
Ilustración 13 comportamiento en la distancia de arco seco para el diseño de aislamiento en sobretensiones de frente lento.....	51

RESUMEN

En este trabajo se busca saber cuáles son las variables meteorológicas que afectan en gran medida las líneas de transmisión en diferentes partes del mundo, para ahorrar tiempo en la ejecución de proyectos de diseño de líneas de transmisión

Se realizó con el fin de saber qué posibilidades hay para realizar un mapa que geo referencie las variables meteorológicas con mayor impacto en Colombia y optimizar tiempos en el desarrollo de los diseños de líneas de transmisión y que dé como resultado la orientación de los lugares por los cuales se debe trazar la línea de transmisión, si la necesidad de que el ingeniero diseñador busque nuevamente la misma información cada vez que se vaya a realizar un proyecto

INTRODUCCIÓN

Una línea de transmisión eléctrica es el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión y distribución de la energía eléctrica, la cual está constituida por: conductores, estructuras de soporte, aisladores, accesorios de ajustes entre aisladores y estructuras de soporte, y cables de guarda, los cuales se encuentran constantemente sometidos a diferentes tipos de variables meteorológicas.

Las líneas de transmisión son uno de los componentes más importantes de un sistema eléctrico de potencia debido a que cumplen con la función de interconectar y transportar la energía eléctrica a lo largo del país entre sus diferentes plantas de generación y las subestaciones, para satisfacer la demanda eléctrica del país, las cuales están constituidas por conductores, estructuras de soporte, aisladores, accesorios de ajustes entre aisladores y estructuras de soporte, y cables de guarda, los cuales se encuentran constantemente sometidos a diferentes tipos de variables meteorológicas.

(Alida Carolyn Bustillos Ramirez, Víctor Jesús Pérez Lisboa , 2015)

El diseño de los sistemas de transmisión depende en gran medida de las variables meteorológicas, ambientales y geográficas que se encuentran presentes en el lugar donde se proyecta el diseño o construcción de la línea de transmisión. La importancia de lo antes mencionado radica en que el comportamiento de la línea puede variar según las características o factores en que se encuentra inmersa, así, por ejemplo, las pérdidas de energía que presente la línea por Joule serán proporcionales a la resistencia y esta a su vez será proporcional a la temperatura del sistema, y esta dependerá de características asociadas a su localización. (Murillo, 2006)

Las variables meteorológicas están constituidas por la temperatura, las precipitaciones, la presión barométrica, la humedad, y la velocidad y dirección del viento, son mediciones importantes para el monitoreo meteorológico de la línea de transmisión. Estos datos entregan información a los operadores sobre las condiciones meteorológicas en ubicaciones estratégicas en las líneas. Ya sea una estación meteorológica completa o simples sensores ubicados en puntos a lo largo de las líneas de transmisión

Los parámetros meteorológicos en los sistemas de transmisión operan con límites de carga basados principalmente en las condiciones climáticas en la zona donde se ubica la línea. En particular para el cálculo de la capacidad de transmisión dinámica, estas condiciones deben ser medidas en ubicaciones de tal forma que los resultados sean representativos de la zona en cuestión. (LIZANA, 2011)

Los parámetros meteorológicos medidos dentro de un diseño de línea de transmisión, los cuales son, la intensidad solar, la temperatura ambiente y la velocidad del viento, no son totalmente independientes. Si la intensidad solar aumenta, la temperatura del conductor aumentará, así como la temperatura ambiente. La insolación que calienta el suelo y el aire provoca inestabilidad en la capa límite atmosférico que genera movimientos de aire (viento). Lo que esto significa en la práctica para el análisis en los diseños de líneas de transmisión es que a menudo es difícil encontrar períodos en los que sólo un parámetro está cambiando. (Lindberg, 2011)

En las temperaturas ambiente se presentan variaciones en la longitud y cambios de presión en los conductores por los cambios de temperatura, estos deben evaluarse para las cargas mecánicas y las distancias mínimas de conductor a tierra, es uno de los

parámetros meteorológicos del cual se cuenta con mayor número de estaciones. (Jorge Wilson Gomez, Carlos Alberto Ortiz, Hugo Alberto Cardona, Idi Amin Isaac, 2006)

La temperatura produce dilataciones o contracciones de los conductores, resultante en reducciones de las distancias de seguridad de las líneas o incrementos en de la tensión en los conductores.

La velocidad de viento como variable aleatoria, debe ser evaluada mediante procedimientos probabilísticos, ya que el viento produce presiones sobre los cables, estructuras y cadena de aisladores.

Actualmente Colombia no posee un mapa o referencia que geo posicione los parámetros ambientales y las variables meteorológicas y que permita al ingeniero proyectista o diseñador de la línea de transmisión determinar de manera rápida y eficiente las zonas más adecuadas para desarrollar la línea de transmisión

Las variables meteorológicas como las características del viento, la temperatura del ambiente y sus fluctuaciones, etc. Tienen una incidencia directa en los cálculos mecánicos y eléctricos en líneas de transmisión, por lo que el ingeniero proyectista en busca de optimizar el diseño y con esto los costos resultantes del proyecto, debe seleccionar los parámetros que conciernen a estas variables de forma adecuada para de manera óptima cumpla las exigencias eléctricas y mecánicas al menor costo posible y con los menores riesgos de operación para el proyecto de transmisión.

Aunque en varios países se tienen mapas geográficos que definen las franjas por las que se deben de construir las líneas de transmisión, con el fin de aprovechar las

mejores condiciones ambientales, geografías y meteorologías, reduciendo los tiempos de diseño y optimizando los resultados, en Colombia no se tienen una herramienta que se sirva para este fin.

Así, los ingenieros proyectistas o diseñadores, en Colombia definen el trazado de la línea de transmisión según el plan de ordenamiento territorial existente y acomoda los cálculos a las características de la zona que por obligación debió de utilizar.

En algunos países como Perú, Ecuador, Estados Unidos, entre otros. Se cuenta con una herramienta cartográfica que permite al ingeniero diseñador de líneas de transmisión, determinar por qué lugares realizara el trazado de las mismas, para usar las zonas que presenten las condiciones técnicas y económicas con un mejor comportamiento desde el punto de vista de las variables meteorológicas y la incidencia que estas tienen en el transporte de energía eléctrica

Este trabajo buscó recopilar información acerca de las diferentes variables que tienen un impacto significativo a la hora de realizar un diseño de transmisión según en la zona en que se vaya a desarrollar el proyecto, con miras a minimizar tiempos de diseño diseños más eficientes y optimizar los elementos del proyecto los cuales buscan disminuir costos en los proyectos

1. MARCO TEÓRICO

1.1 VARIABLES METEOROLÓGICAS

1.2 TEMPERATURA

Es de todo conocido que la temperatura es una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la atmósfera. De hecho, la información meteorológica que aparece en los medios de comunicación casi siempre incluye un apartado dedicado a las temperaturas: se sabe que la temperatura del aire varía entre el día y la noche, entre una estación y otra, y también entre una ubicación geográfica y otra. En invierno puede llegar a estar bajo los 0° C y en verano superar los 40° C.

Formalmente, la temperatura es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presente éstas, mayor será la temperatura.

Existen factores que influyen en la determinación de la temperatura del aire, como la existencia de viento que renueve constantemente el aire de un lugar, o la presencia de humedad. (Rosa María Rodríguez Jiménez, 2004)

1.2.3 VARIACIONES DE TEMPERATURA:

La cantidad de energía solar recibida, en cualquier región del planeta, varía con la hora del día, con la estación del año y con la latitud. Estas diferencias de radiación originan las variaciones de temperatura. Por otro lado, la temperatura puede variar sobre el nivel del mar. Ejercen influencia sobre la temperatura: La variación diurna, distribución latitudinal, variación estacional, tipos de superficie terrestre y la variación con la altura.

Variación diurna: Se define como el cambio en la temperatura, entre el día y la noche, producido por la rotación de la tierra

Variación de la temperatura con la latitud: En este caso se produce una distribución natural de la temperatura sobre la esfera terrestre, debido a que el ángulo de incidencia de los rayos solares varía con la latitud geográfica.

La distribución de continentes y océanos produce un efecto muy importante en la variación de temperatura.

Al establecerse diferentes capacidades de absorción y emisión de radiación entre tierra y agua (capacidad calorífica), se puede decir que las variaciones de temperatura sobre las áreas de agua experimentan menores amplitudes que sobre las sólidas.

Sobre los continentes, se debe resaltar el hecho de que existen diferentes tipos de suelos en cuanto a sus características: desérticos, selváticos, cubiertos de nieve, etc. Tal es así que, por ejemplo, suelos muy húmedos, como pantanos o ciénagas, actúan en forma

similar a las superficies de agua, atenuando considerablemente las variaciones de temperatura.

También la vegetación espesa tiende a atenuar los cambios de temperatura, debido a que contiene bastante agua, actuando como un aislante para la transferencia de calor entre la Tierra y la atmósfera.

Por otro lado, las regiones desérticas o áridas permiten grandes variaciones en la temperatura. Esta influencia climática tiene a su vez su propia variación diurna y estacional.

Como ejemplo ilustrativo de este hecho se puede citar que una diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas puede ser de 10° C, o menos, sobre agua, o suelos pantanosos o inundados, mientras que diferencias de hasta 40° C, o más, son posibles sobre suelos rocosos o desiertos de arena. (JUAN, 2004)

El viento es un factor muy importante en la variación de la temperatura. Por ejemplo, en áreas donde los vientos proceden predominantemente de zonas húmedas u oceánicas, la amplitud de temperatura es generalmente pequeña; por otro lado, se observan cambios pronunciados cuando los vientos prevalecientes soplan de regiones áridas, desérticas o continentales.

A este incremento de la temperatura con la altura se la denomina inversión de temperatura. Una inversión de temperatura se puede desarrollar a menudo en las capas de la atmósfera que están en contacto con la superficie terrestre, durante noches despejadas y frías, y en condiciones de calma o de vientos muy suaves.

Superada esta capa de inversión térmica, la temperatura comienza a disminuir nuevamente con la altura, restableciéndose las condiciones normales en la troposfera. Puede ocurrir que se produzcan inversiones térmicas, en distintos niveles de altura de la troposfera inferior o media. Esto se debe, fundamentalmente, al ingreso de aire caliente en algunas capas determinadas, debido a la presencia de alguna zona frontal. En términos generales, la temperatura decrece a lo largo de toda la troposfera, hasta alcanzar la región llamada estratosfera (variable con la latitud y la época del año), donde la temperatura no decrece si no que permanece aproximadamente constante o, inclusive, aumenta con la altura. La zona de transición entre la troposfera y la estratosfera recibe el nombre de tropopausa

(JUAN, 2004)

Las mediciones de la temperatura se basan en las propiedades de la materia que se ven alteradas cuando ésta cambia: la resistencia eléctrica de algunos materiales, el volumen de un cuerpo, el color de un objeto, etc. El instrumento que se utiliza para medir la temperatura se llama termómetro y fue inventado por Galileo en 1593. Hay muchos tipos distintos de termómetros. El modelo más sencillo consiste en un tubo graduado de vidrio con un líquido en su interior que puede ser, por ejemplo, alcohol o mercurio. Como estos líquidos se expanden más que el vidrio, cuando aumenta la temperatura, asciende por el tubo y cuando disminuye la temperatura se contrae y desciende por el tubo. (Rosa María Rodríguez Jiménez, 2004)

El cambio de cualquier dimensión lineal de un sólido tal como su longitud, alto o ancho, producido al aumentar su temperatura y se denomina dilatación. Generalmente se

observa la dilatación lineal al tomar un trozo de material en forma de barra o alambre de pequeña sección, sometido a un cambio de temperatura, el aumento que experimentan las otras dimensiones son despreciables frente a la longitud. (CORACE, 2005)

En los conductores se presentan variaciones en la longitud y cambios de tensión ocasionado por fluctuaciones en la temperatura, cambios que deben ser considerados para evaluar la carga mecánica sobre las estructuras y las distancias mínimas entre los conductores y la tierra (Jorge Wilson Gónzales, 2005)

En general, la máxima transferencia de energía por un conductor se obtiene mediante la determinación de la relación corriente-temperatura, llamada límite térmico definido por (IEEE Std 738, 2002) como temperatura máxima permisible del conductor o límite de temperatura máxima del conductor que se selecciona con el fin de minimizar la pérdida de resistencia del conductor, y que limita el hundimiento o flecha para mantener unos espacios de seguridad eléctricos a lo largo de la línea.

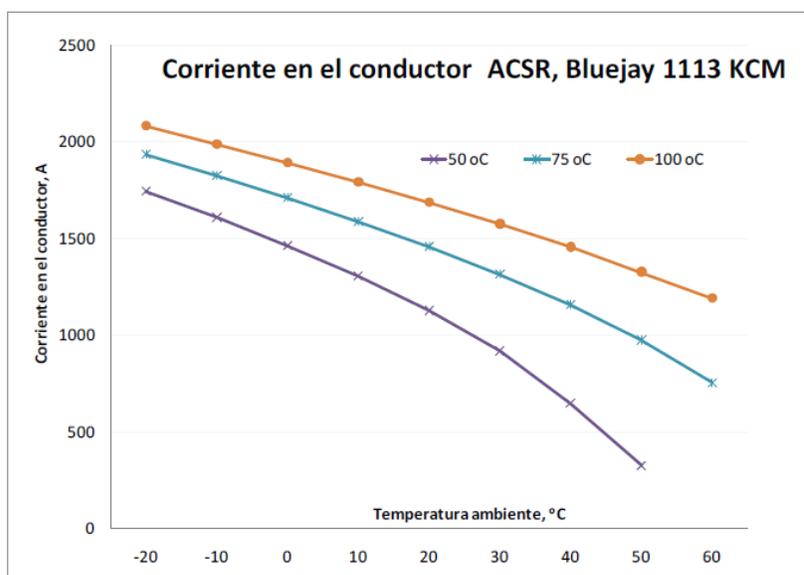


Ilustración 1 corriente en el conductor considerando las temperaturas 50, 75 y 100°C **(Bustamante, 2014)**

En la figura 1 se muestra el comportamiento de la corriente a través de un conductor Bluejay, calibre 1113 KCM considerando las temperaturas de operación del conductor de 50 °C 75 °C y 100 °C ante variaciones de la temperatura ambiente, esto partiendo de la temperatura que el diseñador de la línea de transmisión ponga como condición de operación para los conductores; se observa que al incrementarse la temperatura ambiente disminuye la capacidad para transmitir corriente por el conductor. Así, considerando un incremento de temperatura ambiente de 0 °C a 50 °C, la capacidad del conductor para transmitir corriente disminuye de 1711 a 978 A (733 A).
(Bustamante, 2014)

1.3 LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

El aire, aunque no se note, pesa y, por tanto, ejerce una fuerza sobre todos los cuerpos debida a la acción de la gravedad. Esta fuerza por unidad de superficie es la denominada presión atmosférica, cuya unidad de medida en el Sistema Internacional es el Pascal

La presión atmosférica depende de muchas variables, sobre todo de la altitud. Cuanto más arriba se encuentre la atmosfera, la cantidad de aire por encima será menor, lo que hará que también sea menor la presión que éste ejerza sobre un cuerpo ubicado allí

Pero la presión atmosférica, además de la altitud, depende de muchas otras variables. La situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas son sus principales condicionantes. Precisamente la relación que existe entre la presión atmosférica y el tiempo en un lugar (Rosa María Rodríguez Jiménez, 2004)

Existen muy diversas unidades de medida de la presión atmosférica. Las más comunes son: atmósferas, mm de mercurio, pascales, hectopascales y milibares. La conversión entre unas y otras puede realizarse teniendo en cuenta que: 1 atmósfera = 760 mmHg = 101300 N/m² (o Pa)= 1013 mb (o hPa). (**Jiménez, Rosa María Rodríguez, 2004**)

El efecto corona es un fenómeno que se debe a que el aire que rodea al conductor energizado se ioniza y se va perdiendo poder aislante, con lo cual se favorece la fuga de electrones del conductor hacia el aire. Estas fugas de electrones a medida que crecen se van manifestando en ruido y luego en una aureola luminosa; en general este efecto ocasiona pérdidas de energía eléctrica, ruido y puede afectar el bienestar de las personas (**Jorge Wilson Gónzales, 2005**)

El efecto corona es función de dos elementos: el gradiente potencial en la superficie del conductor y la rigidez dieléctrica del aire en la superficie, valor que a su vez depende de la presión atmosférica y la temperatura. (**UCSA**)

1.4 EL VIENTO

Se denomina viento al flujo de gases a gran escala que es resultado de grandes corrientes de convección en la atmósfera de la Tierra, impulsadas por la energía térmica solar. Las diferencias en la presión atmosférica causan vientos de variadas velocidades, pues cuando existe algún cambio en tal presión, el aire se mueve desde la zona de presión más alta hacia la más baja (JUAN, 2004)

En la atmósfera, existe una relación directa entre presión y viento, lo que hace que los mapas de isobaras, que representan los valores de la presión atmosférica, contengan amplia información sobre la velocidad y dirección del viento

En el caso de que sea una diferencia térmica el origen del viento, lo que ocurre es que cuando una masa de aire adquiere una temperatura superior a la de su entorno, su volumen aumenta, lo cual hace disminuir su densidad. Por efecto de la flotación, la masa de aire caliente ascenderá, y su lugar será ocupado por otras masas de aire, que en su desplazamiento ocasionarán el viento (**Jiménez, Rosa María Rodríguez, 2004**)

1.4.1 VELOCIDAD DEL VIENTO

El viento produce energía porque está siempre en movimiento. Se estima que la energía contenida en los vientos es aproximadamente el 2% del total de la energía solar que alcanza la tierra. El contenido energético del viento depende de su velocidad

Cerca del suelo, la velocidad es baja, aumentando rápidamente con la altura. Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará ésta al viento. Es por ello que sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y más sobre las colinas. No obstante, el viento sopla con más fuerza sobre el mar que en la tierra (**Jiménez, Rosa María Rodríguez, 2004**)

1.4.2 LA DIRECCIÓN DEL VIENTO

Los vientos son nombrados en relación con las direcciones en las que soplan. Así se habla de vientos del Oeste, vientos del Este, vientos del Nordeste, etc. La dirección del viento depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se desplaza de los centros de alta presión (anticiclones) y su fuerza es se desplaza de los centros de alta presión (anticiclones) y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones

La determinación de la dirección y velocidad del viento se realiza a partir del estudio de la distribución de la presión atmosférica en la geografía terrestre, es decir a partir de los mapas isobáricos, donde existen dos principios generales (JUAN, 2004)

- El viento va siempre desde los anticiclones a las borrascas
- Su velocidad se calcula en función de los juntas o separadas que estén las isobaras en el mapa. Cuantas más juntas están las isobaras, más fuerza tendrá el viento y cuanto más separadas, menos
- Del interior y caracterizado por su extrema sequedad y altas temperatura

1.4.5. MEDIDA DEL VIENTO

Para poder disponer de medidas directas de velocidad y dirección del viento, los meteorólogos utilizan distintos instrumentos de medida: a) Medida de la velocidad horizontal del viento: el instrumento más utilizado es el anemómetro de cazoletas en el que el giro de las mismas es proporcional a la velocidad del viento. La unidad de medida es el km/h o el m/s. b) Medida de la dirección: para ello se utilizan las veletas, que indican la procedencia geográfica del viento. Hablamos de viento norte, noreste, suroeste, etc. en función de dónde provenga éste.

La presión dinámica ejercida por el viento sobre un conductor puede originar sobrecargas o vibraciones que son transmitidas a los apoyos, representando para estos mayores esfuerzos mecánicos. Estas sobrecargas también pueden ser obtenidas directamente sobre los apoyos, cuando el viento en alguna de sus manifestaciones (brisa, ventarrón, huracán o tornado) impacta directamente sobre el elemento. **(Rios, 2001)**

El viento, tienen efectos considerables en la capacidad térmica de los conductores aéreos desnudos. El viento provee enfriamiento y actúa principalmente en las pérdidas de calor por convección del aire circundante. El enfriamiento que produce el viento depende de la temperatura del aire, la velocidad y dirección. **(Letona E. R., 2006)**

1.5. LA RADIACIÓN SOLAR

La energía transferida por el Sol a la Tierra es lo que se conoce como energía radiante o radiación. Ésta viaja a través del espacio en forma de ondas que llevan

asociada una determinada cantidad de energía. Según lo energéticas que sean estas ondas se clasifican en lo que se conoce como el espectro electromagnético

Las ondas más energéticas son las correspondientes al rango del ultravioleta, seguidas por la luz visible, infrarroja y así hasta las menos energéticas que corresponden a las ondas de radio.

La gran mayoría de la radiación solar es absorbida por la superficie terrestre (51%), sólo el 19% de ella es absorbida directamente por los componentes atmosféricos y las nubes y el 30% es reflejado por la superficie, las nubes, los gases y partículas de la atmósfera.

La radiación solar sobre un conductor provoca una ganancia de calor en la línea de transmisión la cual dependerá del diámetro del conductor, coeficiente de absorción, altitud, la posición relativa del sol hacia el conductor. **(Edmundo Javier Chamorro Quitama, Braulio David Muyulema Masaquiz, 2010)**

1.6. LA HUMEDAD

El agua es uno de los principales componentes de la atmósfera, en la que puede existir como gas, como líquido, y como sólido. La presencia del agua en los tres estados de agregación se debe a que las condiciones físicas (temperatura y presión) necesarias para que se produzcan dichos cambios de estado se dan normalmente en la atmósfera.

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Esa cantidad no es constante, sino que dependerá de diversos factores, como si ha llovido recientemente,

si se está cerca del mar, si hay plantas, etc. Existen diversas maneras de referirnos al contenido de humedad en la atmósfera (Rosa María Rodríguez Jiménez, 2004)

- Humedad absoluta: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1m³ de aire seco.
- Humedad específica: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1 kg de aire.
- Razón de mezcla: masa de vapor de agua, en gramos, que hay en 1 kg de aire seco.
- Humedad relativa: Es la cantidad de masa de vapor de agua contenida en una unidad de volumen de aire, se mide en gm³, Por tanto, la humedad absoluta constituye la densidad del vapor de agua existente en el aire. Valores máximos de U son del orden de 40 gm³

Medida de la humedad

La humedad se suele medir mediante un instrumento denominado psicrómetro. Este consiste en dos termómetros iguales, uno de los cuales, llamado “termómetro seco”, sirve sencillamente para obtener la temperatura del aire. El otro, llamado “termómetro húmedo”, tiene el depósito recubierto con una telilla humedecida por medio de una mecha que la pone en contacto con un depósito de agua

A medida que la superficie del aislador gana humedad, disminuye su resistencia eléctrica y se presentan pequeñas corrientes intermitentes que circulan por las partículas de agua. La disipación de energía aumenta la temperatura y esta a su vez disminuye la

resistencia del aislador, ocasionando pérdidas de la capacidad aislante del material
(GAMMA, 2011)

1.7 LA PRECIPITACIÓN O NIVEL PLUVIOMÉTRICOS

A medida que la superficie del aislador gana humedad, disminuye su resistencia eléctrica y se presentan pequeñas corrientes intermitentes que circulan por las partículas de agua. La disipación de energía aumenta la temperatura y esta a su vez disminuye la resistencia del aislador, ocasionando pérdidas de la capacidad aislante del material.

La variable típica es la cantidad de la precipitación se refiere al volumen de agua que por la unidad área (1m^2) alcanza la superficie de tierra durante un periodo de observación (hora, día, etc.) en el sólido y /o en forma líquida.

Medidas de precipitación o nivel pluviométrico

El instrumento que se suele utilizar para medir la precipitación caída en un lugar y durante un tiempo determinado se denomina pluviómetro.

Este aparato está formado por una especie de vaso en forma de embudo profundo que envía el agua recogida a un recipiente graduado donde se va acumulando el total de la lluvia caída

El fenómeno de ionización del aire en las cercanías inmediatas de los conductores se produce principalmente por la intensidad del campo eléctrico superficial en los mismos conductores, sobre todo en condiciones de lluvia y el estado de superficie de los conductores, entre otros. El efecto de esta ionización se manifiesta de diversas formas, las

más comunes corresponden al ruido audible (acústico), luminosidad, generación de gases (ozono principalmente) y ruido a frecuencia de radio (**HERRERA, 2010**)

1.7.1 EFECTO DE LA LLUVIA EN LAS LÍNEAS

La lluvia hace aumentar las pérdidas por efecto corona a valores unas diez veces mayor de los que se obtienen con buen tiempo

Durante los periodos de lluvias, se forman gotas de agua a lo largo y debajo del conductor, el cual hace que el campo eléctrico presente una irregularidad de forma puntual alrededor del conductor, dando como resultado un incremento en el efecto corona (**Letona E. R., 2006**)

Efectos de la lluvia

La lluvia y la humedad del medio afectan también la rigidez dieléctrica. La IEC, por ejemplo, prescribe la ejecución de pruebas bajo los efectos de la lluvia, es por ello que se suelen indicar los valores para la tensión de ensayo en estado seco y húmedo.

Los ensayos bajo lluvia se ejecutan bajo la estricta observancia de que se cumplan los siguientes valores (según la IEC)

Precipitación $Q = 1$ a 1.5 mm/min

Resistividad del agua $\rho = 100 \Omega \cdot m$

Duración del ensayo $t = 1$ min

1.9 NIVEL CERÁUNICO Y DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA (DDT)

El nivel ceráunico está definido como el número de días del año en los cuales se escucha, por lo menos, un trueno en el lugar de observación. No se tienen en cuenta los relámpagos, con el fin de descartar rayos que ocurren a gran distancia.

Los niveles ceráunicos se suelen llevar a mapas isoceráunicos, es decir, a mapas con curvas de igual nivel ceráunico.

El número de descargas a una línea para un nivel ceráunico dado, no es conocido actualmente con mucha certeza, pues el problema es de naturaleza estadística.

Se parte de considerar una densidad de descargas a tierra (DDT) a partir de nivel ceráunico, a través de fórmulas aproximadas, que varían de acuerdo con la latitud.

Lo ideal es poder tener directamente el DDT, lo cual actualmente es posible a través de mediciones indirectas (número de descargas/km²-año) uniforme para una región con nivel ceráunico constante. A partir de esta densidad, se determina el número de esas descargas interceptado por la línea.

Los sistemas de medición de niveles ceráunicos son los siguientes

Durante los últimos 20 años, los sistemas de monitoreo y detección de tormentas eléctricas han venido evolucionando a nivel mundial, siendo varias las aplicaciones desarrolladas en la operación de los sistemas eléctricos. Estos dispositivos monitorean las variables que identifican los ciclos de vida de la tormenta, así como características propias de su desplazamiento, intensidad, entre otras. A continuación se describen los

principales sistemas y dispositivos utilizados para la predicción de actividad de tormentas eléctricas

Radares meteorológicos: son capaces de identificar las condiciones necesarias que se dan previo al proceso de separación de cargas en la nube; por tal razón, tienen el potencial de proveer alarmas tempranas por tormentas eléctricas

Redes de Detección y Localización de Rayos. Red LINET: Estas redes que operan en bandas de baja y muy baja frecuencia comúnmente tienen sensores separados entre 100 y 300 km de distancia, y detectan las señales de campo magnético que propagan los rayos sobre la superficie terrestre. Comúnmente las redes que operan en VLF/LF logran identificar rayos nube tierra – CG y las que operan en VHF pueden detectar rayos Intra-Nube (**Borda, 2014**)

Las sobretensiones y corrientes introducidas por el golpe de rayo se propagan por las líneas, los cuales puede producir lo siguiente:

- Efectos térmicos: Fusión de componentes, incendios, explosiones.
- Esfuerzos mecánicos debido a esfuerzos electrodinámicos entre conductores.
- Choque eléctrico por sobretensiones provocadas por incrementos del potencial en la propagación de la onda.
- De contorneos derivando en pérdidas de aislamiento y cortocircuitos o perforación de aislamientos.
- Peligrosa elevación de los potenciales de las tomas de tierra.
- Efectos electromagnéticos por la alta frecuencia, o de radiación e inducción.

- Efectos electroquímicos, acústicos y fisiológicos

Debido a la densidad de descargas a tierra se produce 2 tipos de mecanismos de falla, que se presentan cuando caen los rayos, los cuales son: cebados directos (falla por apantallamiento) y cebados inversos (flameo inverso)

La falla por cebado directo, es el número de descargas que impactan sobre un conductor de fase; sin embargo, no todas ellas acaban en un cebado del aislador, sino solamente aquellas que produzcan una sobretensión que supere el nivel de aislamiento a impulso tipo rayo (CFO) del aislador

El cebado inverso es cuando una descarga impacta en un cable de guarda, una parte de su intensidad deriva a tierra a través de la impedancia del apoyo y de la impedancia de puesta a tierra del mismo.

Dependiendo de los valores de la impedancia del apoyo y de la impedancia de puesta a tierra la sobretensiones en los aisladores (medidas desde el apoyo hacía en conductor de fase) pueden producir el cebado de los mismos, esto se conoce como cebado inverso, para que ocurra un cebado inverso, la sobretensión a través del aislador debe ser mayor o igual a su aislamiento a impulso tipo rayo (CFO) (**Velasco, 2013**)

Debido a todo esto se tiene:

- Degradación de los materiales aislantes, provocando perforación del dieléctrico, o su envejecimiento prematuro, y posterior perforación.

- Perturbaciones en los circuitos de corrientes débiles ya sea de mandos o comunicaciones. Interrupción del servicio, cuando provocan fallas. Largas por reposición de componentes, o cortas por actuación de automatismos.

Los rayos que alcanzan las líneas, torres o conductores, someten a los aisladores a ondas de sobretensiones de elevaciones bastantes rápidas, como para ocasionar la perforación de algunos aisladores y de amplitud suficiente como para provocar un salto.

(Gonzales, Mayo 2007)

2. ANÁLISIS Y RESULTADOS

2.1 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Como se muestra en el primer párrafo del numeral 1.1.3 en la figura 1, la corriente que pasa a través de un cable BLUEJAY, calibre 1113 KCM, considerando las temperaturas de operación del conductor de 50°C, 75°C y 100°C, al incrementarse la temperatura ambiente disminuye la capacidad para transmitir corriente por el conductor

La temperatura tiene una gran incidencia en las líneas de transmisión, entre mayor sea la temperatura ambiente a la que se encuentran sometidos los conductores, menor será su capacidad de transmitir corriente y sus pérdidas por efecto Joule serán mayores.

A continuación, se realizó un ejemplo en el cual se observen la afectación de la temperatura ambiente en la capacidad de corriente de diferentes tipos de cables, los cuales son cable ACSR 403 – DRAKE, 131 – TIGER y 564 - BLUEJAY para una línea de transmisión de 110kV, con viento de 1,97 m/s y una radiación solar constante de 1000 W/m².

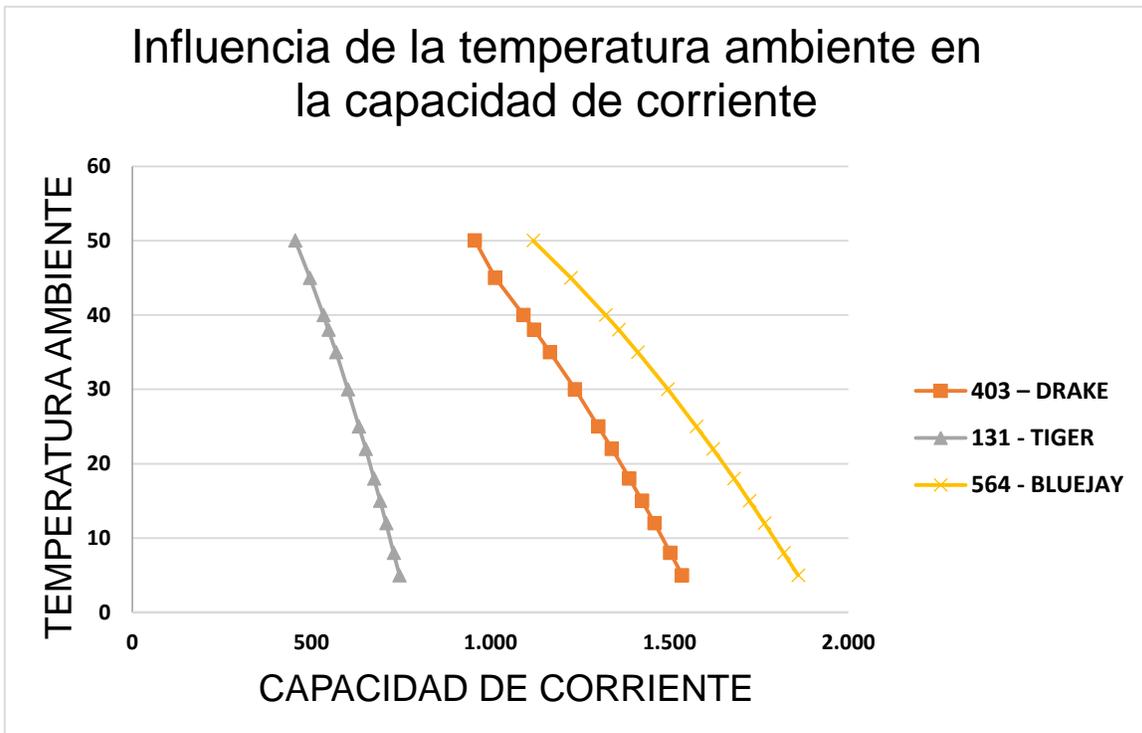


Ilustración 2 Comportamiento de los cables con respecto a la temperatura ambiente

Como se puede observar en la ilustración 2, a medida que aumenta la temperatura ambiente, disminuye la capacidad de transmisión de corriente en los conductores, siendo este cambio de orden entre el 37% y 40% cuando se pasa de tener una temperatura de 5°C a 45°C

En general, un ingeniero diseñador debe tener en cuenta a la hora de realizar un diseño de línea de transmisión, la temperatura ambiente a la que estará sometido el proyecto durante su vida útil; debido al impacto que tiene en la transmisión de corriente.

Para la determinación de los valores presentados en la ilustración 2 se usó el software de CTC GLOBAL

2.2 INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Como se muestra en el párrafo cuarto del numeral 1.4 La radiación solar sobre un conductor provoca una ganancia de calor en la línea de transmisión la cual dependerá del diámetro del conductor

La radiación solar son ondas de energía de calor, que se encuentran constantemente en el ambiente, lo cual provoca una ganancia de calor en los conductores de las líneas de transmisión

A continuación, se realizó un ejemplo en el cual se observan la afectación de la radiación solar en la capacidad de corriente de un cable ACSR 403 – DRAKE, 131 – TIGER y 564 - BLUEJAY, para una línea de transmisión con una capacidad de 110 kV, con viento de 1.97 m/s y una temperatura ambiente constante de 25°C

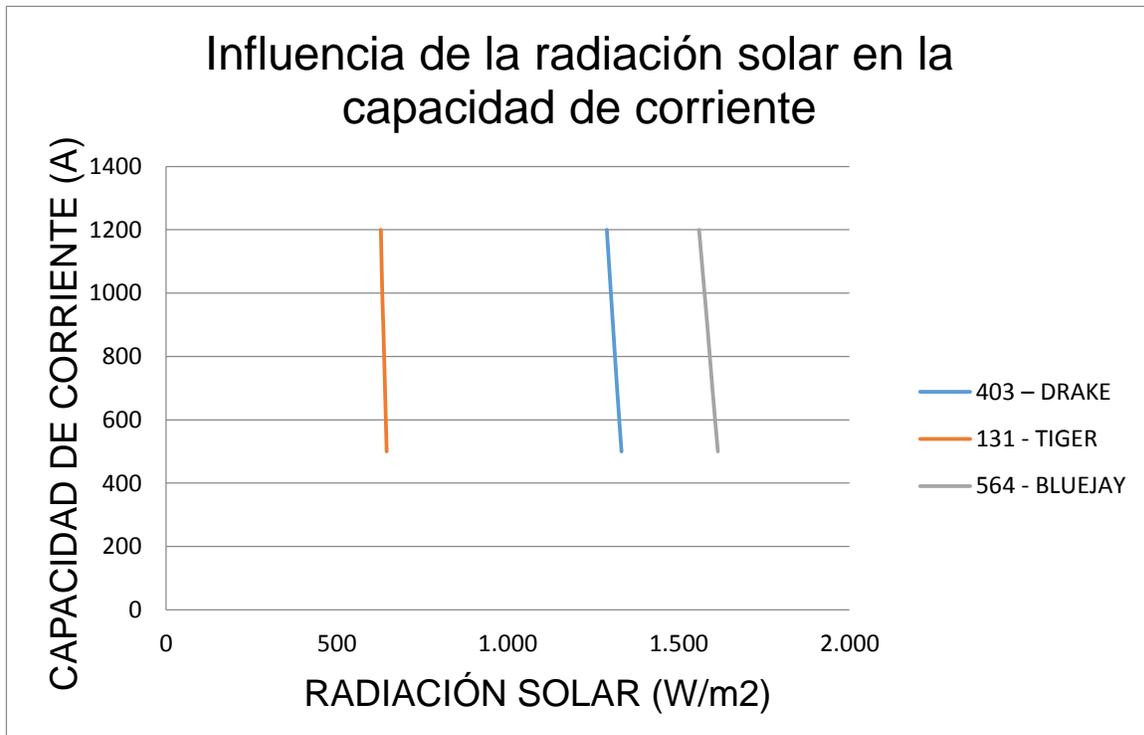


Ilustración 3 comportamiento del cable según la radiación solar

Como se puede observar en las ilustraciones 3, a medida que aumenta la radiación, disminuye la capacidad de transmisión de corriente en los conductores, siendo este cambio del orden del 2% a 4% cuando se pasa de tener una radiación de 500 W/m² a 1200 W/m².

La radiación solar no tienen gran impacto en las pérdidas por transmisión de corriente, por esto no es necesario tenerla en cuenta a la hora de la realización de un diseño de línea de transmisión.

Para la determinación de los valores presentados en la ilustración 3 se usó el software de CTC GLOBAL.

2.3 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA CAPACIDAD DE CORRIENTE DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Como se describe en el párrafo 1.3.4, el efecto que tiene el viento en las líneas es proveer enfriamiento, y actúa principalmente en las pérdidas de calor por convección del aire circundante.

La importancia de saber que viento pasa por donde se va realizar un diseño de línea de transmisión es importante, debido a que entre menos viento circule por los cables, menor enfriamiento tendrá y mayor será la temperatura que pasa por ellos

A continuación, se realizó un ejemplo en el cual se observan la afectación de la radiación solar en la capacidad de corriente de un cable ACSR 403 – DRAKE, 131 – TIGER y 564 - BLUEJAY, para una línea de transmisión con una capacidad de 110 kV, con una radiación de 1000 W/m² y una temperatura ambiente constante de 25°C

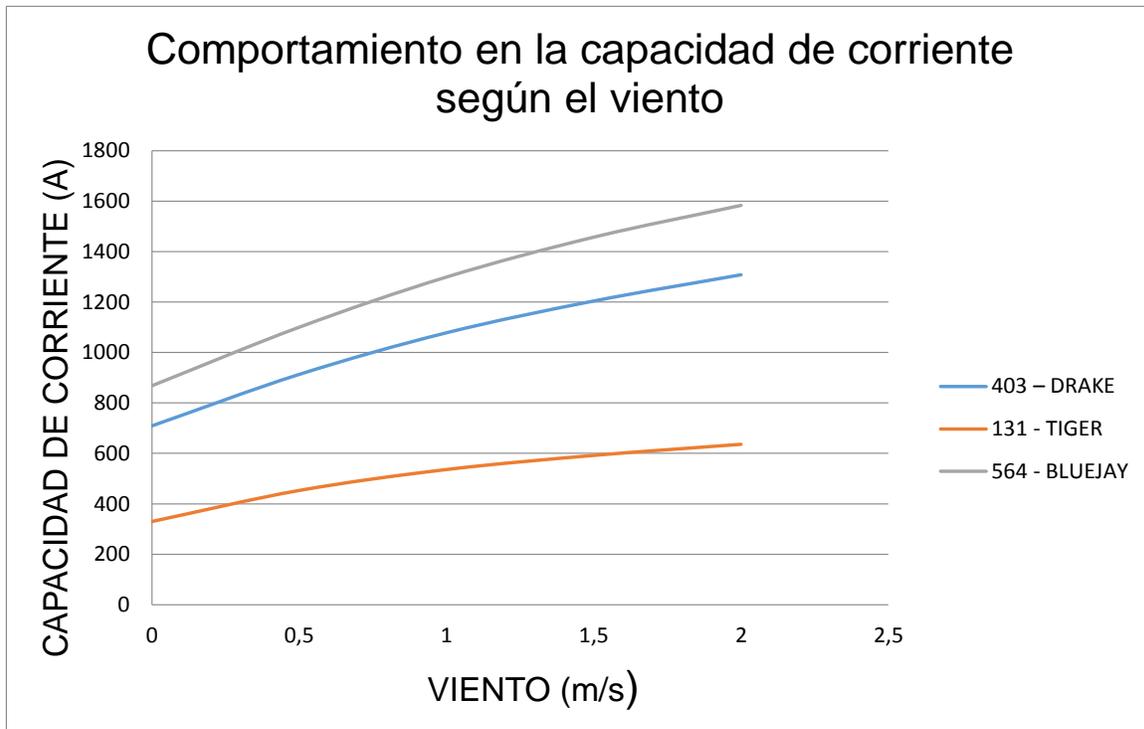


Ilustración 4 comportamiento del cable según el viento

Como se puede observar en la ilustración 4, a medida que aumenta la velocidad del viento (m/s), aumenta la capacidad de transmisión de corriente en los conductores, siendo este cambio del orden del 45% al 48% cuando se pasa de tener vientos entre 0 a 2 m/s.

El viento tiene gran incidencia en los conductores, debido a que entre menos aire circundante pase por las líneas, las pérdidas de transmisión de energía se verían afectadas en casi un 50%, lo que conlleva a que la línea solo funcione a la mitad de su capacidad, o los costos aumenten para cumplir con la necesidad que se requiere en el diseño.

Para la determinación de los valores presentados en la ilustración 3 se usó el software de CTC GLOBAL.

2.4 INFLUENCIA DEL NIVEL DE DESCARGAS A TIERRA (DDT) EN EL COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Los niveles cerámicos o densidad de descargas a tierra son parámetros ambientales que se deben tener en cuenta al momento de realizar un diseño de línea de transmisión, debido a que la CREG como ente regulador por medio de la resolución CREG 25 de 1995, anexo CC1 define como criterio de diseño la cantidad de salidas que puede tener una línea de transmisión por año y que estas salidas y el cálculo de las mismas está directamente relacionado con la densidad de descargas a tierra.

Como se describe en el numeral 1.9, el DDT, resulta en un problema de naturaleza meramente estadística, lo que hace que determinar con total certeza una magnitud del mismo para un área específica resulte ser muy complicado, y en vista de que para el diseño de la coordinación del aislamiento en las líneas de transmisión, las descargas atmosféricas resultan de suma importancia por ser una de las causas de sobretensiones más importantes, se hace menester tener valores por lo menos razonables que permitan realizar un diseño apropiado.

Para la ilustraciones 5, 6 y 7 se tomaron en cuenta las condiciones que se observan en la siguiente tabla, dejando en todas las gráficas una de las variables como constante.

Tabla 1 datos de entrada, para la influencia de DDT en la línea de transmisión

características de la línea	
Tensión	110
Máxima tensión en estado estable	110%
Nivel de contaminación	medio
Altitud	1500
Conductor de fase	acsr bluejay
Cable de guarda	opgw 66/32
Resistencia de puesta a tierra	20 Ω
Tipo de torre	Doble circuito
Vano promedio	400 m
Altura de torre	50m

En este ejemplo, la longitud del aislador se dejó estable, y se considera con una medida de 2m, observando que tanto afecta el GFD a la tasa de salidas por flameo (inverso o directo) en una línea de transmisión.

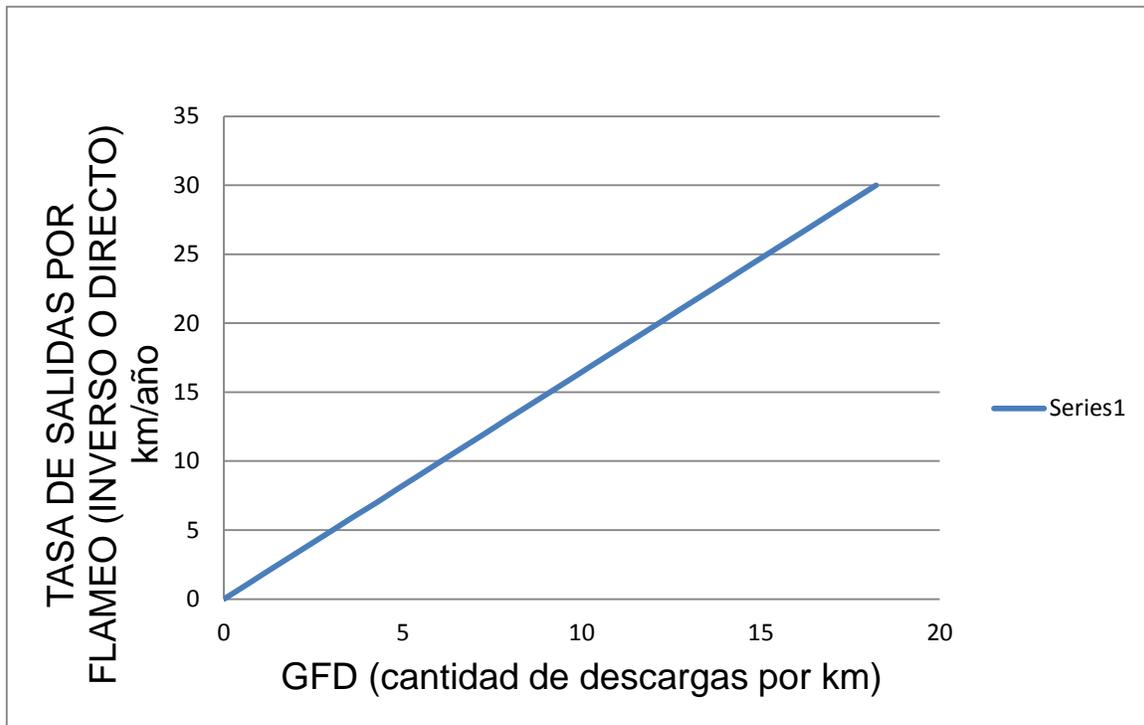


Ilustración 5 variación estimada de las salidas de la línea por cada 1000km años, respecto al GFD

Lo que se observa en la ilustración 5, es una relación de proporcionalidad directa, entre las densidad de descargas parciales de la zona y la longitud del aislador, pues esta última se ve afectada en la medida en que se afecta la cantidad de salidas por cada 100km/año, como consecuencia del nivel cerámico con miras a cumplir el criterio del diseño de 3 salidas/100km-año.

En la siguiente gráfica, se evalúa el comportamiento de la longitud del aislador respecto a la variación de los niveles de GFD, esto teniendo como criterio que los valores totales de salidas por flameo no superen las 3 salidas por cada 100km/año, criterio establecido en la resolución CREG 025 de 1995 (código de redes).

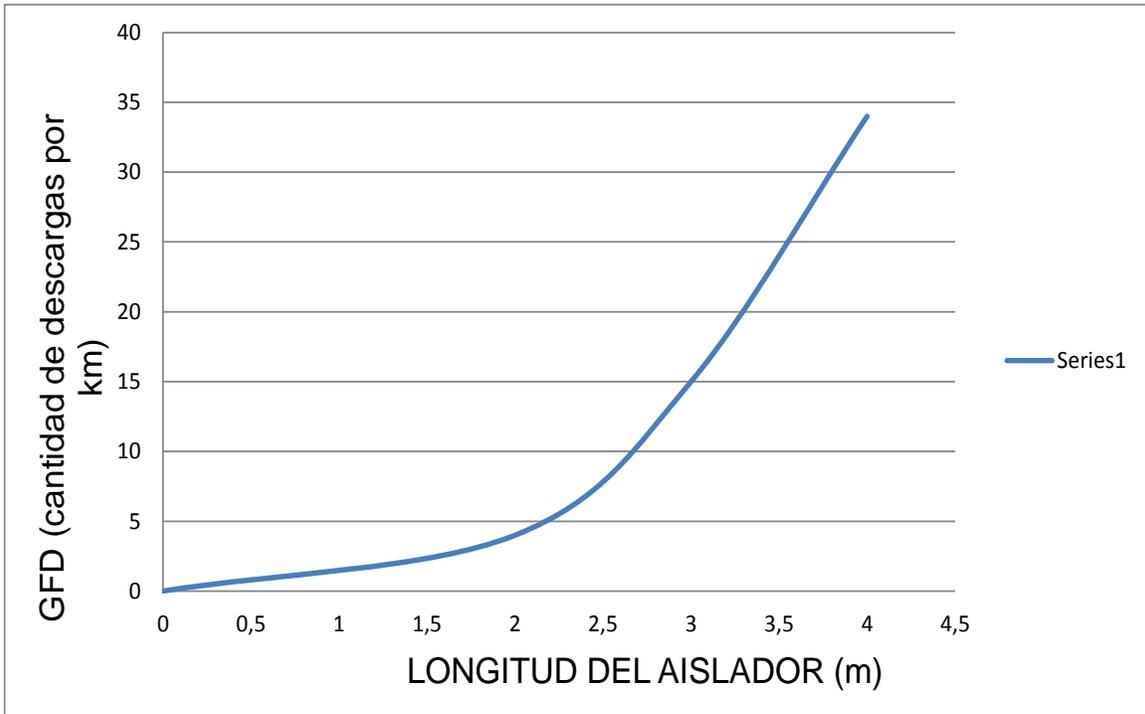


Ilustración 6 Longitud de aisladores por cantidad de densidad de descargas

En la ilustración 6 se puede observar los cambios de longitud que se tienen en los aisladores, pues al aumentar el nivel de densidad de descargas a tierra (DDT), mayor va ser la longitud de los aisladores.

En la siguiente gráfica se dejó como constante el GFD en 15 descargas por km, observando cómo cambia el número de salidas por descargas atmosféricas en la línea de transmisión, dependiendo de la longitud del aislador.

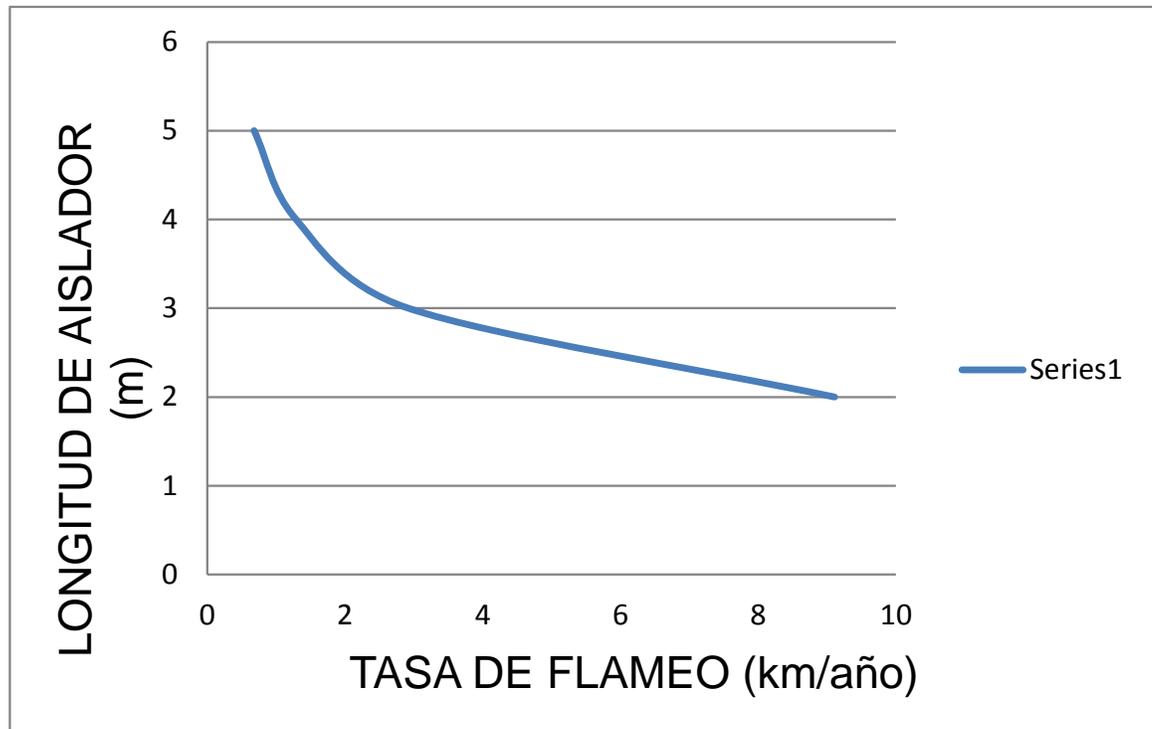


Ilustración 7 tasa de flameo vs longitud de aislador con GFD constante

En la ilustración 7 se observa, como disminuye la tasa de flameo con respecto a la longitud del aislador, analizando así, que entre mayor sea la longitud del aislador, menor va ser la cantidad de salidas por km, por descargas atmosféricas en la línea de transmisión.

Para la determinación de los valores presentados en la ilustración 5, 6 y 7 se usó el software flash de IEEE.

2.5 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN EL DISEÑO MECÁNICO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Como se habla en numeral 1.4.1 segundo párrafo el viento cerca del suelo, la velocidad es baja, aumentando rápidamente con la altura. Es por ello por lo que sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y más sobre las colinas. No obstante, el viento sopla con más fuerza sobre el mar que en la tierra.

A continuación, se presenta un ejemplo donde se muestra cómo afecta la velocidad del viento las fuerzas transversales por viento, por ángulo y las fuerzas longitudinales, de las torres de la línea; para una línea de 110 kV con un cable BUNTING, calibre 1192,5.

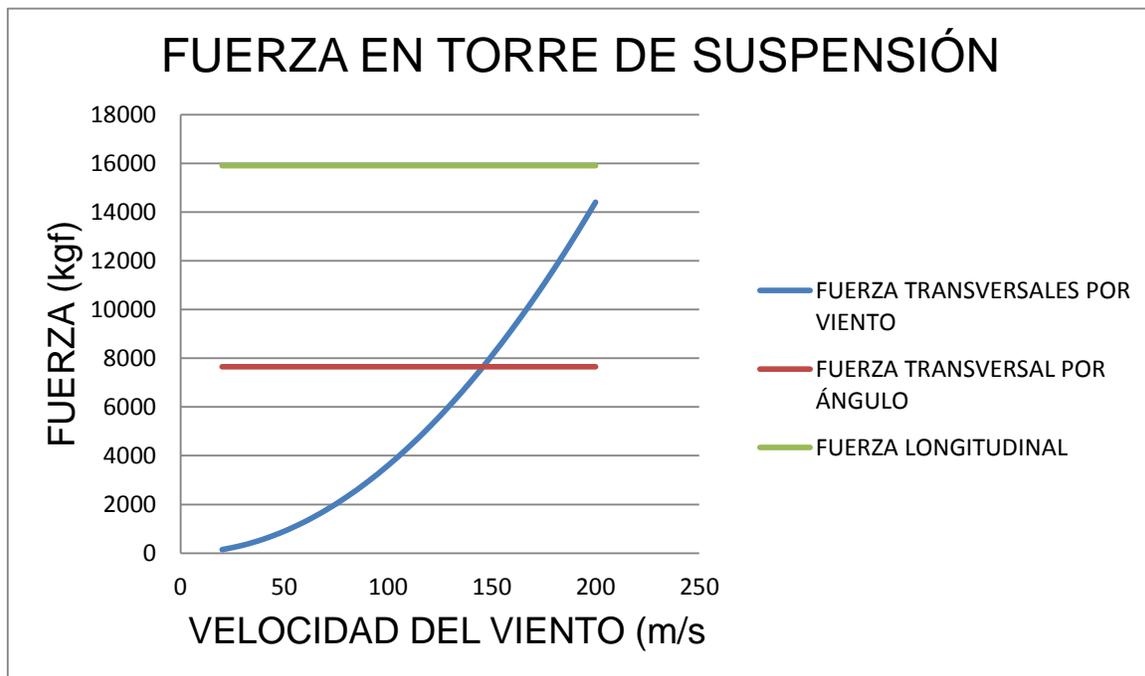


Ilustración 8 comportamiento en la torre de suspensión, con respecto al cambio de velocidad en el viento

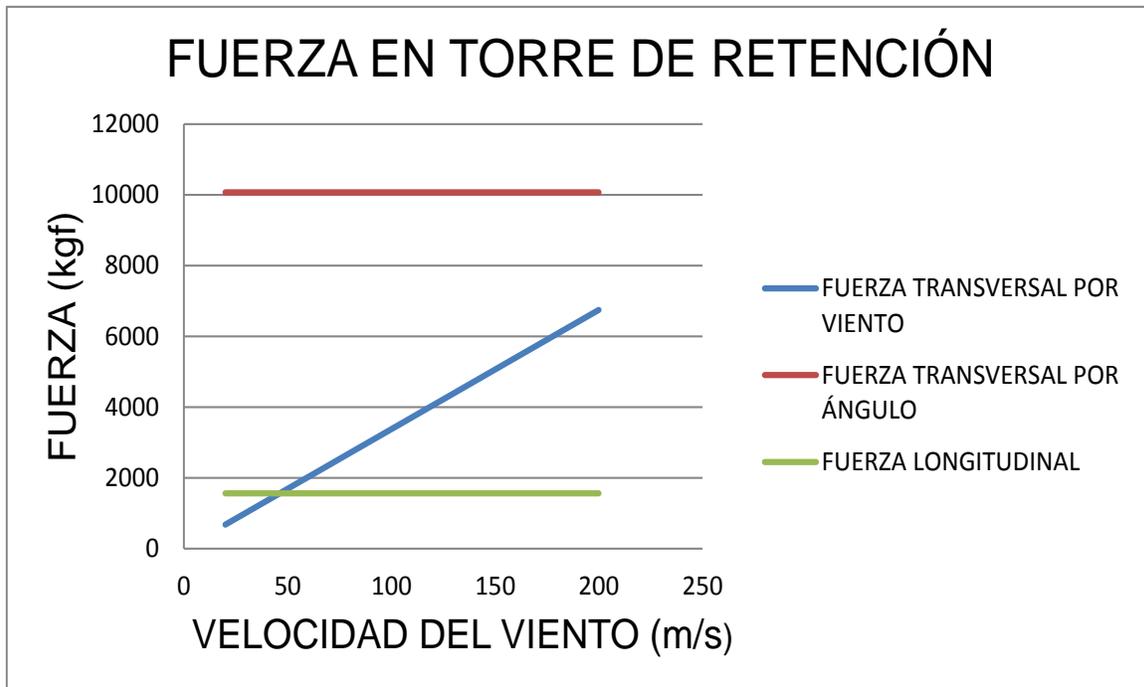


Ilustración 9 comportamiento en la torre de retención, con respecto al cambio de la velocidad del viento.

Como se observa en la ilustración 8 y 9, al incrementar la velocidad de viento que le da los cables de las línea de transmisión, las fuerzas trasversales de las torres de suspensión y retención se ven afectadas en un 80%, para una velocidad de 20km/h a 200 km/h, lo cual se vuelve una proporción directa.

En la ilustración 8 se observa el cambio que tienen las fuerzas trasversales en las torres de suspensión al momento de cambiar la velocidad de viento que golpea los aisladores, para lo cual se tiene una afectación del 24%, con un cambio de velocidad en el viento, entre 20km/h y 200km/h.

Lo cual se puede observar en cada una de las ilustraciones, a mayor velocidad de viento mayor debe ser la robusticida de cada una de las torres, lo que conlleva a gastos monetarios mayores en cada una de las torres

2.6 INFLUNCIA DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN EL EFECTO CORONA Y EL AISLAMIENTO

Como se habla en el numera 1.3 párrafo seis, la presión atmosférica tiene gran incidencia en el efecto corona, debido a que el voltaje crítico de corona para determinado cable se ve modificado en la medida en que la altitud cambia.

Para la ilustración 10 se observa que cambio tiene el voltaje crítico, a medida que aumenta la presión atmosférica, para lo cual se tomaron los siguientes datos, que se encuentran en la siguiente tabla, dejando como constante el cable y cambiando la altitud

Tabla 2 datos de entrada, para la influencia de la presión atmosférica en la línea de transmisión

Potencia a transmitir (MVA)	100
Factor de Potencia	0,9
Nivel de tensión kV(f-f)	110
Regulación máxima (%)	10
Longitud (km)	165
temperatura ambiente promedio (°C)	26
numero de circuitos	2
corriente a transmitir (A)	262
frecuencia (Hz)	60
Cable BLUEJAY	calibre 1113

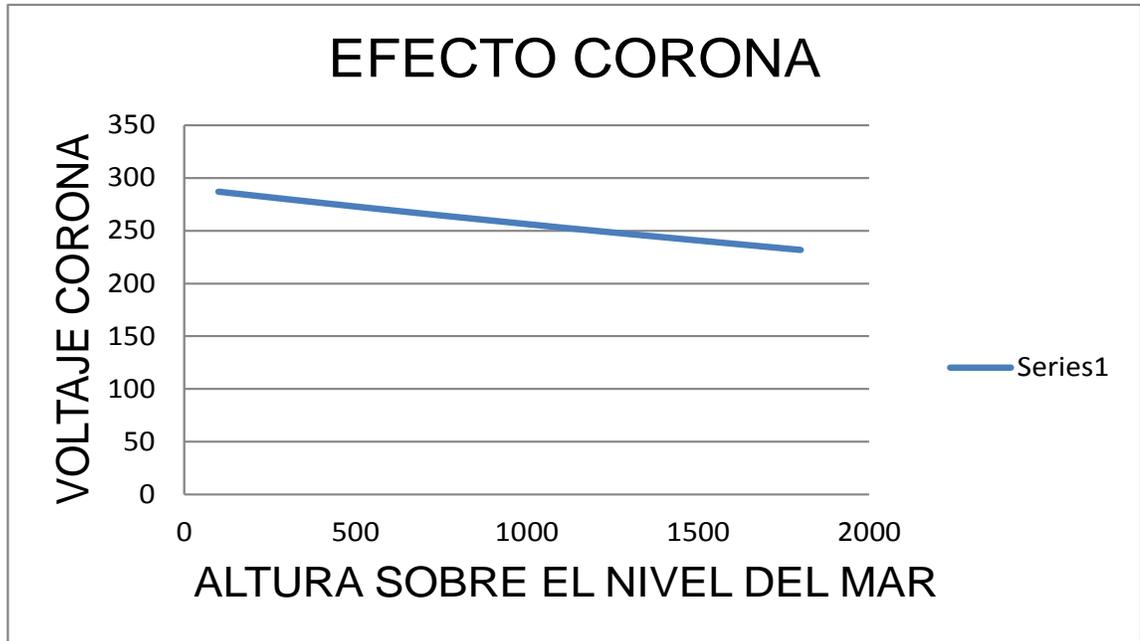


Ilustración 10 comportamiento del efecto corona con respecto a la altitud

Como se observa en la ilustración 10 a medida que disminuye el voltaje crítico de corona con la modificación de la altitud, la línea de transmisión se hace más propensa a sufrir pérdidas por este fenómeno.

Para las ilustraciones 11, 12 y 13, se observa el comportamiento que tienen los aisladores con cada una de las distancias (fuga y arco seco), con respecto a la altura sobre el nivel del mar, teniendo en cuenta los siguientes datos de entrada, que se observan en la tabla

Datos de entrada	
Tensión	230 kV
Máxima tensión en estado estable	110%
Nivel de contaminación	Medio
Conductor de fase	ACSR – BLUEJAY
Cable de guarda	OPGW 66/32
Resistencia de puesta a tierra	20 Ω
Tipo de torre	Doble circuito 230 kV
Vano promedio	420 m

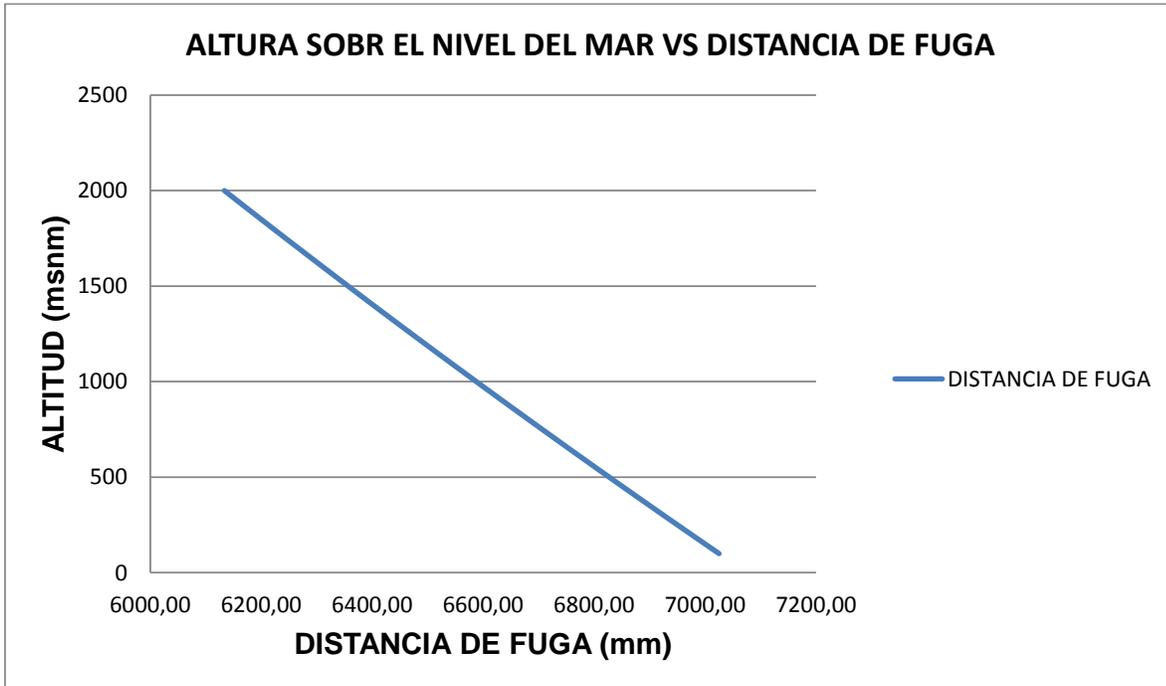


Ilustración 11 comportamiento de la distancia de fuga en los aisladores con respecto la altitud

Como se observa en la ilustración 11, a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, disminuye la distancia de fuga, para la coordinación de aisladores en el diseño de la línea de transmisión.

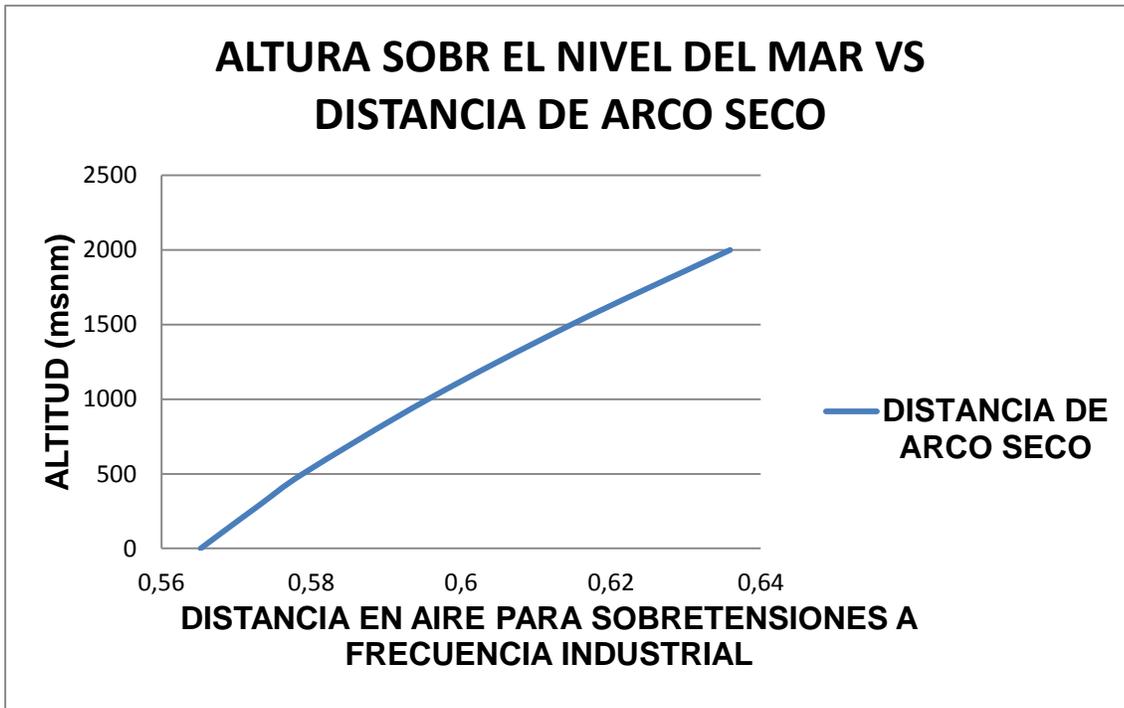


Ilustración 12 comportamiento en la distancia de arco seco en el diseño de aislamiento para sobretensiones a frecuencia industrial, con respecto la altitud



Ilustración 13 comportamiento en la distancia de arco seco para el diseño de aislamiento en sobretensiones de frente lento

Como se observa en la ilustración 12 y 13 a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, aumenta la distancia de arco seco, tanto para las sobretensiones a frecuencia industrial como para las sobretensiones de frente lento

Para la ilustraciones 11, 12 y 13 se sacaron los cálculos usando la norma

UNE - EN 54341-1:2001

3. CONCLUSIONES

- Para el diseño de líneas de transmisión, la temperatura ambiente y el viento, son las que mayor injerencia tienen en el comportamiento de la línea, ya que a temperaturas ambientes altas disminuye la capacidad de corriente y temperaturas bajas tienen un comportamiento contrario, el viento entonces mejoraría el comportamiento eléctrico del conductor
- Los diseños mecánicos de las líneas se ven afectados por el viento en gran medida, debido a que entre mayor sea la velocidad del viento, mayor va ser los esfuerzos mecánicos a los que se someterían los apoyos, ya que estos tienen una relación de proporcionalidad directa
- La cantidad de descargas atmosféricas es de suma importancia en el diseño de líneas de transmisión, debido a que afecta el diseño de coordinación de aislamiento y la cantidad supuesta de salidas por km/año. Entre mayor sea este indicativo, mayor va ser la longitud del aislador y mayor va ser la probabilidad de que la línea se encuentre inoperante
- La presión atmosférica tiene incidencia en el voltaje crítico de corona. Entre mayor sea la altura sobre el nivel del mar, menor va ser la presión atmosférica, debido a esto disminuye el voltaje crítico corona y la línea de transmisión sería más propensa a sufrir pérdidas por este fenómeno
- Para la coordinación de aislamiento es necesario tener la distancia de fuga y de arco seco, lo cual se ve afectado directamente por la presión atmosférica, a mayor altura sobre el nivel del mar, menor va ser la distancia de fuga, todo lo contrario

sucede con la distancia de arco seco, debido a que entre mayor sea la altitud mayor va ser esta.

4. RECOMENDACIONES

- A la entidad encargada de la planeación de la transmisor en Colombia (UPME), a las empresas encargadas del diseño de construcción de líneas de transmisión y en general a los proyectistas y personas encargadas de esto, desarrollar un plan conducente a obtener corredores y mapas de los mismos con el fin de que las líneas de transmisión queden emplazadas en estos obteniendo mejores resultados en cuando a la elaboración de diseños de líneas de transmisión, porque se partiría de unos parámetros ambientales conocidos, teniendo un mayor control en el paso de la línea
- A la medida de lo posible, evitar el trazado de líneas de transmisión en lugares donde la temperatura ambiente y/o la velocidad del viento tengan valores considerablemente altos, debido a la magnitud de su incidencia en los diseños

4. Bibliografía

Alida Carolyn Bustillos Ramirez, Víctor Jesús Pérez Lisboa . (2015). Introducción a las líneas de transmisión de energía eléctrica. *Universidad de Carabobo (Venezuela)*.

Borda, J. C. (2014). *Integración de los Sistemas de Alerta de Tormentas Eléctricas en Redes Inteligentes*. Bogotá.

Bustamante, R. C. (2014). Determination of Transmission Limits on Electric Power Systems. *Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XV (número 2)*,, 271 - 286.

CORACE, J. (2005). *DILATACION*. Obtenido de

<https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=12&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiTu-DLlXWAhUorlQKHdC7AGUQFghPMAs&url=http%3A%2F%2Fing.unne.edu.ar%2Fpub%2FDILATACIONverultima.doc&usg=AFQjCNGmPVs-DhliBUf1FNgeY59o4OYCfQ>

Edmundo Javier Chamorro Quitama, Braulio David Muyulema Masaquiz. (2010).

Incidencia del Viento en la temperatura del conductor y en los esfuerzos mecánicos de las estructuras. QUITO: Escuela Politécnica Nacional.

GAMMA. (15 de mayo de 2011). <http://www.gamma.co>. Obtenido de

<http://www.gamma.co/consideraciones-la-seleccion-aisladores-condiciones-contaminacion-atmosferica/>

Gonzales, F. M. (Mayo 2007). *Elementos de Líneas de Transmisión Aéreas*. Venezuela.

- HERRERA, J. P. (2010). *GUÍA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO Y PROYECTO DE LÍNEAS DE*. Santiago de Chile: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- IEEE Std 738. (2002). *IEEE Standard for Calculating the Current Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors*. New York: IEEE.
- IEEE, EPRI. (1997). *FLASH 2 Y LIBRO ROJO EPRI . IEEE*.
- Jiménez, Rosa María Rodríguez. (2004). *METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA*. España: FECYT.
- Jorge Wilson Gomez, Carlos Alberto Ortiz, Hugo Alberto Cardona, Idi Amin Isaac. (2006). *Analisis electrico de lineas de transmision* . Medellin: Editorial Universidad Pontificia Bolibariana.
- Jorge Wilson Gónzales. (2005). *Análisis Eléctrico de Líneas de Transmisión* . Medellín-Colombia: UPB.
- Letona, E. R. (2006). *ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO OPERACIONAL DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 230 kV PUERTO QUETZAL-SUBESTACIÓN ALBORADA*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala .
- Letona, E. R. (2006). *Analisis del desempeño operacional de la linea de transmision de 230kV*. Guatemala: Universidad de San Carlos Guatemala.
- Lindberg, E. (2011). *The Overhead Line Sag Dependence on Weather Parameters and Line Current* . UPTEC W11 017.

LIZANA, J. M. (2011). *CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA CONSIDERANDO EFECTOS DE VENTILACIÓN*. SANTIAGO DE CHILE : UNIVERSIDAD DE CHILE.

Murillo, A. G. (2006). *POTENCIA ELÉCTRICA*. Manta - Manabi - Ecuador: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manta.

Ríos, J. B. (2001). *LINEAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA*. LIMA: Universidad Nacional de Ingeniería .

UCSA, I. (s.f.). *Resumen Líneas de Transmisión Eléctrica* . Obtenido de ramaucsa.files.wordpress.com:

<https://ramaucsa.files.wordpress.com/2010/12/resumen-lc3adneas-de-transmisi3b3n-elc3a9ctric1.pdf>

Velasco, J. A. (2013). *Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión*. Aravaca (Madrid): MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. L.