

ESTUDIO DEL MODELO ESTÁTICO DE CONDUCCIÓN DE AISLACIONES CONTAMINADAS MEDIANTE CURVAS UNIVERSALES DEL ARCO ELÉCTRICO. DETERMINACIÓN DE ECUACIONES Y CURVAS ADIMENSIONALES DEL MODELO.

M. Deorsola*

P. M. del Valle*

*IITREE-LAT, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

RESUMEN

Basado en un método adimensional de uso “universal” para determinar el establecimiento y mantenimiento del arco eléctrico como elemento de circuito, se estudia el proceso de conducción en aislaciones contaminadas.

Se desarrolla el modelo circuital estático (en continua) de formación de bandas secas y su evolución al contorneo. Se destaca la determinación de los parámetros singulares y se establecen las ecuaciones analíticas que vinculan dichos parámetros con las variables de interés intervinientes en dicho proceso.

Los resultados se presentan en forma adimensional y graficados en forma normalizada, de modo de permitir su aplicación en forma “universal” y así facilitar el estudio de la información obtenida por experimentación.

Se introduce como ejemplo la aplicación extendida de los resultados en continua al estudio del proceso de conducción en aisladores en alterna.

PALABRAS-CLAVE

Arco eléctrico - Modelo – Aislaciones contaminadas - Descargas superficiales – Curvas universales

1. INTRODUCCIÓN

La publicación [1] presenta una prolija y completa reseña sobre la medición de la severidad de la contaminación ambiental con referencia a redes eléctricas, una muy clara explicación del proceso de bandas secas que resulta en los aisladores como consecuencia de dicha contaminación, la descripción de las descargas en esas bandas y su conclusión en el contorneo.

Un modelo sencillo y suficientemente válido para estudiar el proceso de las bandas secas es el propuesto en [2] y cuya concreción es el circuito de la Fig 1.

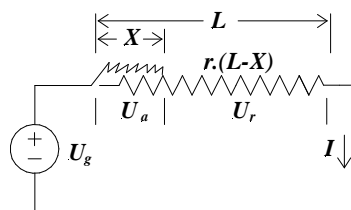


Fig. 1.- Modelo representativo de una aislación contaminada alimentada por una fuente

La contaminación se supone uniforme a lo largo del aislador de longitud L y representada por una resistencia por unidad de longitud r . Al formarse las bandas secas, éstas establecen una longitud X en aire, es decir sin contaminación, quedando en condiciones de conducir una longitud $L - X$.

El estudio que sigue apunta a disponer de las expresiones analíticas adimensionales y de las gráficas de los modelos matemáticos básicos de contorneo por contaminación en aislaciones, e interpretarlas adecuadamente con el objeto de permitir su uso generalizado.

En [3] se realiza una importante recopilación de varios modelos matemáticos con enfoques particulares, aportando este trabajo la expresión analítica de una de las gráficas que presenta la referida publicación.

2. MODELO ESTÁTICO DEL AISLAMIENTO CONTAMINADO

El calificativo de “estático” para el modelo implica considerar los cambios en el mecanismo de las bandas secas no aleatorios y con los procesos termodinámicos finalizados.

Considerando el generador que impone la tensión de continua en el circuito de la Fig. 1:

$$\bullet U_g = A \cdot X \cdot I^{-\alpha} + r \cdot (L - X) \cdot I \quad \text{Ec. 1}$$

En la Ec. 1, la expresión $U_a = A \cdot X \cdot I^{-\alpha}$ es la caída de tensión del arco que se establece en la longitud X en aire, con $\alpha = 0.5$ y $A = 100$ [V·A^{0.5}/cm], valores utilizados en [2] y [4].

También en [4] se definen las siguientes expresiones aplicadas para el caso en estudio: $I_0 = \frac{U_g}{r \cdot L}$

y $x_\lambda = \frac{X}{\lambda}$, con $\lambda = \frac{U_g \cdot (I_0)^\alpha}{A} = \frac{U_g^{1+\alpha}}{A \cdot (r \cdot L)^\alpha}$, longitud de referencia. Además, puede referirse I a

I_0 , o sea $i_0 = I/I_0$ y llamando $x_L = X/L$, la Ec. 1 se transforma en:

$$\bullet I = x_\lambda \cdot i_0^{-\alpha} + i_0 \cdot (1 - x_L) \quad \text{Ec. 2}$$

Unificando la relación de X respecto de la longitud original L (cuando $X = 0$), se tiene:

$$\bullet I = x_L \cdot \left[\left(\frac{L}{\lambda} \right) \cdot i_0^{-\alpha} - i_0 \right] + i_0 \quad \text{Ec. 3}$$

De la Ec. 3 se puede despejar x_L , dando:

$$\bullet x_L = (I - i_0) / \left[\left(\frac{L}{\lambda} \right) \cdot i_0^{-\alpha} - i_0 \right] \quad \text{Ec. 4}$$

La Ec. 4 representa la longitud de arco relativa a L para la cual funciona el circuito de la Fig. 1. La fórmula adimensional de la Ec. 4, calculada λ , permite determinar la condición de coexistencia de un arco de longitud X con una resistencia $r \cdot (L - X)$ que limita la corriente circulante referida a I_0 .

Un poco más de análisis permite verificar que $\frac{L}{\lambda} = \frac{L \cdot A \cdot (r \cdot L)^\alpha}{U_g^{1+\alpha}} = \frac{L \cdot A \cdot (r \cdot L)^{1+\alpha}}{U_g^{1+\alpha} \cdot r \cdot L} = \frac{A}{r} \cdot \frac{I}{I_0^{1+\alpha}}$; en

la cual A/r tiene dimensión de [A^{1+α}].

Dado que r representa la resistencia por unidad de longitud de la contaminación, puede definirse la “corriente de contaminación” $I_c = (A/r)^{1/(1+\alpha)}$, con lo cual se dispone de otra referencia para la corriente I . Además, resulta $L/\lambda = (I_c/I_0)^{1+\alpha}$.



La relación entre I_c y la “corriente de cortocircuito” I_0 (cuando $X = 0$) define un coeficiente $\beta = I_c/I_0$ que permite transformar la Ec. 4 refiriendo la corriente I a I_c . Esta transformación se consigue partiendo de $I_0 = (I/I_0) \cdot (I_c/I_c) = (I/I_c) \cdot (I_c/I_0) = I_c \cdot \beta$.

Además, β también relaciona tensiones multiplicando por $r \cdot L$; es decir $\beta = \frac{I_c \cdot r \cdot L}{I_0 \cdot r \cdot L} = \frac{U_c}{U_g}$.

Surge así la “tensión de contaminación” $U_c = I_c \cdot r \cdot L = A^{\frac{1}{1+\alpha}} \cdot r^{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \cdot L$, que también se puede interpretar como la tensión que se desarrolla en el arco cuando éste tiene la longitud L y circulando la corriente I_c .

En efecto, si $U_a(L) = A \cdot L \cdot I_c^{-\alpha} = U_c = I_c \cdot r \cdot L$ resulta de inmediato que $I_c = (A/r)^{1/(1+\alpha)}$.

Reemplazando $L/\lambda = (I_c/I_0)^{1+\alpha}$ en la Ec. 4 resulta:

$$\bullet \quad x_L = (I - I_0) / (\beta^{1+\alpha} \cdot I_0^{-\alpha} - I_0) \quad \text{Ec. 5}$$

y teniendo en cuenta que $I_0 = I_c \cdot \beta$, se obtiene:

$$\bullet \quad x_L = \left[I_c^\alpha \cdot (I - \beta \cdot I_c) \right] / \left[\beta \cdot (I - I_c^{1+\alpha}) \right] \quad \text{Ec. 6}$$

Si bien se usa $\beta = I_c/I_0$ para transformar $x_L = f(I_0)$ en $x_L = f(I_c)$, pueden estudiarse ambas funciones en relación a $\beta = I/(U_g/U_c) = I/v_c$.

También se puede reescribir la expresión $U_a/U_g = v_{ag} = x_L \cdot I_0^{-\alpha}$, ya obtenida en [4], expresando la tensión en el arco en relación a U_c , la corriente en relación a I_c y la longitud del arco en relación a L . El resultado es una versión dual de la fórmula anterior:

$$\bullet \quad \frac{U_a}{U_c} = v_{ac} = x_L \cdot I_c^{-\alpha} \quad \text{Ec. 7}$$

Conviene tener en cuenta que U_g e I_0 son “reales”, mientras que U_c e I_c son valores “ficticios” que vinculan la contaminación (r y L) y el arco (A , α y $X = 0$), siendo β la relación que indica cuánto valen respectivamente los valores “reales” respecto de los “ficticios”.

Con estas aclaraciones, las Ec. 5 y Ec. 6 permiten determinar los posibles valores de la longitud del arco X que coexiste con la contaminación $r \cdot (L - X)$, mientras circula una corriente I que se puede relacionar con I_0 o con I_c .

Las curvas de las Fig. 2 y Fig. 3 muestran $x_L = f(I_0)$ de la Ec. 5. En la Fig. 2 I_0 varía entre 0 y I , mientras que en la Fig. 3 I_0 varía entre I y I_0 , y para diferentes valores de $\beta = v_c^{-1}$, como se indica en los respectivos gráficos.

En las Fig. 4 y Fig. 5 se dibuja $x_L = f(I_c)$. En la Fig. 4, I_c varía entre 0 y I y para valores de $\beta = v_c^{-1}$ como en la Fig. 2. En la Fig. 5, I_c varía entre I y I_0 y para $\beta = v_c^{-1}$ como en la Fig. 3.

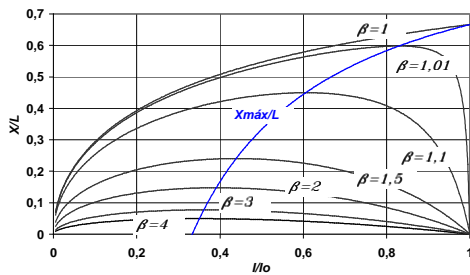


Fig. 2.- Gráficas de $x_L = f(I_0)$ ($I_0 < I$) (Ec.5)

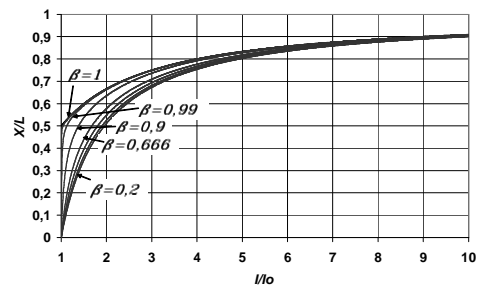


Fig. 3.- Gráficas de $x_L = f(I_0)$ ($I_0 > I$) (Ec.5)

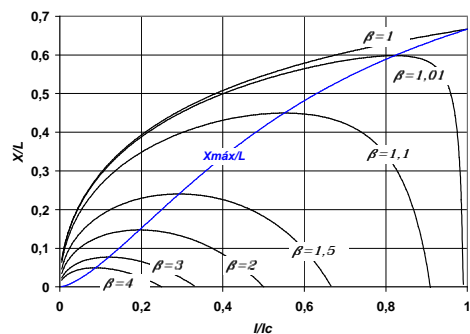


Fig. 4.- Gráficas de $x_L = f(I_c)$ ($I_c < I$) (Ec.6)

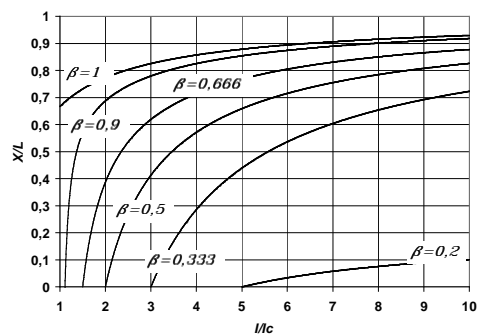


Fig. 5.- Gráficas de $x_L = f(I_c)$ ($I_c > I$) (Ec.6)

Es fácil determinar que para $I_0 = I_c = I$ (o $I = I_0 = I_c$) resulta $x_L = I/(I + \alpha)$ y para $I_0 = I_c \rightarrow \infty$, $x_L = I$. Esta última situación significa el arco extendido a L e I infinita, debido a que en el modelo teórico el generador de tensión es supuesto de potencia también infinita.

Ambos juegos de curvas, obviamente, permiten obtener el mismo valor de x_L . La forma de variación de este parámetro es parecida, con la característica de que para el caso de la variación respecto de I_0 todas las curvas cruzan el cero en $I_0 = I$, mientras que para I_c el cruce ocurre para $\beta \cdot I_c = I$, valor que no es otro que $I_0 = I$.

Las curvas correspondientes a $\beta = v_c^{-1} = 1$, es decir $U_g = U_c$ e $I_0 = I_c$, son idénticas en ambos gráficos: la curva parte de $(0,0)$; pasa por $(1, I/(I + \alpha) = 0,6666)$ y tiende a I tanto para I_0 como para I_c , ambas tendiendo a ∞ .

El objetivo de la representación en dos gráficos de x_L es mostrar que en las Fig. 2 y Fig. 4 la variación de este parámetro indica que para dos valores diferentes de corriente le corresponde un mismo valor de longitud de arco X establecido posible. Este hecho es ya conocido y son estables los valores desde los máximos (según el valor de U_g en relación a U_c) y hacia la derecha de dichos máximos [4].

3. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD MÁXIMA DEL ARCO CON FUNCIONAMIENTO ESTABLE

La mecánica de las bandas secas tiende a extender la longitud del arco, por lo que resulta de interés conocer cuál es la situación de $x_{L\text{máx}}$, tanto en función de I_0 como de I_c . Si bien un enfoque habitual es el de la derivada, se aprovechan en este trabajo los resultados ya obtenidos en [4].

En efecto, de [4] y con información referida a I_0 , resulta: $X_{m\acute{a}x} = \left(\alpha^\alpha \cdot U_g^{1+\alpha} \right) / \left((I + \alpha)^{1+\alpha} \cdot A \cdot R^\alpha \right)$

Esta expresi3n se deriva de la situaci3n de tangencia de la curva del arco con la del dipolo activo lineal para el cual corresponde:

$$\bullet R = r \cdot L \cdot (I - X_{m\acute{a}x}/L) \quad \text{Ec. 8}$$

Reemplazando este valor y relacionando $X_{m\acute{a}x}$ con L resulta:

$$\frac{X_{m\acute{a}x}}{L} = \frac{I}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{I + \alpha} \right)^{1+\alpha} \cdot \left(\frac{U_g}{L} \right)^{1+\alpha} \cdot \frac{I}{A \cdot r^\alpha \cdot (I - X_{m\acute{a}x}/L)^\alpha} = \frac{I}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{I + \alpha} \right)^{1+\alpha} \cdot \left(\frac{U_g}{r \cdot L} \right)^{1+\alpha} \cdot \frac{I}{A/r \cdot (I - X_{m\acute{a}x}/L)^\alpha}$$

Teniendo en cuenta las definiciones de $I_C = (A/r)^{1/(1+\alpha)}$ y de $I_0 = U_g/(r \cdot L)$, y llamando $x_{Lm\acute{a}x} = X_{m\acute{a}x}/L$, la f3rmula anterior pasa a ser:

$$x_{Lm\acute{a}x} = \frac{I}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{I + \alpha} \right)^{1+\alpha} \cdot \left(\frac{I_0}{I_C} \right)^{1+\alpha} \cdot \frac{I}{(I - x_{Lm\acute{a}x})^\alpha} = \frac{I}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{I + \alpha} \right)^{1+\alpha} \cdot \left(\frac{I}{\beta} \right)^{1+\alpha} \cdot \frac{I}{(I - x_{Lm\acute{a}x})^\alpha}$$

Por otra parte, tambi3n en [4], en el ya mencionado punto de tangencia, $\alpha/(I + \alpha)$ es la relaci3n entre la corriente circulante I y la corriente limitada, en este caso, por el valor de R de la Ec.8, o sea $I_0^* = U_g / [r \cdot L \cdot (I - x_{Lm\acute{a}x})]$

Entonces $\frac{\alpha}{I + \alpha} = \frac{I}{I_0^*} = \frac{I}{I_0^*} \cdot \frac{I_0}{I_0} = \iota_0 \cdot \frac{I_0}{I_0^*} = \iota_0 \cdot (I - x_{Lm\acute{a}x})$ y este nuevo reemplazo determina:

$$\bullet x_{Lm\acute{a}x} = \iota_0^{1+\alpha} / (\alpha \cdot \beta^{1+\alpha} + \iota_0^{1+\alpha}) \quad \text{Ec. 9}$$

La Ec. 9 s3lo interesa para el punto donde coincide con la Ec. 5. La igualdad de estas dos f3rmulas permite obtener $\beta^{1+\alpha} = \iota_0^{1+\alpha} / (\iota_0 \cdot (I + \alpha) - \alpha)$, valor que transforma la Ec. 9 en:

$$\bullet x_{Lm\acute{a}x} = I - \alpha / ((I + \alpha) \cdot \iota_0) \quad \text{Ec. 10}$$

Por otra parte, reemplazando $\iota_0 = \iota_c \cdot \beta$ en la Ec. 9, resulta:

$$\bullet x_{Lm\acute{a}x} = \iota_c^{1+\alpha} / (\alpha + \iota_c^{1+\alpha}) \quad \text{Ec. 11}$$

En las Fig. 2 y Fig. 4 se muestran respectivamente las gr3ficas de las Ec. 10 y Ec. 11, que corresponden a los lugares geom3tricos de los m3ximos estables, que adem3s pasan por $(I, I/(I + \alpha))$ cuando $U_g = U_c$ y $I_0 = I_c$.

Ambas curvas y las correspondientes a $x_L = f(\iota_0)$ y $x_L = f(\iota_c)$, para $U_g = U_c$ e $I_0 = I_c$, coinciden en el mismo punto. Adem3s se observa que β aparece como par3metro en las gr3ficas de $x_L = f(\iota_0)$ y $x_L = f(\iota_c)$.

En definitiva, como en β se encuentran impl3citamente contenidos los valores de U_c e I_c y estos dos 3ltimos par3metros aparecen en funci3n de la contaminaci3n y de las caracter3sticas que definen el establecimiento de un arco en la zona en aire de la banda seca, resulta m3s ilustrativo continuar el estudio con el enfoque de ι_c .

Siguiendo con este criterio, la f3rmula de la Ec. 11 informa que para el rango de variaci3n de $\iota_c > I$, $x_{Lm\acute{a}x}$ tiende a I , o sea $X=L$. Pero la forma de obtenci3n de dicha Ec. 11 surge de pasar por los m3ximos de $x_L(\iota_c)$, que para $\iota_c > I$ se transforman en m3nimos para valores de ι_c que

progresivamente disminuyen de I a 0 . Esto último significa que después de superar $(I, I/(1+\alpha))$ sólo se consigue que $I > I_c$ si $U_g < U_c$.

Pero también $I > I_c$ se puede conseguir si $U_g > U_c$, situación que significa o un aumento de U_g o disminución de U_c (aumento de la contaminación, y en consecuencia disminución de r).

Teniendo en cuenta entonces que $U_g > U_c$, para la Ec. 6 se presenta la gráfica de la Fig. 5 y se puede apreciar que x_L no muestra máximos ni mínimos.

Este último detalle abre las puertas de la inestabilidad. En efecto, inclusive para $U_g \geq U_c$, un aumento de x_L significa otro tanto para t_c y viceversa, y en consecuencia un proceso acumulativo hasta el contorneo.

A modo de ejemplo, en la Fig 6 se muestra cómo sería el desarrollo de $t_c = f(x_L)$ para $x_L = x_{Lm\acute{a}x}$ desde 0 a $0,666$, (tramo estable y correspondiente a la curva de $x_{Lm\acute{a}x}$ en la Fig. 4), y continuando desde $0,666$ a 1 para $v_c = 1$ o sea $U_g = U_c$, (tramo inestable).

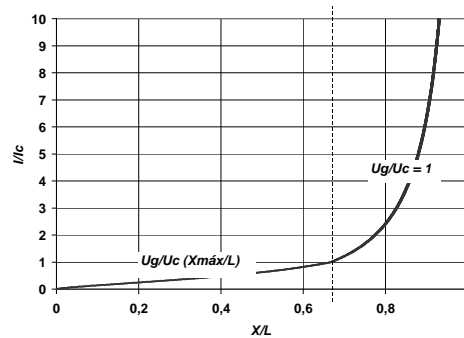


Fig. 6.- Tramos estable e inestable de $t_c = f(x_L)$

Otro punto de vista del análisis consiste en despejar $\beta = v_c^{-1}$ de la Ec. 6 con lo que resulta:

$$\bullet \quad v_c = (x_L \cdot (1 - t_c^{1+\alpha}) + t_c^{1+\alpha}) / t_c^\alpha \quad \text{Ec. 12}$$

En las Fig. 7 y Fig. 8 se grafica $t_c = f(v_c)$ de la Ec. 12. En el gráfico de la Fig. 7, t_c varía entre 0 y 1 y se muestran algunas curvas de x_L para $0 \leq x_L \leq 0,6666$. Para el gráfico de la Fig. 8 $t_c \geq 1$ y $0,6666 \leq x_L \leq 1$.

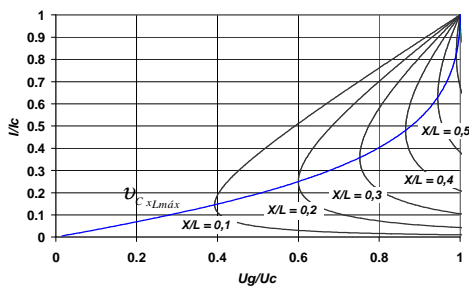


Fig. 7.- Gráficas de $t_c = f(v_c)$ ($t_c < 1$)(Ec.12)

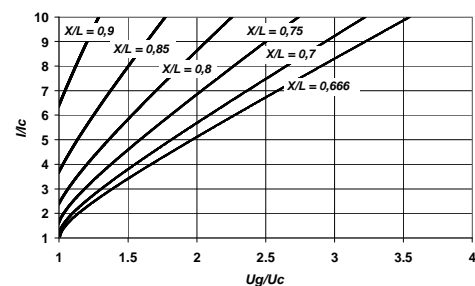


Fig. 8.- Gráficas de $t_c = f(v_c)$ ($t_c > 1$)(Ec.12)

Para la situación de $x_{Lm\acute{a}x}$ también surge de [4] que $U_d/U_g = 1/(1+\alpha)$.

Haciendo intervenir a U_c resulta $1/(1+\alpha) = (U_d/U_c) \cdot (U_c/U_g)$ y teniendo en cuenta la Ec.7 se consigue $1/(1+\alpha) = x_{Lm\acute{a}x} \cdot t_c^{-\alpha} \cdot U_c/U_g$, y con la Ec.10 se puede establecer:

$$\bullet v_{C x_{Lm\acute{a}x}} = \frac{U_g}{U_C} = \left[\left(\frac{I}{I+\alpha} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{\iota_C} + \iota_C^\alpha \right) \right]^{-1} = \frac{(I+\alpha) \cdot \iota_C}{\alpha + \iota_C^{1+\alpha}} \quad \text{Ec. 13}$$

En la Fig. 7 se muestra la gráfica de la Ec. 13 (curva de $v_{C x_{Lm\acute{a}x}}$) y se puede ver que resulta el lugar geométrico de los mínimos de v_C , condición equivalente a la de mayor longitud de arco estable. También resulta I creciente con U_g para cada $x_{Lm\acute{a}x}$ estable. Este crecimiento llega a un máximo maximorum con $I = I_C$ y $U_g = U_C$, siendo $x_{Lm\acute{a}x} = I/(I+\alpha) = 0,6666$.

La curva de $v_{C x_{Lm\acute{a}x}}$ se repite en la Fig. 9, cuando $I < I_C$ para $x_{Lm\acute{a}x}$, y con dos posibles evoluciones de ese parámetro cuando $I > I_C$.

Una de dichas evoluciones se obtiene con $v_C \geq I$, es decir $U_g > U_C$, para el cual a los fines de ejemplo se adopta la curva para $x_L = 0,666$ de la Fig. 8, dando el tramo creciente a partir de (I, I) a la derecha en la Fig. 9 (tramo de carácter inestable).

La otra evolución, también para corriente creciente, se consigue continuando la Ec. 13 para $v_C \geq I$, con lo que resulta la porción de gráfica también creciente a partir de (I, I) pero hacia la izquierda de la Fig. 9. Se aprecia que esta evolución de la curva obliga a la disminución de U_g , situación ya anticipada en el último comentario sobre la Ec. 11.

4. TENSIONES DE CONTAMINACIÓN EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD MÁXIMA DEL ARCO

Un último análisis de interés es determinar $v_C = f(x_{Lm\acute{a}x})$. Esta relación, además de completar información sobre el comportamiento del modelo estático encarado, brinda una función analítica para la variación gráfica analizada en la página 77 de [3].

Despejando de la Ec. 11 resulta

$$\bullet \iota_C = \left[(\alpha \cdot x_{Lm\acute{a}x}) / (I - x_{Lm\acute{a}x}) \right]^{\frac{1}{1+\alpha}} \quad \text{Ec. 14}$$

Remplazando La Ec. 14 en la Ec. 12 se consigue:

$$\bullet v_C(x_{Lm\acute{a}x}) = \left((I+\alpha) / \alpha \right) \cdot (I - x_{Lm\acute{a}x})^{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \cdot (\alpha \cdot x_{Lm\acute{a}x})^{\frac{1}{1+\alpha}} \quad \text{Ec. 15}$$

La Ec. 15, es decir $U_g/U_C(x_{Lm\acute{a}x})$, es también $U_a/U_C(x_{Lm\acute{a}x}) + U_r/U_C(x_{Lm\acute{a}x}) = v_{aC}(x_{Lm\acute{a}x}) + v_{rC}(x_{Lm\acute{a}x})$.

El primer término de esta suma es la Ec. 7, con ι_C de la Ec. 14 y $x_L = x_{Lm\acute{a}x}$ dando:

$$\bullet v_{aC} = x_{Lm\acute{a}x} \cdot (I - x_{Lm\acute{a}x})^{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \cdot (\alpha \cdot x_{Lm\acute{a}x})^{\frac{-\alpha}{1+\alpha}} \quad \text{Ec. 16}$$

El segundo término resulta $\iota_C \cdot (I - x_L)$ y, con ι_C de la Ec. 14 y $x_L = x_{Lm\acute{a}x}$ se obtiene:

$$\bullet v_{rC} = (I - x_{Lm\acute{a}x})^{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \cdot (\alpha \cdot x_{Lm\acute{a}x})^{\frac{1}{1+\alpha}} \quad \text{Ec. 17}$$

Es fácil verificar que $v_{aC}/v_C = I/(I+\alpha)$, $v_{rC}/v_C = I/(I+\alpha)$ y que $v_{Cm\acute{a}x}$, $v_{aCm\acute{a}x}$ y $v_{rCm\acute{a}x}$ ocurren cuando $x_{Lm\acute{a}x} = I/(I+\alpha)$.

La Fig. 10 muestra la gráfica de las Ec. 15, Ec. 16 y Ec. 17.

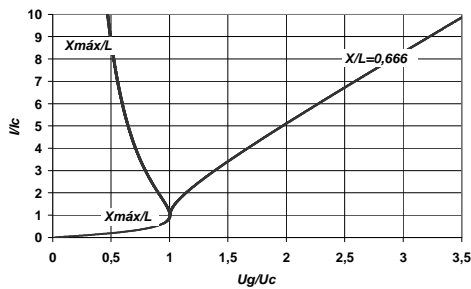


Fig. 9.- Posibles evoluciones de $U_C x L_{máx}$

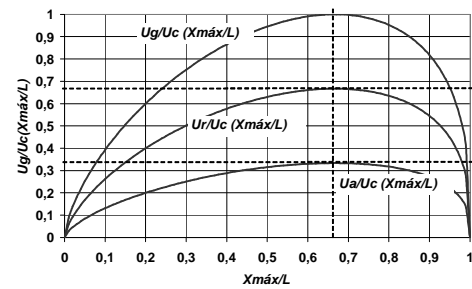


Fig. 10.- Gráficas de $U_C máx$, $U_a C máx$ y $U_r C máx$

5. CONCLUSIONES

La información presentada permite abordar completamente en forma teórica las aislaciones con contaminación que pueda considerarse uniformemente distribuida en su superficie.

Se estudia detalladamente el modelo propuesto y se destacan resultados y valores de diferentes parámetros de utilidad, como así también particularidades del funcionamiento del modelo.

La disponibilidad de la información en forma adimensional (universal o normalizada) permite estudiar situaciones reales para diferentes valores de tensión, longitud o contaminación (r) en forma inmediata.

Dado que la totalidad de las vinculaciones entre los parámetros y variables de interés involucrados en los modelos y procesos han derivado en expresiones analíticas, se facilitan posteriores tratamientos matemáticos, incluida la presentación gráfica de los mismos.

En particular, las representaciones gráficas facilitan la visualización de situaciones particulares o tendencias de las variaciones de los parámetros y variables. Como ejemplo de lo dicho se destacan las condiciones de estabilidad o no de la longitud del arco.

El esquema presentado puede aplicarse para otros estudios tales como:

- El desarrollo de t_c en función de la conductancia derivada de la contaminación ($\sigma \equiv r^{-1}$).
- El concepto de línea de fuga específica, el cual se utiliza, por ejemplo, para verificar la adecuada elección de un aislador en relación con la contaminación. Sería de interés vincular dicho concepto con el estudio anterior y los resultados posibles de U_c/L .
- Caso de tensión alterna aplicada.

Respecto de este último caso, y dado que en la gran mayoría de las aplicaciones los aisladores están sometidos durante su funcionamiento a tensiones alternas, se debe considerar el posible apagado del arco en la longitud X del modelo analizado, debido a que la tensión variable pasa indefectiblemente por cero.

Por esta razón, es más fácil el análisis de la situación y resultando más segura la evolución del circuito al contorno, si la tensión aplicada es continua.

Sin embargo, si es conocida la longitud X de la posible banda seca, puede aplicarse el procedimiento explicado en [4] para obtener el impulso de corriente y así determinar \hat{I} , valor que resulta en fase con \hat{U} . Entonces, y mientras $x_l < 0,666$, se pueden extrapolar los resultados en continua aplicados a los valores cresta de la tensión alterna aplicada y del impulso de corriente resultante.

Para longitudes de arco con $x_l > 0,666$, la inestabilidad que concluiría en el contorno del aislador ha sido estudiada experimentalmente en [2] y [3]. De dicho estudio resulta empíricamente la



condición que debe cumplir \hat{U} en relación a \hat{I} para asegurar la extensión del arco a toda la longitud L , condición que se debe satisfacer junto con las estáticas instante a instante.

El estudio que se presenta en ese trabajo ha sido encarado en forma adimensional y con perspectivas de poder aportar parámetros universales para el estudio, diseño o verificación de las características de la aislación según la contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Working Group 04 of Study Committee No. 33, “The measurement of site pollution severity and its applications to insulator dimensioning for A.C. systems”, Electra N° 64, mayo de 1979, p. 101-116.
- [2] G. Le Roy et al. “Les propriétés diélectriques de l’air et les très hautes tensions”, Collection de la Direction des Études et Recherches d’Électricité de France, vol 51, Capítulo XIV.
- [3] Technical Papers. Electra N° 78 octubre 1981. “Mathematical models for pollution flashover”.
- [4] M. Deorsola, P. Morcelle del Valle, “El arco eléctrico. Su estudio como elemento de circuito. Obtención de curvas universales para el análisis de su funcionamiento”. www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/tcieye/index.htm, Área Departamental Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.