

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



Efecto de la Altitud sobre las altas tensiones

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO ELECTÓNICO**

**ALBERTO ISMAEL, BEJARANO HEREDIA
Promoción 1985-I**

Lima - Perú

I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION	5
I EL AIRE COMO AISLANTE	9
1.1 Generalidades	9
1.2 Conductividad del Aire	11
1.3 Disrupción Dieléctrica	18
1.4 Efecto de la Densidad del Aire Sobre la Rígidez Dieléctrica	32
1.5 Efecto de la Humedad del Aire Sobre la Rígidez Dieléctrica	33
II DESCARGAS EN GRANDES INTERVALOS DEL AIRE	39
2.1 Corona Inicial	41
2.2 Características y Desarrollo del Líder	52
2.3 Parte Final de la Descarga	66
III FENOMENOLOGIA BASICA DE LAS REGIONES DE ALTA COTA	71
3.1 Generalidades	71
3.2 Perfil Geográfico	73
3.3 Zonificación Altitudinal del Perú	74
3.4 Apreciación de los Parámetros Meteorológicos	82

	Pag.
IV. DESARROLLO PERUANO EN ALTAS TENSIONES	96
4.1 Infraestructura Eléctrica en Alta Tensión	96
4.2 Facilidad de Laboratorio	100
4.3 Perspectivas de Desarrollo	115
V. TECNOLOGIA ACTUAL DE CORRECCIONES PARA ALTA COTA	127
5.1 Metodología Usual Aplicada	128
5.2 Metodologías Actualizadas	149
5.3 Aplicación al Diseño del Aislamiento de Una Línea de Transmisión en Alta Cota	162/
CONCLUSIONES	175
BIBLIOGRAFIA	177

INTRODUCCION

La explotación de los recursos hídricos concentrados en las Cuencas de la Selva Central y Selva Oriental, requerirá del desarrollo de Sistemas en Extra Alta Tensión para su canalización hacia los centros de consumo industrial, mediante largas Líneas Eléctricas que atravesarán los Andes.

La Ingeniería Nacional ha dado avances considerables en el dominio Técnico del Diseño de Líneas y Estaciones de Transformación hasta el nivel de 220 KV., sin embargo las condiciones ambientales, climatológicas y meteorológicas que impone la geografía peruana plantean difíciles interrogantes para la Ingeniería Peruana y desde luego para la Ingeniería Extranjera que no está compenetrada con una realidad como la nuestra con instalaciones de Alta Tensión en altitudes de hasta 5000 msnm.

La incidencia de los factores climatológicos y ambientales y la incertidumbre del comportamiento de los parámetros atmosféricos en los tramos de Alta Cota, introduce la probabilidad de riesgo en el Diseño de Infraestructura inutilmente sobredimensionadas con los siguientes costos honerosos no aprovechables; o infraestructura subdimensionada, de operacion deficiente y costosa explotacion por falta de confiabilidad.

Es ante este contexto que surge la necesidad de delinear una Tecnología de correccion por influencia de la altitud, mediante el desarrollo de Estudios e Investigaciones Aplicadas que faciliten - el desenvolvimiento de la Ingeniería en el País, conducentes a la elaboracion de Normas de Diseño. Esto como es sábido redundará en beneficio nacional, toda vez que se tendrá mayor economía en costos de equipamento y mantenimento.

I

EL AIRE COMO AISLANTE

1.1 Generalidades

La investigación de las propiedades eléctricas del aire representa no sólo un interés científico, sino también práctico. Cualquier instalación eléctrica dentro de las condiciones usuales de Diseño está rodeada de aire, por eso el desempeño de la misma depende en un modo esencial del comportamiento de este medio gaseoso bajo el campo eléctrico; luego, un gas como aislante debe cumplir una serie de exigencias, necesarias para el trabajo normal: baja conductividad, pequeño ángulo de pérdidas dieléctricas, no combustibilidad, estabilidad química, resistencia al calor, ausencia de propiedades tóxicas, así como la simplicidad y bajo costo de fabricación aunado a la facilidad de uso repetido.

De lo último se deduce la razón del uso del aire como aislante, el cual en condiciones normales cubre la mayoría, sino todas, las condiciones mencionadas; de otro lado, debemos tener presente que para los casos especiales no se trata de elegir rígorosamente ciertos tipos determinados de sustancias gaseosas en calidad de dieléctricos, sino, de examinar su comportamiento dieléctrico, como un estado definido de la sustancia, teniendo en cuenta que al variar - las condiciones, el carácter de la conductibilidad eléctrica puede cambiar de manera radical.

El aire es asimismo un fluido insípido, inoloro, e incoloro formado por una mezcla gaseosa de oxígeno, nitrógeno, criptón, helio, neón, ácido carbónico, vapor de agua y corpúsculos orgánicos; constituye la porción baja (tropósfera) de la atmósfera y es el medio natural en el que habitan los seres vivos.

La composición del aire seco (al nivel del mar) en porcentaje en volumen y en peso según el siguiente cuadro:

Nitrogeno N_2	78.23% en Vol.	75.70% en peso.
Oxígeno O_2	20.81% en Vol.	23.00% en peso.
Argón Ar.	0.90% en Vol.	1.24% en peso.
Anhidrido Cárbónico CO_2	0.03% en Vol.	0.05% en peso.
H_2 , Ne, He, Kr, X_2 , NH_3 , I, Rn	0.03% en Vol.	0.01% en peso.

La densidad del aire seco en condiciones normales, es igual a 1.293 Kg/m^3 .

1.2 Conductividad del Aire

Puede suponerse que la conductividad del aire molecular puro a tensiones y temperaturas moderadas, exento de cualesquier efecto ionizante tal como las radiaciones, es practicamente nula.

La electroconductibilidad de los gases se determina por la presencia en ellos de cierta cantidad de partículas cargadas; en condiciones normales, el número de dichas partículas (de los iones de gas o impurezas sólidas y líquidas que se encuentran en suspensión) por 1 m^3 -

de aire atmosférico no sobrepasa en promedio 10^{13}

El origen de los portadores de carga en el aire está determinado por diferentes factores: emisión radiactiva de la tierra; radiación que penetra del espacio cósmico, etc. La radiación ionizante estimula la conducción en el aire en considerable extensión según la cantidad absorbida y el volumen de gas sometido a tensión; la energía de la radiación debe superar, directa o indirectamente la energía de ionización de las moléculas del aire y producir de este modo un par iónico (ordinariamente un electrón y un ión positivo).

Para la fotoionización, tan sólo es eficaz directamente la luz ultravioleta de longitud de onda muy corta.

La radiación de alta energía procedente de la desintegración nuclear es una fuente común de ionización, las fuentes nucleares producen ordinariamente radiaciones gamma con una energía del orden de 10^6 eV. Al pasar a través de un gas de baja densidad sólo es absorbida una pequeña cantidad, el efecto es proporcional al flujo y a la densidad del aire. Una corriente muy pequeña, del orden de 10^{-21} A/cm³ en el aire, es atribuible a los rayos cósmicos y a la radiación natu

ral residual.

Los electrones (rayos beta) producen mucha más ionización en igual longitud de trayectoria que los rayos gamma, sin embargo son frenados por los choques y pierden su energía más rápidamente. Análogamente, las partículas alfa más lentas (núcleos de helio positivo) producen una ionización muy densa en el aire en una corta extensión. Una partícula alfa de 3 millones de eV tiene un recorrido en el aire de 1.7 cm. y origina un promedio de 6.8×10^6 pares iónicos. Una partícula beta de la misma energía sólo origina unos 40 pares iónicos/cm. con un recorrido de 13m.

La conductividad inducida térmicamente se produce a temperatura muy alta como resultado de la ionización por choque entre moléculas de gas agitadas a gran velocidad; esta ionización puede calcularse a partir de la Educación de Saha si conoce la energía de ionización; consecuentemente esta conductividad, en el aire, sólo llega a ser significativa por encima de 2000 °C.

Para calcular la, conductividad del aire partimos del hecho que al aplicar un campo eléctrico exterior los iones positivos y negativos van a moverse entre electrodos, superando la

resistencia de razonamiento del aire, con unas velocidades, respectivamente:

$$V_+ = \mu_+ E \qquad V_- = \mu_- E$$

donde: μ_+ y μ_- son las movilidades de los iones positivo y negativo.

La relación entre el número de iones positivos N_+ y negativos N_- que hay en 1m^3 de aire y el número de iones N_p que se recombinan en 1m^3 de aire durante 1s, tiene la siguiente forma:

$$N_p = \beta N_+ N_-$$

Aquí β , m^3/s es el coeficiente de recombinación de iones en el aire que posee un valor de $1.6 \times 10^{-9} \text{m}^3/\text{s}$.

En el caso estacionario $N_+ = N_- = N$, así que:

$$N_p = \beta N^2$$

Si la intensidad E del campo aplicado es muy pequeña, la velocidad V de la formación de iones en dirección a los electrodos será pequeña, mientras que la probabilidad de la recombi

nación de iones será grande.

La densidad de la corriente que pasa a través del gas, numéricamente es igual a la carga que se transfiere durante 1s por 1m^2 de superficie perpendicular a la dirección del campo E .

$$J = (N_+ V_+ + N_- V_-) q = Nq (V_+ + V_-)$$

En función de la movilidad μ y N_p :

$$J = q \sqrt{\frac{N_p}{\beta}} (\mu_+ + \mu_-) E$$

Como $J = \sigma E$, obtenemos una expresión para la conductividad:

$$\sigma = q \sqrt{\frac{N_p}{\beta}} (\mu_+ + \mu_-)$$

El cálculo demuestra que la conductividad del aire en campos débiles (conducción poco actual en la práctica) es aproximadamente 10^{-18} S/m .

Se ve que siendo pequeños los valores de la intensidad del campo eléctrico exterior cuando N_p , β , μ_+ y μ_- se les puede considerar constantes, la densidad de corriente en el -

gas es proporcional a la intensidad del campo aplicado, es decir en estas condiciones se cumple la ley de Ohm. En realidad, muchos experimentos comprueban, que en campos eléctricos muy débiles la ley de Ohm, para los gases se cumple con suficiente rigurosidad (sección OA de la fig. 1) sin embargo, con un aumento posterior de la intensidad del campo, la ley de Ohm ya no se cumple a cabalidad; esto está ligado con el crecimiento de la velocidad de los iones y la consecuente disminución brusca de la probabilidad de su recombinación; en este caso casi todos los iones formados en el gas se irán a los electrodos sin re combinarse.

La densidad de corriente J adquiere un valor asintótico $J = J_{sat}$ que es la densidad de la llamada corriente de saturación; esta zona se representa en el segmento AB de la fig. 1.

La saturación en el aire se logra para valores de E muy pequeños; en el caso, cuando la separación entre los electrodos es igual a 10 m.m., se alcanza ya a un nivel de E 0.5 V/m.

Para el siguiente aumento de E hasta un valor proximo a la rigidez dieléctrica

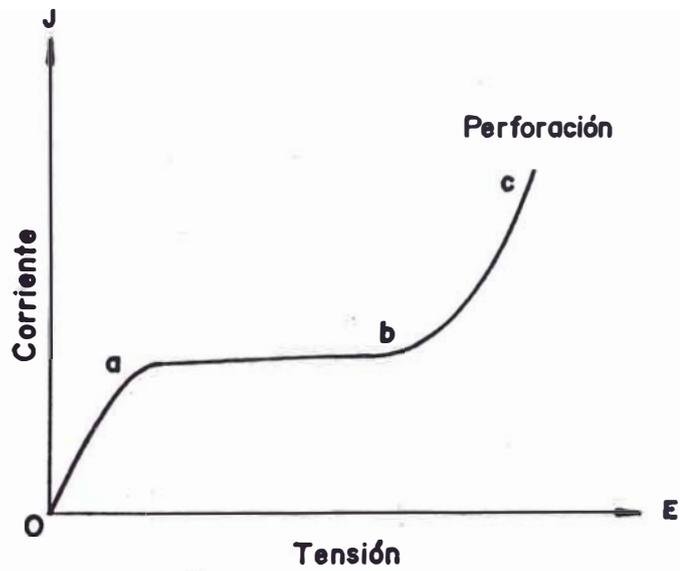


Fig. 1: Variación de la corriente con la tensión en un gas ligeramente ionizado

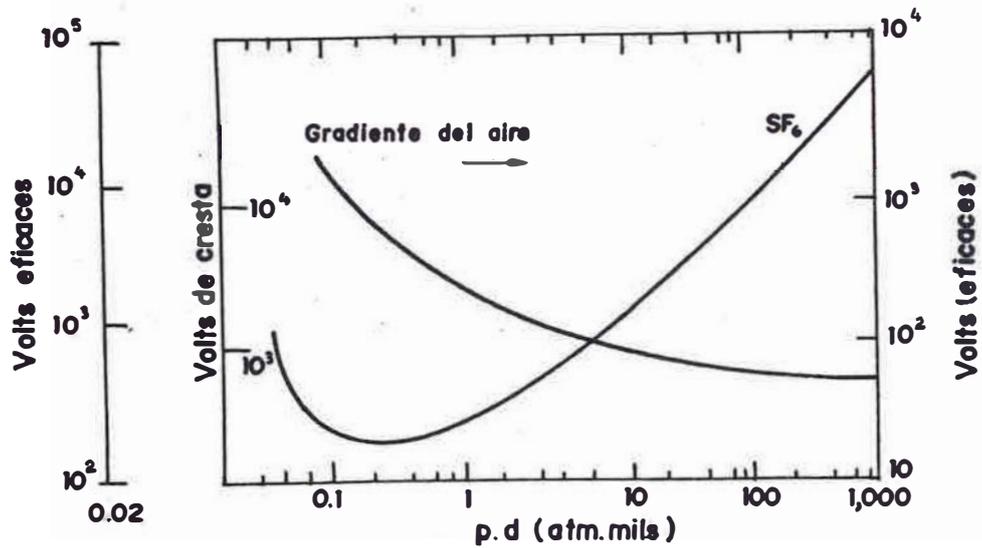


Fig. 2: Dependencia espaciado - presión de la rigidez dieléctrica de los gases (curvas de Paschen).

Erig, se crea la posibilidad de generación de más partículas cargadas en el campo eléctrico a causa del desarrollo de ionización por colisión; en este caso la curva de dependencia de J con respecto a E vuelve a subir bruscamente (Sección BC de la fig. 1).

Bajo los campos presisruptivos se crean las condiciones para la aparición de avalanchas y la corriente crece fuertemente hasta que para $E = E_{rup}$; surja la perforación del aire.

1.3 Disrupción Dieléctrica

Campos Uniformes.

La disrupción dieléctrica del aire es el resultado de la multiplicación exponencial de electrones libres inducida por el campo eléctrico aplicado. Ello queda indicado por el segmento BC de la fig. 1; generalmente se supone que la iniciación de la disrupción sólo precisa un electrón. Sin embargo, si antes de la disrupción sólo hay pocos electrones, no es posible fácilmente medir la tendencia de la corriente.

Si la disrupción se realiza entre los electrodos metálicos, la chispa se convierte de un modo extremadamente rápido en un arco e -

implica una copiosa emisión de electrones desde el metal catódico y, si se permite que circule la corriente necesaria (siendo suficiente la potencia de la fuente de corriente), se produce la vaporización del metal de los electrodos.

En campos eléctricos uniformes, la disrupción se produce a una tensión crítica que es función del producto de la presión P y la separación D (Ley de Paschen), tal como se ilustra en la fig. 2 para diversos gases. La relación indicada entre la tensión y el producto $P \times D$ es aplicable a temperatura constante (20°C en el caso ilustrado).

Sería más exacto considerar el producto densidad del gas - separación, puesto que la rigidez dieléctrica varía con la temperatura tan solo en la medida en que ésta afecta a la densidad del gas. Nótese que el campo eléctrico correspondiente a la disrupción disminuye al aumentar la separación; esto es característico de todos los gases y es debido al hecho de que antes de que se produzca la disrupción debe tener lugar una mínima cantidad de multiplicación de electrones.

Un único electrón acelerado por el campo crea una avalancha que crece exponencialmente -

como $e^{\alpha d}$, en la que d es la separación y α el coeficiente de ionización de Townsend (número de electrones formado por colisión por centímetro), que aumenta rápidamente al aumentar el campo eléctrico. A espacios mas pequeños, α y el campo deben alcanzar niveles superiores, a fin de producir multiplicación suficiente. Realmente, se ha encontrado que el valor αd correspondiente a la perforación en aire a presión atmosférica aumenta desde aproximadamente 1 para separaciones del orden de 10^{-3} cm. (10 m) hasta 45 para separaciones de 10 cm. El grado de multiplicación requerido depende del número de electrones secundarios - formados por avalancha, que a su vez inician otras avalanchas; con separaciones mayores, las avalanchas llegan a ser tan grandes que provocan una distorsión del campo, de la carga especail y de la descarga inicial de disrupción.

En la tabla 1 se incluye la rigidez dieléctrica del aire para separaciones de grandes esferas, elegida del IEEE Standard 4 (revisión del AIEE Stardard 4). Estos valores standard también indican la tendencia a disminuir, de la tensión disruptiva unitaria al aumentar la separación.

Separación entre esferas, cm	Diámetro de la esfera, cm					
	6.25		12.5		25	
	Tensión de cresta, en kV, a 60 hertz e impulso negativo	Tensión de cresta, en kV, a 60 hertz e impulso positivo	Tensión de cresta, en kV, a 60 hertz e impulso negativo	Tensión de cresta, en kV, de impulso positivo	Tensión de cresta, en kV, de impulso negativo	Tensión de cresta, en kV, de impulso positivo
0.5	17.0	17.0				
1.0	31.3	31.3	31.7	31.7		
1.5	44.5	44.8	44.5	44.9		
2.0	57.0	57.4	58.0	58.0		
2.5	68.8	69.3	70.8	70.8	72	72
3.0	78.8	79.4	83.5	83.5		
3.5	86.6	88.0	95.0	95.3		
4.0	93.6	.....	106.0	108.0		
4.5	99.8	.....	117.0	120.0		
5.0	105.5	.....	127.0	132.3	136	136
5.5	.....	.....	135.3	142.5		
6.0	.....	.....	143.5	153.8		
6.25	.....	.....	147.3	158.0		
7.0	.....	.....	157.7	171.0		
7.5	.....	.....	.....	.....	192	196
8.0	.....	.....	170.5	.....	
9.0	.....	.....	182.0	.....	
10.0	.....	.....	192.0*	.....	241	252
11.0	.....	.....	200.0*	.....	
12.0	.....	.....	208.0*	.....	
12.5	.....	.....	211.0*	.....	278	296
15.0	.....	.....	.....	.....	309	334
17.5	.....	.....	.....	.....	338	364
20.0	.....	.....	.....	.....	362	390
22.5	.....	.....	.....	.....	379	409
25.0	.....	.....	.....	.....	393	426

* Estos valores se han de utilizar tan sólo con frecuencias de potencia. Cuando se emplean estos valores, el error puede no encontrarse dentro del 3 % especificado.

Tabla 1: Tensiones de cresta de descarga en forma de chispa entre esferas separadas. (Condensado de la AIEE Standard n.º 4, 1953)
A 25 °C y presión barométrica de 760 mm con una esfera puesta a tierra.

El desarrollo del proceso de la perforación del gas en condiciones normales ocupa un tiempo muy corto, del orden de microsegundos y menos; a causa de esto, para la perforación en corriente alterna con frecuencia hasta cientos y miles de hertzios el valor de amplitud de la tensión disruptiva es prácticamente igual al de la tensión disruptiva de corriente continúa (tomamos en cuenta la perforación en el espacio gaseoso para un campo relativamente uniforme; para valorar esto tengase en cuenta que la anchura de la parte de la sinusoide, en la que las ordenadas se diferencian de las magnitudes de amplitud no más que en un 5%, es cerca del 20% del semiperiodo. El valor de la tensión disruptiva primeramente disminuye un poco, al seguir aumentando la frecuencia, pero luego crece (fig. 3).

Para la perforación del gas con impulsos de tensión de corta duración, el valor de la tensión disruptiva durante los impulsos resulta mayor que el de la tensión disruptiva de corriente continúa o de corriente alterna de baja frecuencia.

La relación entre la tensión disruptiva impulsional de duración y forma dada, y la tensión disruptiva del mismo intervalo para la co

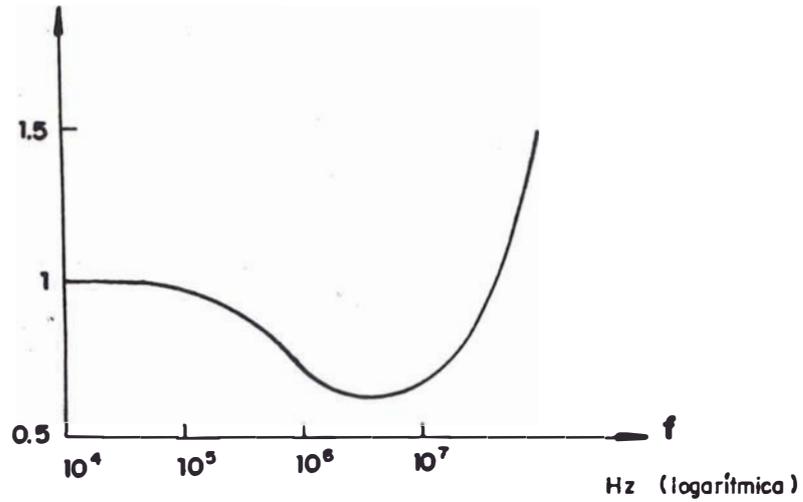
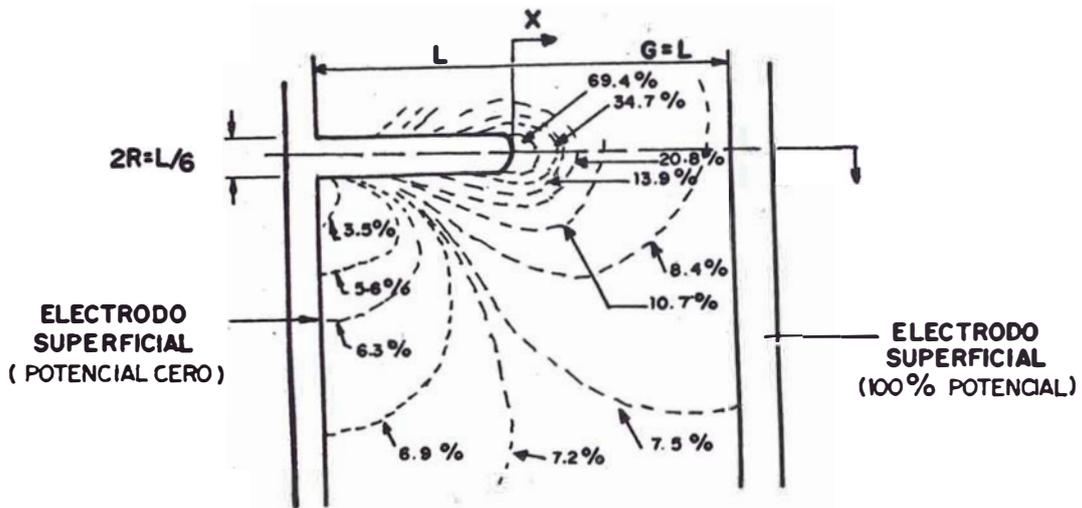


Fig. 3.- Relación del valor de la tensión disruptiva a tensión alterna respecto a la tensión disruptiva para tensión constante

Fig. 4.- Distribución de campo eléctrico en el eje del electrodo



4.- (a) Mapa de líneas de igual esfuerzo de campo eléctrico

riente alterna de baja frecuencia, se denomina - coeficiente de impulso.

- Campos No Uniformes - Efecto Corona.

Si tenemos un campo muy heterogéneo, entonces al aumentar la tensión, la descarga en el gas ocurre primero sólo en los lugares con - intensidad más alta de campo eléctrico (en los aguzamientos o en general, en los lugares de máxima curvatura), sin extenderse por todo el - espacio entre los electrodos; una interpretación física de la descarga requiere un conocimiento detallado del campo eléctrico y de su distribución en el espacio inter-electrodos. El caso de una longitud G , igual a la longitud al plano L (con $L = 12R$) es tratado en la fig. 4. la intensidad de campo en el centro del promotorio - es asignada con el 100 %, se muestra la distribución a lo largo de la línea axial del electrodo para diversa separaciones.

Cuando la relación entre la separación y el radio de curvatura del conductor es aproximadamente 3 ó menor, la disrupción tiene lugar sin que la preceda el efecto corona; la tensión de disrupción se controla mediante la - integral del coeficiente de Townsend de ioniza-

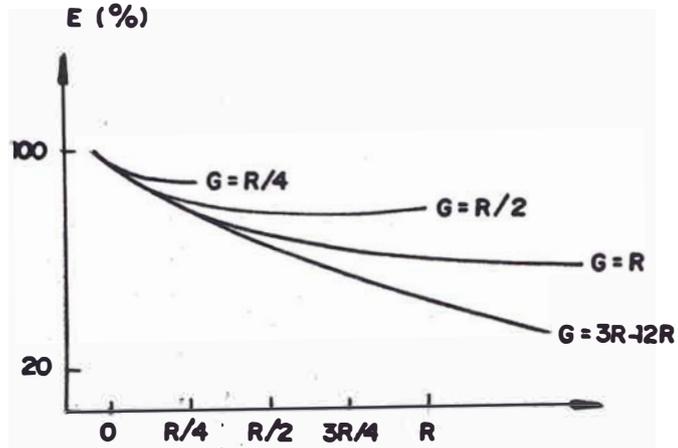


Fig. 4:- (b) E versus X

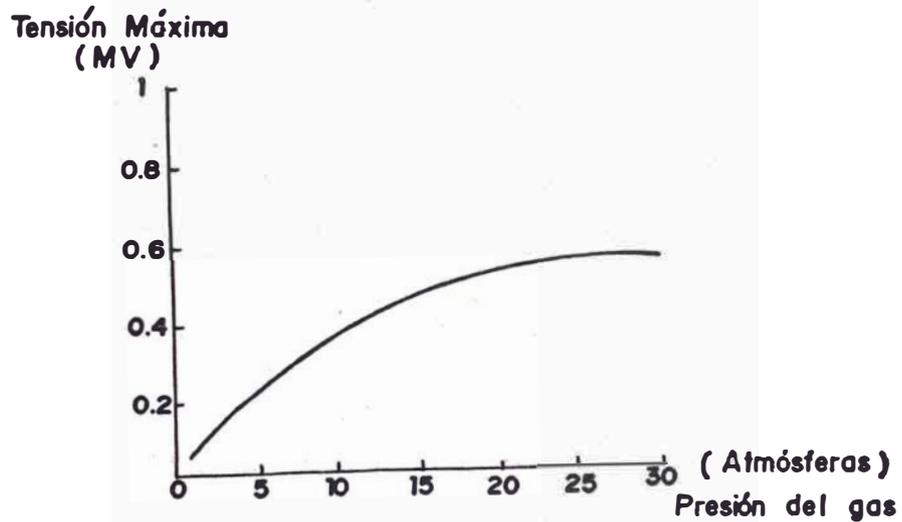


Fig. 5:- Perforación del aire, 12.7mm de separación y campo uniforme

ción, α , a lo largo de la distancia de separación; a valores superiores de la relación entre la separación y el radio de curvatura, la descarga por efecto corona se produce a niveles de tensión inferiores al de disrupción completa.

De acuerdo con Peek, el efecto corona en el aire a la presión atmosférica se produce antes que la disrupción, cuando la relación entre el radio exterior y el radio interior de electrodos es superior a 2.72 o cuando la relación entre la separación de esferas y el radio de la esfera es superior a 2.04; éstas descargas alcanzan a cierta distancia más allá del conductor de pequeño radio, pero no se prolongan por la región del campo eléctrico más débil, hasta que se alcanza un nivel de tensión más elevado.

El conocimiento actual del efecto corona es aún incompleto y es el resultado de estudios y experimentos de muchos investigadores. Una de las primeras investigaciones fué realizada alrededor de 1,910 por la General Eléctrica Company bajo la dirección de F.W. Peek. Los estudios de Peek llegaron a ser la norma aceptada para la relación de los tamaños del conductor a fin de evitar las perturbaciones por efecto coro

na. Previamente el profesor H.J. Ryan había -
propuesto una fórmula para la tensión de corona
segura la cual denominó "Tensión Crítica", reco-
mendando que las líneas se hagan funcionar por
debajo de esta tensión; las tensiones que reco-
mendó fueron del mismo orden, en general, que -
las halladas mediante los estudios de Peek.

Los estudios de Peek se realizaron -
antes de que se considerasen los conductores en
haz para el transporte a alta tensión y antes -
del desarrollo del Radio Receptor; estudios de
terminaron que las líneas deben hacerse funcio-
nar por debajo de la tensión disruptiva crítica,
con tiempo bueno que es la tensión inicial de
las pérdidas por efecto corona. Peek llegó a
las conclusiones siguientes ;

El gradiente disruptivo del aire G_0
es constante para conductores de todos los mate-
riales y bajo todas las frecuencias de oscila-
ción siendo de 21.1 KV/cm. eficaz o 29.8 KV/Cm.
de cresta.

$$G = \frac{E}{r \ln S/r}$$

En la que E es la tensión crítica disruptiva en KV al neutro; r = es el radio del conductor en cm.; s la distancia real entre conductores en cm.

E en KV eficaces al neutro, con tiempo bueno, se halla mediante:

$$E = 21.1 m_0 r s \text{ en (s/r)}$$

$$S = \text{Factor de densidad del aire} = \frac{3.92b}{273 + t}$$

b = Presión barométrica en cm.

t = Temperatura ambiente en °C.

M_0 = Factor de irregularidad, que es la unidad para conductores lisos pulidos redondos, macizos o tubulares; 0.93 a 0.98 para conductores macizos, asperos y erosionados y 0.80 a 0.87 para cables trenzados de hasta una pulgada de diámetro. El valor de 0.8 corresponde a cable nuevo aumenta con la edad hasta el valor superior. Es casi el mismo para cableados normales pero para los cables de cordones puede llegar a ser 0.7. Los valores de E cuando se emplean para circuitos trifásicos son aplicables a una disposición según un triángulo equilátero; para líneas con disposición plana, tanto si son ho

rizontales y verticales, establece que E debe reducirse 4% para el conductor central y aumenta un 6% para los exteriores, viendo la separación utilizada $S_{1-2} = S_{2-3} = S_{1-3}/2$. Para tiempo lluvioso E es aproximadamente el 80% de los valores calculados para buen tiempo.

Peek encontró que las pérdidas por efecto corona son proporcionales a la frecuencia; en corriente continua, las pérdidas varían entre una cuarta parte, y la mitad a 60 Hertz para la tensión máxima, el humo reduce la tensión crítica y aumenta las pérdidas; la niebla, la cellisca, las tormentas de lluvia y las de nieve disminuyen todas ellas la tensión crítica y aumenta las pérdidas. La lluvia provoca un aumento muy marcado en las pérdidas, - podemos dar inicialmente la expresión siguiente:

$$P_c = A \cdot f (U - U_c)^2$$

P_c = Potencia de consumo por efecto corona (W)

A = Es una cte. que depende de la forma y dimensiones del conductor, de la densidad del aire, etc, (W/v^2).

f = Es la frecuencia en Hertz.

U = Es la tensión de fase.

U_c = Es la tensión crítica.

La fórmula es válida para $U \geq U_c$.

Diversos trabajos han mostrado que las sobretensiones de maniobra son distorsionadas y atenuadas por efecto corona. R. S. - Harrington y M. Alghahi desarrollaron un modelo de cálculo del efecto corona sobre las sobretensiones transitorias, basandose en el gradiente de tensión del conductor y asumiendose una distribución cilíndrica y uniforme alrededor del conductor para el cálculo de la generación y distribución de la carga espacial por corona. - Aunque debido a la presencia de la tierra el campo cilindrico y además la capa de carga espacial no son concéntricas con el conductor. El efecto de este campo no uniforme en el cálculo de la generación y distribución de la carga espacial de corona no es felizmente apreciable.

Para los impulsos de origen atmosférico, debido a la corta duración del frente de los impulsos, la distancia de viaje de los iones es muy pequeña, del orden de décimas de milímetros; en ésta región alrededor de las líneas de transmisión prácticas, el campo eléctrico es muy cercanamente cilíndrico.

En el caso de sobretensiones de manio-
bra donde los iones tienen oportunidad de difun-
dirse en alguna extensión en el espacio, el error
que se introduce por la no uniformidad del cam-
po eléctrico no es significativo; la distancia -
que los iones pueden viajar es generalmente del
orden de algunas décimas de metros.

Como el análisis de la corriente de
corona es por unidad de longitud de la línea, la
inclusión de corriente de corona en los sistemas
de transmisión, necesita un tratamiento especial
de la línea como una interconexión en serie de
un número de cortas secciones; las longitudes de
estas secciones depende del frente de onda de la
tensión que viaja a lo largo de la línea, se re-
comienda una división en tramos de decenas de ki-
lómetros para sobretensiones de maniobra y de al-
gunos cientos de metros para impulsos atmosféri-
cos.

Para poder realizar el cálculo se re-
quiere tener facilidades de un sistema de compu-
tación.

1.4 Efecto de la Densidad Del Aire Sobre La Rigidez

Dieléctrica

De acuerdo a la ley de Paschen la presión y la temperatura (moderada) afectan a la rigidez dieléctrica tan sólo en la medida en que afectan a la densidad del gas, la IEEE Standard 4 establece los factores de corrección para el efecto relativo de la presión sobre la separación crítica entre esferas.

La rigidez dieléctrica puede incrementarse notablemente aumentando la presión (y por consiguiente la densidad); a presiones moderadas, el aumento de rigidez es algo menor que el valor proporcional a la presión normal; a presiones superiores, el aumento llega a ser apreciablemente menor al valor proporcional a la presión normal - como se indica en la fig. 5.

Si bien es posible calcular por fórmulas conocidas (5) la densidad del aire en función de la presión y temperatura, su utilización como factor de corrección, aún no ha podido ser claramente definido para su aplicación a los esfuerzos eléctricos; una revisión del mismo se desarrolla en el capítulo IV.

1.5 Efecto De La Humedad Del Aire Sobre La Rigidez Dieléctrica

El aire atmosférico siempre contiene cierta cantidad de vapores de agua. El contenido de los vapores de agua en el aire se puede valorar mediante distintos métodos:

- a) Humedad Absoluta Del Aire (g/m^3), cantidad (masa) de los vapores de agua que se hallan en unidad de volumen del aire.
- b) Humedad Relativa Del Aire (%), relación entre la humedad absoluta del aire y la humedad absoluta de saturación (para los mismos valores de presión y temperatura) expresada en porcentaje.

Al utilizar al aire como dieléctrico en los aislamientos de interperie, es de suponer que todo elemento extraño en mayor o menor grado de concentración como es el caso del agua, tendrá que influir en el sostenimiento de las tensiones aplicadas.

Se ha establecido que para ciertas disposiciones de intervalos de aire y determinados esfuerzos eléctricos, un incremento de la humedad conduce a un aumento de la tensión disrup-

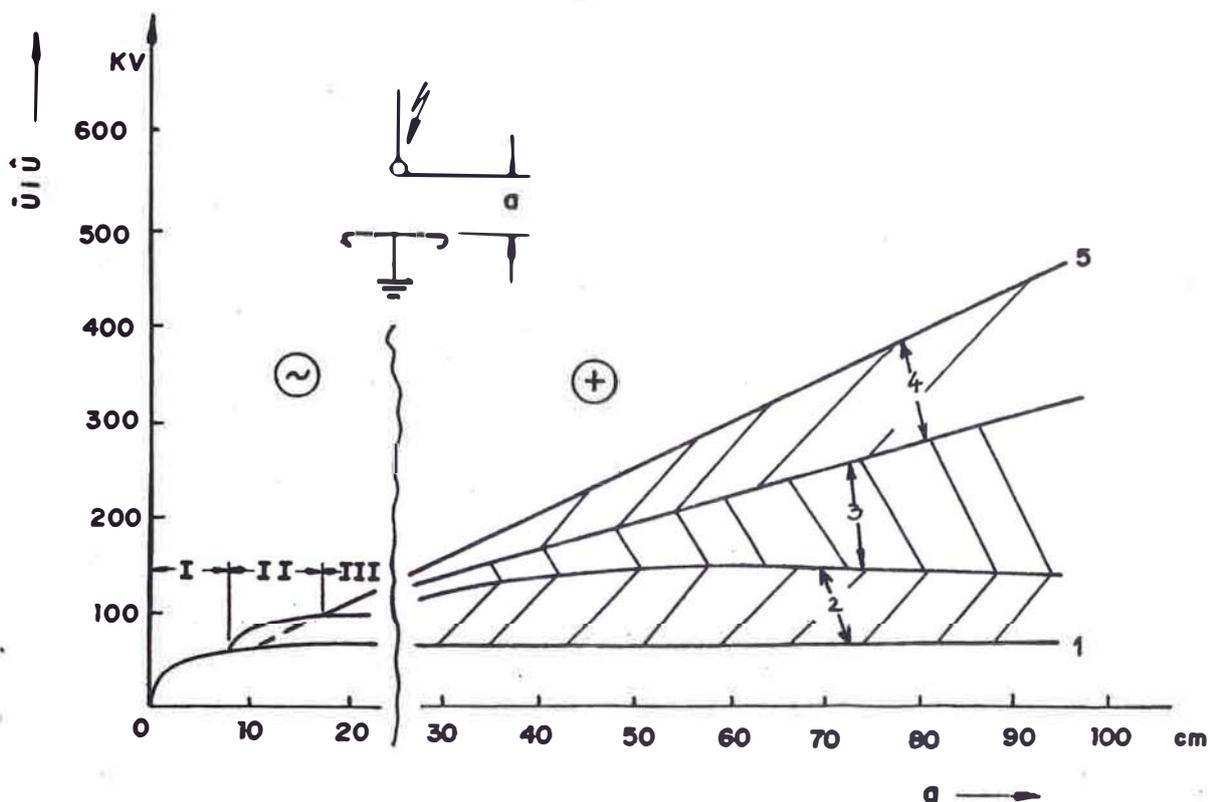


Fig. 6: Regiones de existencia de Pre-descargas
 1. Inicio de ionización; 2. Efluvios intermitentes; 3. Descarga luminicente; 4. Descarga en promontorios; 5. Tensión disruptiva

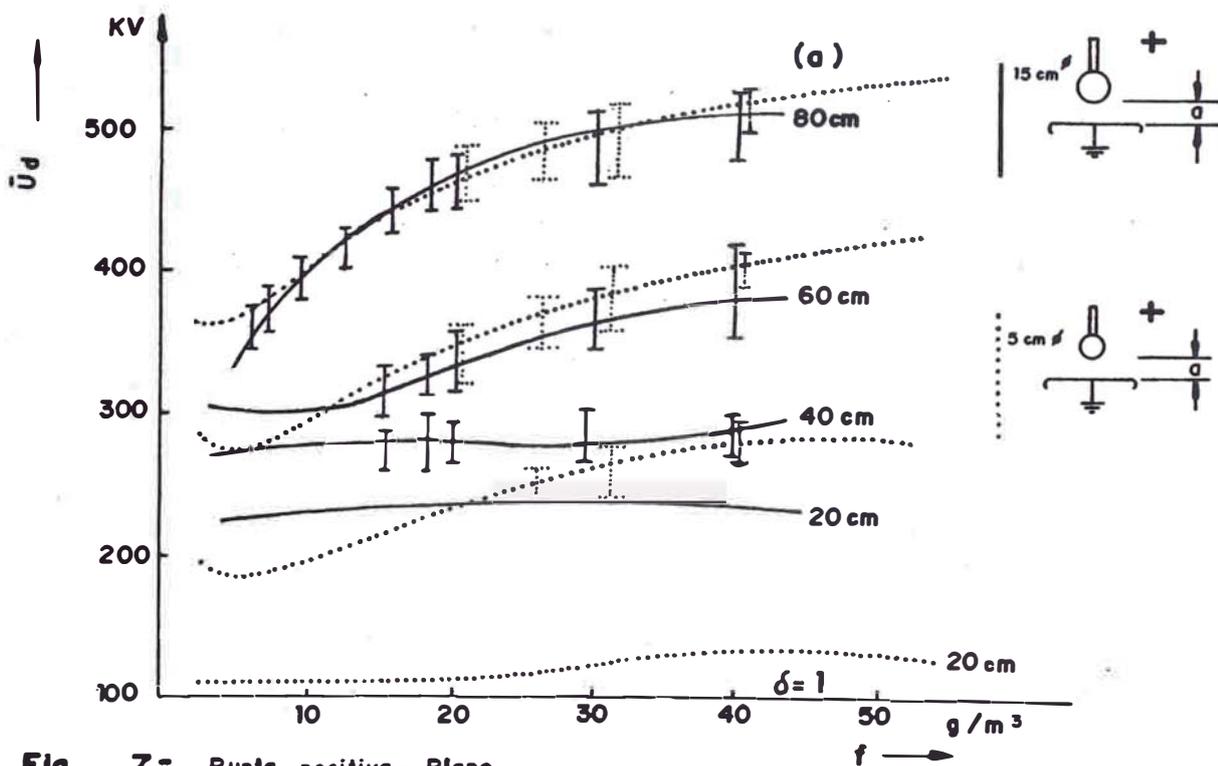


Fig. 7: Punta positiva - Plano
 Influencia de la humedad absoluta sobre la tensión disruptiva

tiva y en algunos otros casos a una reducción de la tensión disruptiva.

En corriente continúa si la tensión disruptiva y la tensión de ionización del intervalo tienen el mismo valor, la tensión disruptiva se incrementa ligeramente con un incremento de la humedad absoluta. Para los casos de disrupciones con pre-descargas existen dos posibilidades: si la disrupción se desarrolla a partir de un canal de descarga tipo impulsional, la tensión disruptiva se incrementa directamente al aumentar la humedad. Si, de otra parte, la descarga se desarrolla a partir de una descarga luminiscente no impulsional, la tensión disruptiva decrece al incrementarse la humedad.

La separación de estos casos de disrupciones con pre-descargas (impulsionales o no) es función de la forma de los electrodos y la distancia. Se ha observado, que generalmente las pre-descargas no impulsionales, para distancias mayores a 20 cm., se desarrollan solo a humedades debajo a los 4 gr/m^3 . Además es de mayor interés práctico la región con efluvios disruptivos.

Las fig. 7 y 8 muestran la influencia de la humedad sobre la tensión disruptiva

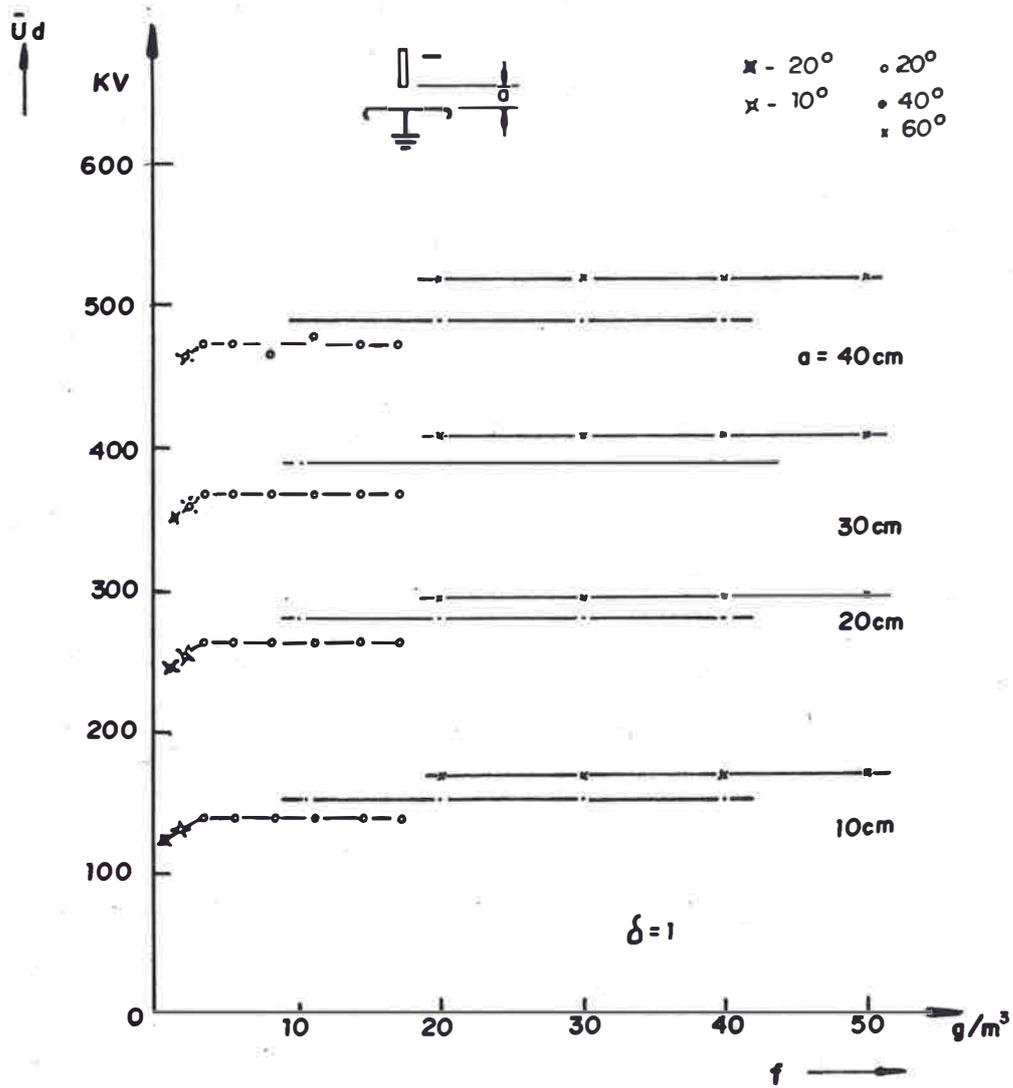


Fig. 8: Punta negativa - Plano

Influencia de la humedad absoluta y temperatura sobre la tensión disruptiva

en configuraciones Punta-positiva - Plano y Punta Negativa - Plano respectivamente. En el primer caso si la punta termina en una esfera de 5 cm. de diámetro, al inicio se presenta un descenso de la tensión disruptiva, para luego variar la característica al incrementar la humedad. En esta configuración, la disrupción ocurre sin pre-descargas con humedad de aproximadamente 18gr/m^3 , inmediatamente después del inicio de ionización (intervalo de 20 cm.), por lo cual la tensión permanece sin variar hasta este valor. Sólo si la humedad es excesiva, las pre-descargas ocurren y luego la tensión disruptiva se incrementa igualmente. Con la punta terminada en la esfera de 15 cm., ocurre algo similar para distancias de hasta 40 cm. y humedades de 35 gr/m^3 y a distancias de 60 cm. y humedad de 11 gr/m^3 . Se aprecia igualmente que la disrupción de la tensión disruptiva se incrementa al aumentar la humedad y el radio del electrodo. En el segundo caso, de Punta negativa - Plano, la característica no presenta influencia hasta humedades de 50 gr/m^3 .

En corriente Alterna se tiene establecido que la humedad modifica el proceso disruptivo, facilitando el paso de las descargas luminiscentes a los efluvios disruptivos. La aplicación

de la primera descarga impulsional permanece cercanamente sin cambios, pero el número de los siguientes impulsos (durante el mismo período de media onda), son considerablemente mayores al incrementarse la humedad. En el semiperiodo de onda negativo, conforme a lo tratado en el caso de c.c. de polaridad negativa, la influencia de la humedad es menor.

II

DESCARGAS EN GRANDES INTERVALOS DE AIRE

Investigadores de diversos interesados en los problemas prácticos del comportamiento dieléctrico del aislamiento externo, en los sistemas de transmisión de EHV y UHV, han coincidido que para lograr un real entendimiento de los fenómenos que en ellos se presenta se deberá partir de un conocimiento básico de la Física de las descargas. Una mayor comprensión de los parámetros físicos de la disrupción - llevaría a producir mejores y más significativos programas de ensayo, los cuales en Altas Tensiones representan elevados costos debido a las grandes dimensiones de las instalaciones y de las elaboradas técnicas de Laboratorio.

La evaluación final de los ensayos - nos llevaría a una revisión de las Tolerancias constructivas necesarias para futuras líneas y SS. EE. a la vez de permitir un cálculo, de manera más precisa,

de el funcionamiento relativo de diferentes sistemas sin la necesidad de costosos ensayos repetitivos en cada caso.

La evolución de los procesos de descarga que se producen en brechas de aire pueden ser - caracterizados en función de los fenómenos luminiscentes asociados a cada fase evolutiva, pudiendose distinguir cuatro fases principales;

1. Periodo de Actividad Nula, durante el cual ninguna señal es destacada.
2. Corona, observandose la presencia de luminosidad solamente en el contorno del electrodo.
3. Desarrollo del Líder, el cual está asociada con un fenómeno luminescente que se extiende en el interior de la brecha.
4. La parte Final de la Descarga, en la cual se produce un aumento súbito de luminosidad y se produce la interrupción.

2.1 Corona Inicial

El efecto corona se inicia en principio cuando un primer electrón es acelerado en el campo eléctrico y produce ionización por proceso de colisión. El primer electrón es habitualmente supuesto proveniente de un ión negativo. Este electrón producirá una avalancha si el campo eléctrico es mayor de 25 KV/Cm. y podría conducir a una corona si la avalancha se desarrolla sobre un cierto nivel crítico, existen dos formas para la predicción de inicio de corona. La primera consiste en calcular bajo qué condiciones eléctricas un electrón puede producir una avalancha eléctrica y luego un impulso de corona observable; la segunda consiste en considerar la distribución estadística de presencia del primer electrón tanto en el espacio y (muy importante bajo condiciones de ondas impulsionales) en el tiempo.

- Cálculos de Parámetros de Aparición de Efecto Corona.

Dos métodos diferentes se utilizan para el cálculo de las tensiones y campo eléctrico de inicio de corona; uno depende esencialmente de las fórmulas de Peek para inicio de corona sobre conductores; el otro hace uso de

la ecuación de avalancha de Townsend, integrándola en forma directa, y compara el número de electrones producidos con un criterio de inicio corona.

El primer método nos da el campo eléctrico de inicio de corona en un amplio rango de radios, presiones atmosféricas y frecuencias en donde sus resultados son aplicables pero sin una justificación teórica. Este método fue tratado en el capítulo I.

El segundo método utilizado para el cálculo de parámetros de aparición de efecto corona, está relacionado a una integración numérica de la ecuación de avalancha de Townsend. La ecuación básica es:

$$N = N_0 \exp \left| \int_{r_1}^{r_2} (\alpha - \beta) dr \right|$$

Donde N es el número de electrones en r_2 ; N_0 es el número de electrones inicial asumido como uno; β es el coeficiente de recombinación de electrones; $(\alpha - \beta)$ puede definirse como un nuevo coeficiente de ionización; r_1 y r_2 son los espacios límites. Según C.E.G.B. la expresión para $(\alpha - \beta)$ es:

$$\alpha - \beta = 0.75 \exp (- 1.1 E - 14)$$

Esta expresión se muestra en la Fig. 9 como una función del Campo Eléctrico y da valores bastantes buenos en relación a lo observado experimentalmente.

Durante el desarrollo de la avalancha electrónica, ella crea a su paso, por ionización una carga positiva, ésta carga espacial, la cual se asume estacionaria durante el progreso de la avalancha, reduce el campo eléctrico en el frente de la avalancha lo cual por último prevee una ionización posterior. En consideración de este efecto se acostumbra a tomar un valor efectivo del coeficiente $(\alpha - \beta)$ en el frente de la avalancha, $(\alpha - \beta)_{ef.}$, el cual fue desarrollado por Tholl y Rechter.

$$(\alpha - \beta)_{ef.} = (\alpha - \beta) |1 - 0.06 \text{ Log } N/N_c|$$

Para $N > N_c$

Donde $(\alpha - \beta)$ es el valor obtenido a partir de la forma del campo eléctrico; N es el número de electrones con cuya base se usa la corrección; y N_c el número de electrones so

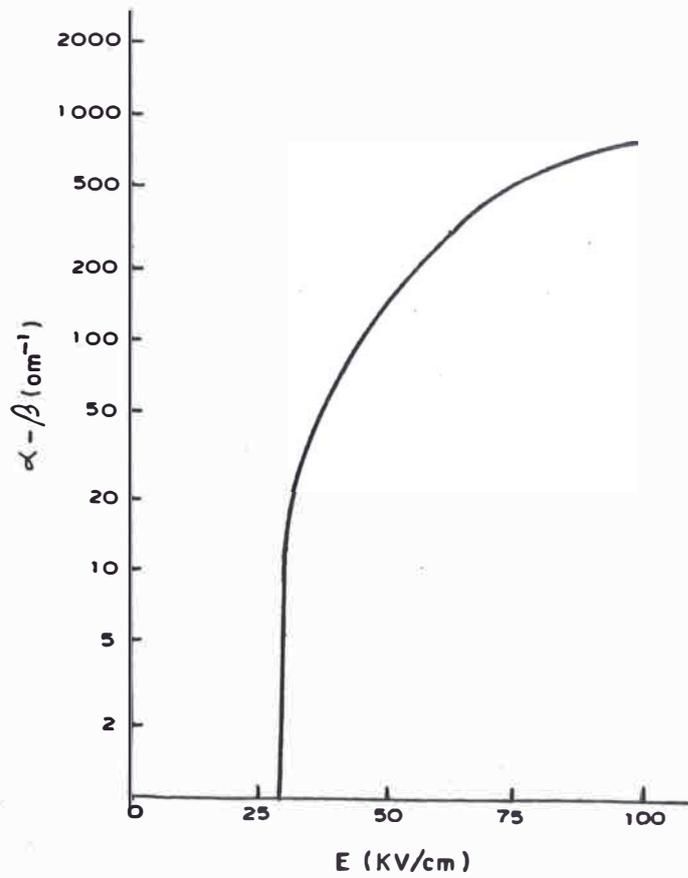


Fig. 9 Coeficiente de ionizacion ($\alpha - \beta$)

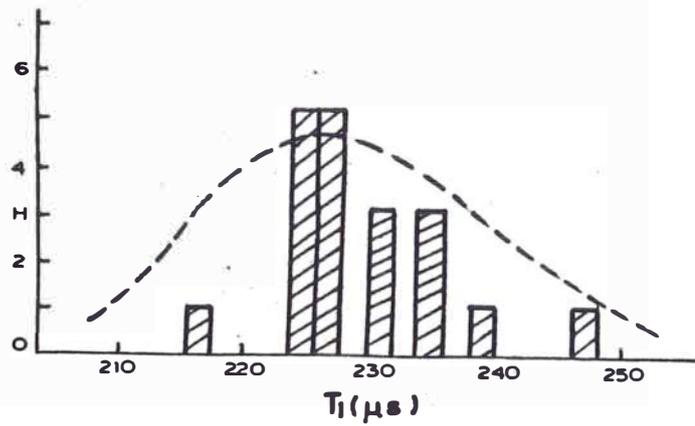


Fig. 10 Distribución estadística de tiempo de inicio de efecto corona, El histograma muestra el caso de un intervalo de 5m. y onda 500 / 3800 μs . (punta hemisférica)

bre los cuales la corrección es usada. El valor N_c a partir del cual se aplicará la corrección no se encuentra aún totalmente definido.

Con estas hipótesis la ecuación de -avalancha puede ser integrada numericamente desde el contorno del campo a 25 KV/Cm., hasta la superficie del electrodo y obtener el número de electrones producidos durante la avalancha. El criterio a ser considerado para decidir cuando una avalancha reúne las condiciones mínimas como para desarrollar filamentos o penachos luminosos, conocidos como "streamer", se basa en la producción de un número crítico de electrones durante la avalancha. Este número representa el mínimo de portadores en el frente del "Streamer", para el cual su programación es estable y que dependiendo de la geometría del Campo Eléctrico E puede expresarse según:

$$N_c = 0.558 \times 10^8 - 0.231 \times 10^6 E$$

En el desarrollo del método descrito no se toma en consideración la variación de la -tensión con relación al tiempo (du/dt) por lo cual es de esperarse que los resultados experimentales difieren de los obtenidos analíticos, cuan

do el valor de du/dt se incrementa tal como se aprecia en la tabla 2

- Distribución de Instantes de Aparición de Efecto Corona.

En la Tabla 3 se muestra los valores medios de T_i , V_i y E_i (Tiempo, Tensión y Campo Eléctrico de inicio de corona respectivamente) y sus desviaciones standard. Se observa que el valor medio de T_i decrece con el incremento de du/dt y el valor medio de V_i y E_i se incrementa debido a la repartición estadística del tiempo de retardo (Fig. 10) en la producción del primer electrón. La desviación standard de T_i decrece con el incremento de du/dt y la desviación standard de V_i y E_i se incrementa.

Algunos investigadores utilizarán estas apreciaciones cualitativas para poder componer una teoría que permite, basándose en la distribución estadística de instantes de aparición de efecto corona, determinar la predicción de inicio corona, partiendo de que la distribución estadística depende de un volumen crítico alrededor del electrodo a partir del cual puede desarrollarse una avalancha y

BRECHA (m)	Forma de Electrodo	T _{cr} (μseg)	E _i (min)	du/dt (Kv/seg)	MODELO AVALANCHA	
					E _i min (Kv/cm)	Número de Electrones
5	Hemisferio	260	30.2	3.35	32.3	4.8 x 10 ⁷
	Hiperboloid	260	33.2	7.35	36.1	4.7 x 10 ⁷
	Cono	260	71.7	13	54.6	4.3 x 10 ⁷
10	Hemisferio	260	32.9	10.4	32.5	4.8 x 10 ⁷
	Hiperboloid	260	36.3	12.5	36.4	4.7 x 10 ⁷
	Cono	260	83	25.9	54.8	4.3 x 10 ⁷

Tabla 2.-Campos Eléctricos de inicio de Corona, medidas y obtenidos por aplicación de la Teoría de Townsend.

Brecha m	Forma de Electrodo	Forma de Onda μs	U_a kV	N	$T_1(\mu s)$			$U_1(kV)$			$E_c(kV/cm)$			(du/dt) $t = T_1.mln$ kV/ μs
					min	med	σ	min	med	σ	min	med	σ	
5	Hemisferio	130/3 300	1410	6	45,0	53,0		1162	1230		30,2	32,0		10,2
		260/3 400	1370	7	119	124	3,9	1105	1120	11,8	30,2	30,7	0,31	3,35
		500/3 800	1390	25	213	226,5	6,7	1200	1220	12,7	31,3	31,7	0,33	2,22
	Hiperboloides	130/3 300	1400	14	22,0	30,0		880	1040		37,5	44,3		22,4
		260/3 400	1290	6	55	61		780	832		33,2	35,4		7,35
		500/3 800	1340	16	105	124		830	920		35,3	39,2		4,64
10	Cono	130/3 300	1340	12	5,9	8,0	1,2	265	359	45	88,0	119	1,5	39,7
		260/3 400	1230	12	11,0	16,5	2,5	216	302	39	71,7	100	1,3	13,0
		500/3 800	1360	12	24,0	29,0	2,7	218	258	22	72,4	85,7	7,3	8,4
	Hemisferio	130/3 300	2080	19	28,5	30,6	2,0	1520	1570	43	36,5	37,7	1,0	26,2
		260/3 400	1980	23	72,7	78	2,7	1370	1425	23	32,9	34,2	0,55	10,4
		500/3 800	2010	16	107	153		1370	1634		32,9	39,2		7,40
Hiperboloides	130/3 300	2180	10	15,0	20,5		1020	1200		40,0	47,1		41,5	
	260/3 400	1920	12	40,0	50,0		920	1075		36,3	42,2		12,5	
	500/3 800	1990	12	90,0	101		1010	1090		39,6	42,8		7,85	
Cono	130/3 300	2060	8	5,0	6,8	0,6	410	512	38	126	157	12	67,7	
	260/3 400	1900	12	10,3	12,3	0,8	269	322	22	82,6	99	6,8	25,9	
	500/3 800	1870	8	17,2	21,4	2,2	190	243	25	59,2	74,6	7,7	11,5	

TABLA 3 Parametros de inicio de efecto Corona .

conducir a la corona; este volumen posee una producción de electrones determinado. El número de electrones producidos por unidad de tiempo se encuentra a partir de una densidad de iones negativos y de su tiempo de vida media; si integramos en el tiempo y aplicamos una segunda integral cúbica en el volumen se obtiene el número de electrones, con el cual se puede construir teóricamente la distribución probalística de inicio de corona.

- Característica del Efecto Corona Inicial.

El primer efecto corona lo constituye el desarrollo de un número determinado de filamentos luminosos (Streamer), que se extiende desde el electrodo de alta tensión, dentro de el intervalo de aire, (aproximadamente) a lo largo de las líneas de corriente del campo eléctrico; el número de los filamentos depende principalmente de los radios de curvatura del electrodo de Alta Tensión. La aparición del primer efluvio sigue a la presencia del Primer electrón; el mecanismo de propagación del streamer bajo condiciones de campo uniforme lo descubrieron Lolb, Muk y Rulther. En campos no uniformes cuando la primera ava

lancha electronica se acerca hacia la punta positiva deja un canal de iones positivos pesados, durante esta avalancha inicial los fotones emitidos, al neutralizar los electrones en la punta y disminuir el número de moléculas excitadas, ionizan algunos átomos moléculas de aire; los nuevos electrones creados son acelerados hacia la punta positiva a través del canal de iones positivos donde el campo eléctrico es fuerte. A lo largo del trayecto del canal inicial de iones positivos pesados algunos electrones crean nuevas avalanchas dando lugar a la estructura de ramas filamentosas caracterizada por la ionización "efluvio de arranque" la cual puede propagarse, sin embargo la sucesión de avalanchas se extinguen debido a la incursión a zonas de campo más débil; esta atenuación es seguida por la dispersión de los canales de iones positivos, y eventuales los iones negativos son envueltos y entremezclados en la nube expansiva de iones positivos. Al mismo tiempo el campo aplicado - esta polarizado el plasma formado, los iones positivos son derivados lejos del anodo a través de la brecha entre electrodos, entre tanto los iones negativos están siendo atraídos hacia el anodo.

La Transición de la corona por efluvio intermitentes a la luminiscente estable, ocurre cuando una amplia carga espacial negativa se acumula alrededor del anodo produciendo un campo casi uniforme. Si la carga espacial de iones negativos no tiene alta densidad no ocurrirá nada en el campo localmente - elevado y los iones negativos devendran neutralizados en el anodo, limpiando el camino para otro efluvio. Si la nube de carga negativa tiene alta densidad, el campo será suficientemente elevado para la "disrupción" entre ella y el anodo; debido a que dicho campo es casi uniforme, una disrupción de Townsend ocurre - con fotoionización del gas como principal fuente de iones secundarios, existiendo una delgada capa de gas ionizado entre el anodo y la - carga espacial negativa. Este tipo de corona será estable debido a que la radiación de ionización de la descarga crea fotoelectrones - que forman por unión a átomos o moléculas electronegativas; los iones negativos se orientan hacia el anodo y compensan las pérdidas en la densidad de los iones negativos en la carga - espacial.

Existe un valor mínimo de carga, para que pueda desarrollarse un streamer. Este valor mínimo (carga estable) depende del valor del campo aplicado.

2.2 Características y Desarrollo Del Lider

La evolución hacia mayores tensiones da lugar a efluvios disruptivos (Breakdown streamer) que son más largos y potentes que los efluvios anteriores y debido a la distorsión de la carga espacial y el reforzamiento del campo eléctrico, dichos canales de ionización se extienden dentro del intervalo.

La progresión del lider o piloto del efluvio en la brecha, puede ser caracterizada - geoméricamente por su longitud real " l " y su longitud proyectada en el eje de la brecha " l_z "; asimismo, desde el punto de vista eléctrico, puede caracterizarse la progresión del lider, por flujo de cargas entre el circuito externo y campo eléctrico en la brecha.

Las características del lider pueden ser igualmente divididos en las que se presentan durante su propagación final de él cuando no se

produce ruptura. Las características finales se muestran en la tabla 4 para diversos tipos de electrodos, longitudes de brecha y forma de onda aplicada; la tabla muestra los valores medios de la máxima longitud del líder L_m y carga Q_m . También se muestra la corriente media I definida como:

$$I = \frac{Q_m}{(T_2 - T_1)}$$

T_1 = Instante en el cual el líder inicia su progresión.

T_2 = Instante correspondiente al detenimiento del líder.

Consideraremos ahora las caracteríscas del desarrollo del líder. De las numerosas correlaciones posibles, solamente trataremos - aquellas que puedan tener alguna interpretación física que permita su análisis.

La fig. 11 nos da un ejemplo de - la forma en la cual longitud del líder varía con el tiempo. Los puntos medidos pueden ser caracterizados aproximadamente por la relación final.

$$L = v (t - T_1) + L_0$$

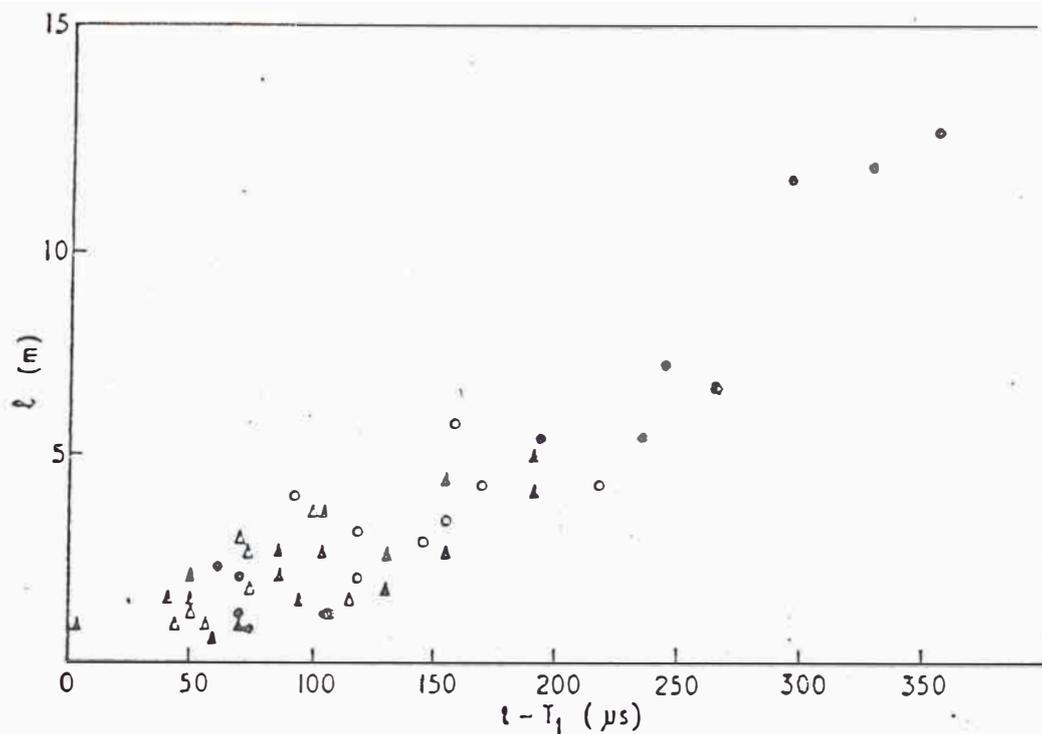


Fig. 11:- Longitud real del Líder como función del tiempo de desarrollo del Líder (punta cónica - Brecha 10 m.)

- - Disrupción sin Reencendido
- - Disrupción con Reencendido
- ▲ - Sin Disrupción, sin Reencendido
- △ - Sin Disrupción, con Reencendido

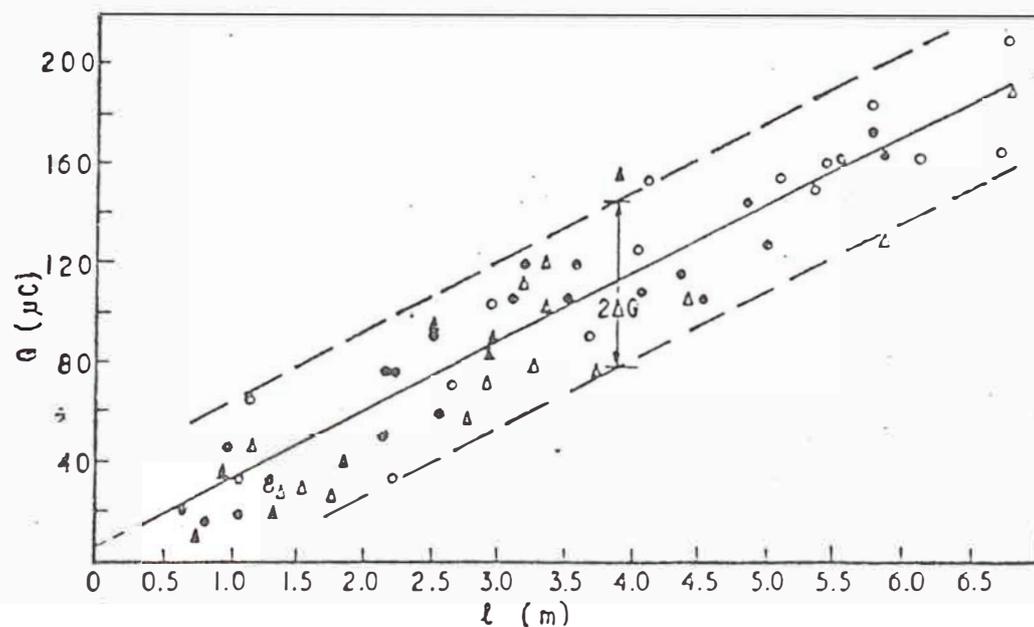


Fig. 12:- Carga medida en función de la longitud real del Líder (punta hiperboloide 10m.)

Electrodo	Brecha (m)	(μs)	T_M (m)	Q_M (μC)	I (A)	T_2 (μs)
Cono	5	130	1,88(1,65 - 2,4)	44(35 - 56)	0,4 (0,33 - 0,58)	121(90 - 178)
		260	1,9	55	0,55	116
		500	1,6			365
	10	130	4,5 (2,6 - 5,6)	141(124 - 170)	0,91(0,66 - 1,4)	154(100 - 200)
		260	5,2 (1,4 - 8,0)	137(75 - 190)	0,58(0,56 - 0,62)	200(140 - 360)
		500	5,1 (4,1 - 6,6)	96(65 - 130)	0,37(0,31 - 0,46)	340(250 - 370)
Hiperboloide	5	130	1,53(0,8 - 2,5)			100(80 - 140)
		260	1,7 (0,8 - 2,7)	78(57 - 95)	0,73(0,55 - 0,9)	156(127 - 203)
		500	1,47(0,8 - 2,1)			225(175 - 268)
	10	130	5,8 (4,7 - 6,4)	187(158 - 215)	1,3 (1,0 - 1,6)	166(138 - 192)
		260	5,7 (4,5 - 7,9)	132(105 - 180)	0,78(0,66 - 0,89)	205(145 - 268)
		500	5,0 (4,1 - 5,6)	115(79 - 175)	0,5 (0,35 - 0,6)	337(285 - 420)
Hemisferio	5	130				
		260	1,58(1,2 - 2,1)	104(79 - 140)	1,1 (0,99 - 1,26)	243(234 - 255)
		500	1,65(0,7 - 2,8)	110(90 - 150)	1,1 (1,0 - 1,18)	315(270 - 400)
	10	130	4,3 (2,3 - 6,2)	140(90 - 180)	0,99(0,65 - 1,38)	187(95 - 265)
		260	4,0 (2,5 - 6,0)	131(80 - 230)	0,81(0,62 - 1,05)	274(171 - 400)
		500	4,2 (2,0 - 5,9)	135(120 - 146)	0,65(0,61 - 0,73)	354(320 - 490)

TABLA 4 Valores finales de los parametros del Lider cuando no ocurre disrupción (los números en parentesis indican los valores mínimos y máximos).

Los valores de V y L_0 han sido evaluados por el C.I.G.R.E. para variadas situaciones y las cuales se resume en la Tabla 5. La validez de la aproximación lineal fué chequeada con el cálculo del coeficiente de correlación lineal, el cual se encuentra en la Tabla.

El parametro V , puede ser visualizado como la velocidad media del lider y se ubica entre los 12 y 42 mm./ μ seg. Los valores más largos son obtenidos para lideres cortos donde no ocurre disrupción; los valores superiores corresponden a lideres mayores en el cual la disrupción es la etapa final. En general L_0 no es cero, debido principalmente a que la aproximación lineal no es enteramente satisfactoria cuando nos acercamos al origen.

De una forma similar la fig. 12 muestra las cargas registradas en el lider, para determinadas configuraciones, en función de la longitud del lider. Nuevamente se utiliza una aproximación lineal para describirla.:

$$Q = p l + Q_1$$

Electrodo	T_{σ} (μs)	W: Sostenimiento. B: Disrupción.	v mm/ μs	L_0 mm	τ	$\bar{\psi}_m$	ψ_m
Cono (10 m)	130	W	22	155	0,87	0,51	0,27
		B	34	627	0,95	0,48	0,33
	260	W	26	366	0,92	0,34	0,13
		B	39	30	0,93	0,66	0,43
	500	W	18	582	0,92	0,44	0,35
		B	32	1012	0,93	0,80	0,70
Hiperboloide (10 m)	130	W	23	23	0,94	0,55	0,18
		B	33	22	0,94	0,81	0,47
	260	W	27	11	0,98	0,44	0,14
		B	42	999	0,91	0,70	0,54
	500	W	15	350	0,79	0,60	0,52
		B	41	1594	0,92	0,72	0,49
Hemisferio (10 m)	130	W	25	219	0,92	0,50	0,38
		B	36	530	0,87	0,68	0,68
	260	W	23	28	0,98	0,63	0,41
		B	36	609	0,92	0,54	0,35
	500	W	16	296	0,88	-	-
		B	-	-	-	-	-
Cono (5 m)	130	W	23	175	0,94	0,59	0,42
		B	35	671	0,94	0,82	0,70
	260	W	20	307	(1,00)	-	0,85
		B	17	62	0,98	0,81	0,77
	500	W	12	168	0,67	0,77	0,68
		B	-	-	-	-	-
Hiperboloide (5 m)	130	W	16	540	0,86	0,60	0,30
		B	-	-	-	-	-
	260	W	15	53	0,93	0,56	0,52
		B	19	49	0,89	0,75	0,51
	500	W	17	109	0,83	0,70	0,42
		B	19	7	0,95	0,74	0,46

TABLA 5 Valores de los parametros de progresión del Lider.

La dispersión de los valores de Q , de finida por ΔQ (fig. 12), al igual que los valores de "p" y Q_i se muestran en la tabla 6. Debemos denotar que "p" puede ser considerada como la carga necesaria para prolongar el líder l_m y de ninguna manera como la carga en el canal del líder. Q_i puede ser considerada de alguna forma como la carga existente en el momento que se inicia la propagación del líder pero no identificada con la carga de corona inicial.

Conjuntamente con el desarrollo del líder en el intervalo, el campo en las cercanías del plano (configuración punta - plano) aumenta. El valor máximo de esta distribución del campo se muestra en la fig. 13, como una función de la longitud axial de la brecha l_z . Al igual que en los dos anteriores casos se obtiene una aproximación lineal, de la forma:

$$E_m = \gamma l_z + E_0$$

Los valores de γ y E_0 se dan en la Tabla 2.5, igualmente se muestra el coeficiente de correlación lineal τ , el cual se mantiene (mayoritariamente) mayor que 0.9.

Electrodo	Brecha (m)	T_{σ} (μ s)	P (μ C/m)	ΔQ (μ C)	Q_i (μ C)	E_0 (kV/m)	γ (kV/m ²)	τ
Cono	5	130	22,5	6	5 - 10	30	5	0,89
		260	32,5	10	5 - 10	-45	9	0,92
		500	-	-	-	7	2	0,71
	10	130	29,5	30	5	28	14	0,90
		260	24,0	20	5	04	18	0,93
		500	18,5	25	5	- 7	15	0,91
Hiperboloide	5	130	-	-	-	7	8	0,90
		260	37	17	5 - 10	-	-	-
		500	-	-	-	- 5	10	0,83
	10	130	34,5	46	5	15	22	0,92
		260	28,0	35	5	- 3	23	0,90
		500	-	20	5	4	15	0,89
Hemisferio	5	130	60,0	-	30 - 35	-	-	-
		260	68,0	35	35 - 45	-	-	-
		500	58,0	20	30 - 35	-	-	-
	10	130	31,5	43	5 - 10	18	21	0,90
		260	35,5	44	5 - 10	18	19	0,95
		500	27,5	23	5 - 10	12	13	0,92

TABLA 6 Valores de los parametros de progresion del Lider
(carga en la punta y campo electrico en el plano)

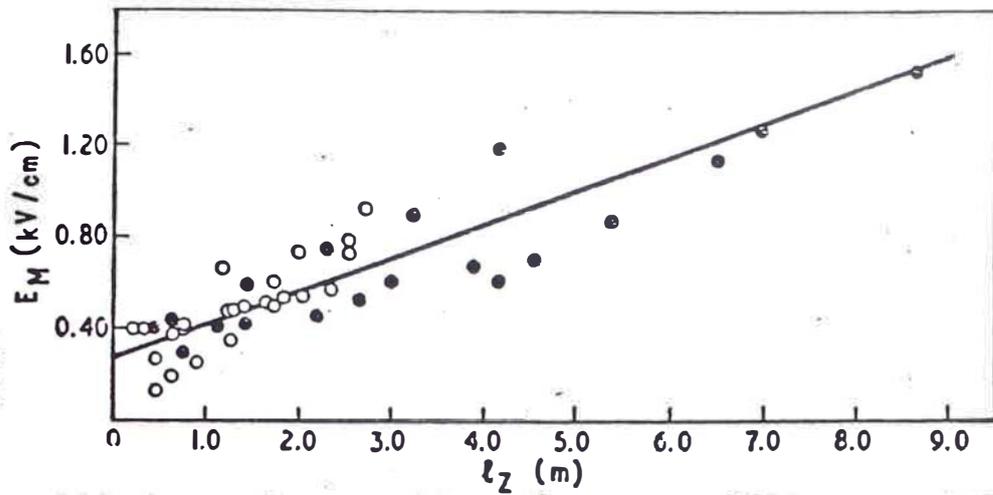


Fig. 13.- Valores de Campo máximo en el plano en función de la longitud axial del Líder, 10m. (punta cónica)

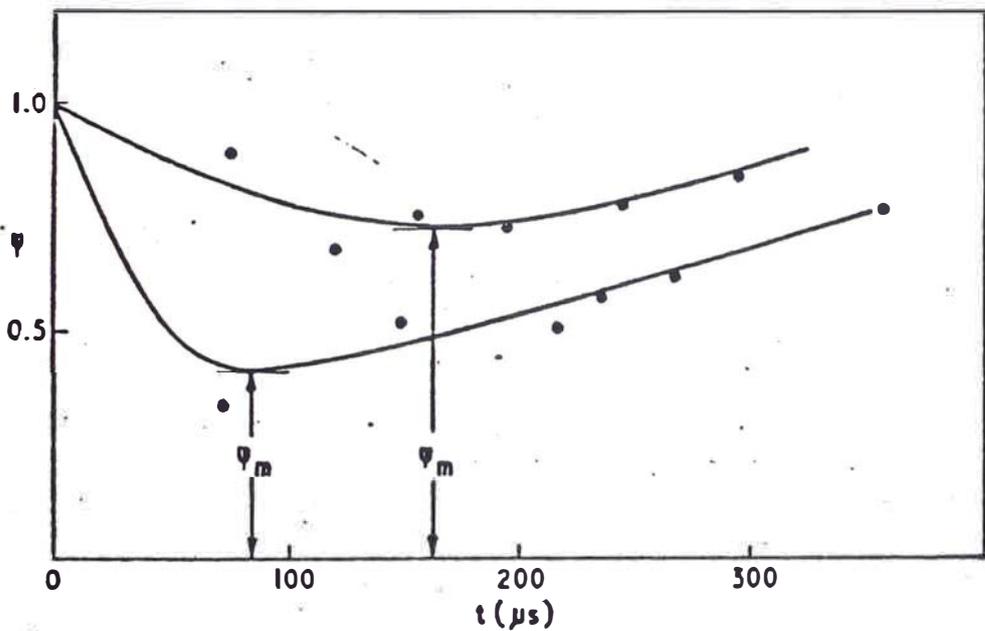


Fig. 14.- Relación entre la longitud axial del Líder como función del tiempo (caso de la fig. 2.5)

La razón existente entre la longitud axial y la longitud real del líder ($\varnothing = lz/l$), se muestra en la fig. 14 como una función del tiempo para dos casos diferentes. El valor de \varnothing pasa a través de un valor mínimo, el cual nos permite estimar el ángulo sólido dentro del cual se desarrolla el líder. Este valor mínimo varía en cada caso y su valor medio (\varnothing_m) se muestra en la tabla 5. Los valores inferiores \varnothing_m de \varnothing , para los casos de sostenimiento y interrupción, es también tabulado en cada caso. En general se nota que el valor inferior de \varnothing_m ocurre cuando en la brecha no ocurre interrupción.

- Reencendidos

La distribución de el número de reencendidos y el tiempo T_r en la cual ellos ocurren se muestran en los histogramas de la fig. 15. En los esporádicos casos en que ocurre un reencendido, en brechas de 5m., está generalmente es seguida por la interrupción. Solamente en los casos del electrodo rónico, con tiempo de cresta (T_{cr}) de la onda de 500 $\mu s.$, existe un número significativo de casos en los cuales un reencendido no condujo a la interrupción. El número de reencendidos se in-

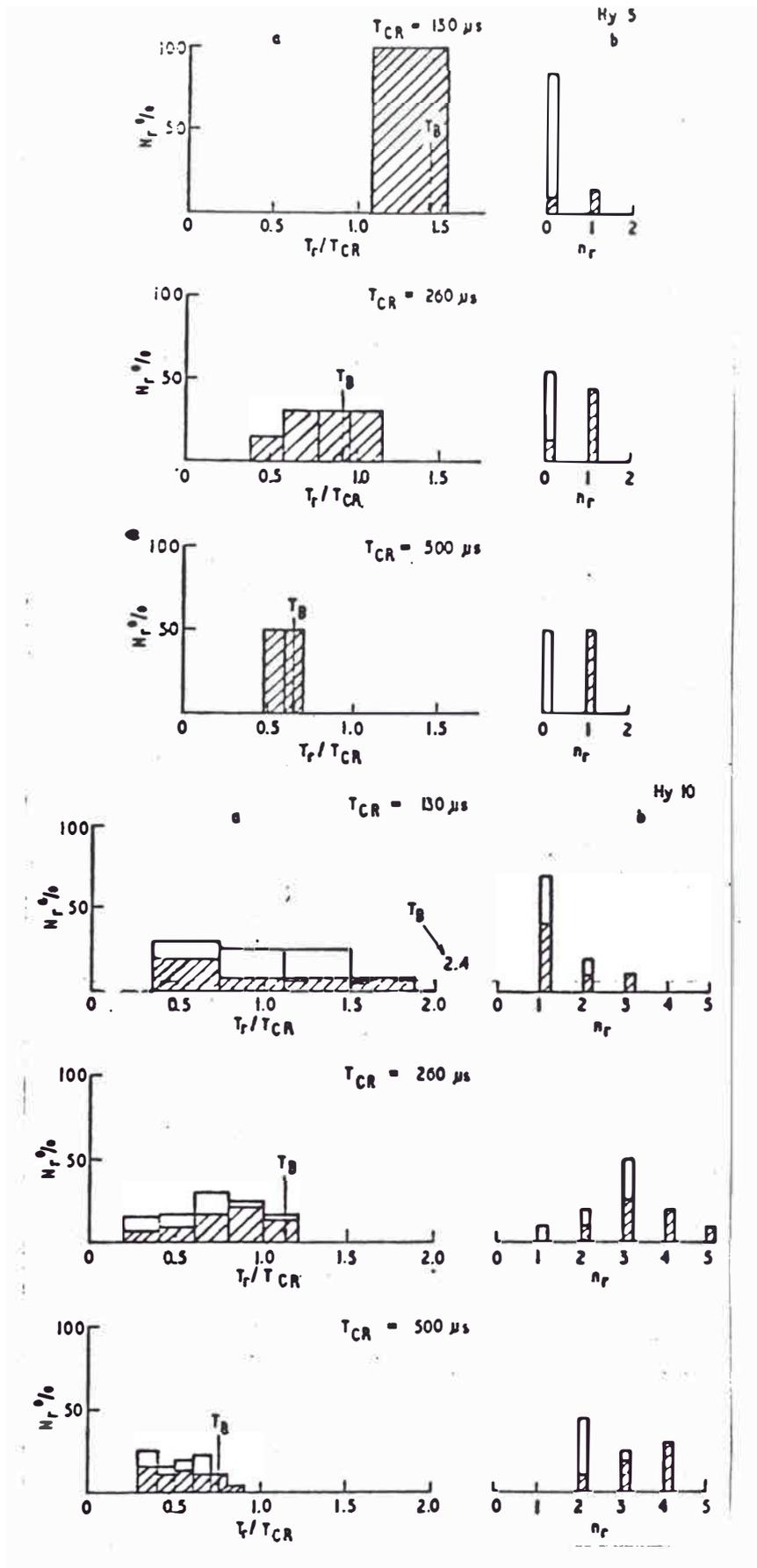


Fig. 15 Histogramas de probabilidad de aparición de Reencendidos
 a) Tiempo de aparición. Intervalos de tiempo 50
 b) Numero de Reencendido (las superficies trazadas se refieren a disrupción).

crementa, al aumentar el tiempo de cresta T_{cr} , alcanzando en algunos casos hasta 5 reencendidos. La distribución de T_r están ligados a T_{cr} , tal como se muestra en la fig. 15. Para frentes de ondas cortas ($T_{cr} = 130 \mu\text{seg}$), el primer reencendido ocurre en un tiempo cercano a T_{cr} y con un frente de onda mayor ($T_{cr} = 260$ y $500 \mu\text{seg}$) ocurre en el frente de la onda. Se ha registrado que la probabilidad de disrupción se incrementa con el número de reencendidos.

La fig. 16 muestra la carga Q en la brecha como una función de la longitud del líder inmediatamente antes de un encendido así mismo se aprecia el salto en la Q_s y longitud l_s , cuando ocurre el reencendido. Puede observarse que tanto Q_s como l_s , se incrementan con la longitud del líder y que existe una concentración de reencendidos en la región donde l_s es igual a l_m . El valor medio de L_r y Q_r a los cuales ocurre el reencendido, se muestra en la tabla 7, al igual que los valores medios de L_s y Q_s ; L_s no muestra una correlación sensible entre T_{cr} o la forma de onda del electrodo pero se va incrementando, con el número de reencendido, como por ejemplo, el segundo -

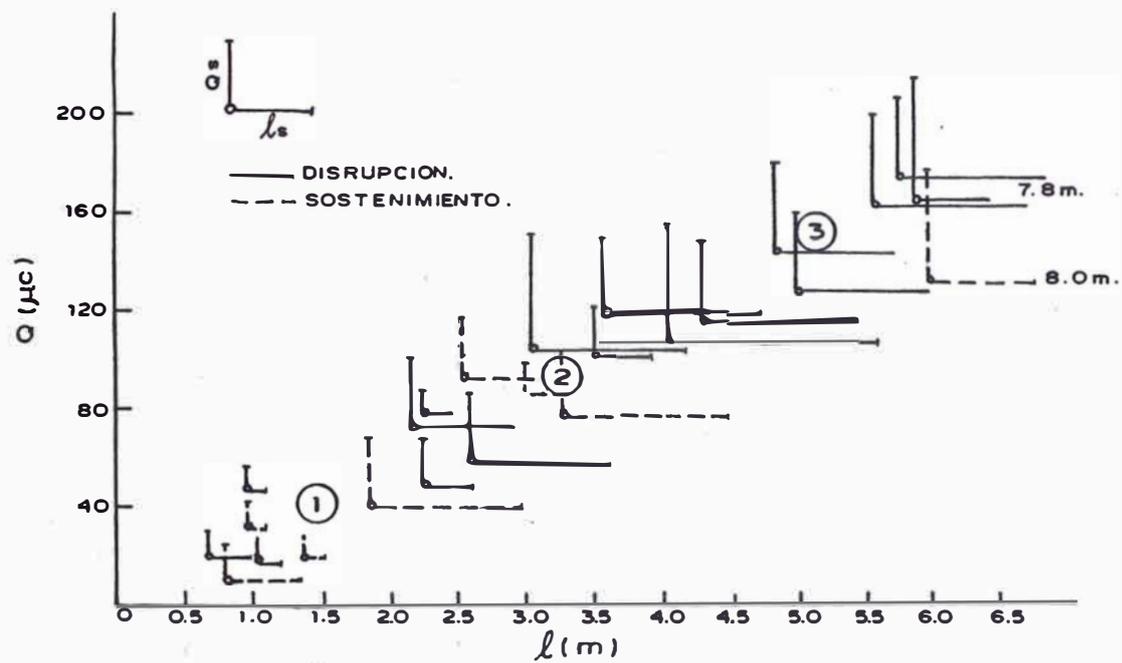


Fig. 16 Pasos de incremento de la carga y la longitud del Líder que ocurre en un Reencendido como función de la longitud del Líder. Punta hiperboloide 10 m.

$$(T_{cr} = 260 \mu s)$$

$T_{cr} (\mu s)$		130				260				
Número de Reiluminaciones.		1 ^o 1st	2 ^o 2nd	3 ^o 3rd	4 ^o 4th	1 ^o 1st	2 ^o 2nd	3 ^o 3rd	4 ^o 4th	
Cono	5 m	$\bar{L}_s(m)$	0,7*				0,6*	0,4*		
		$\bar{L}_r(m)$	2,4				2,6	2,9		
		$\bar{Q}_s(\mu C)$	12				15	13		
		$\bar{Q}_r(\mu C)$	50				85	110		
		$\bar{T}_r(\mu s)$	120				165	225		
	10 m	$\bar{L}_s(m)$	0,6	0,95	1,2		0,8	1,1	1,2	
		$\bar{L}_r(m)$	1,5	4,2	5,0		2,4	3,9	5,3	
		$\bar{Q}_s(\mu C)$	20	30	40		25	38	40	
		$\bar{Q}_r(\mu C)$	45	126	150		60	100	140	
		$\bar{T}_r(\mu s)$	85	201	205		190	200	245	
Hiperboloide	5 m	$\bar{L}_s(m)$	0,8*				0,9*			
		$\bar{L}_r(m)$	2,0				2,05			
		$\bar{Q}_s(\mu C)$					60			
		$\bar{Q}_r(\mu C)$					80			
		$\bar{T}_r(\mu s)$	185				225			
	10 m	$\bar{L}_s(m)$	0,55	1,2			0,5	0,9	1,25	1,1
		$\bar{L}_r(m)$	1,35	3,6			1,5	3,2	5,0	5,5
		$\bar{Q}_s(\mu C)$	20	40			16	33	39	40
		$\bar{Q}_r(\mu C)$	50	120			40	93	140	160
		$\bar{T}_r(\mu s)$	110	170			113	180	223	246
Hemisferio	5 m	$\bar{L}_s(m)$	1,0*				0,9*	0,5*		
		$\bar{L}_r(m)$	1,8				2,05	3,3		
		$\bar{Q}_s(\mu C)$					60			
		$\bar{Q}_r(\mu C)$	110				140	230		
		$\bar{T}_r(\mu s)$	200				280	320		
	10 m	$\bar{L}_s(m)$	0,6	0,75	0,9*		0,6	0,7	0,7*	
		$\bar{L}_r(m)$	2,0	3,90	4,8		2,3	3,95	3,9	
		$\bar{Q}_s(\mu C)$	24	33	40		25	30	30	
		$\bar{Q}_r(\mu C)$	60	120	145		85	140	130	
		$\bar{T}_r(\mu s)$	115	210	220		157	224	260	

TABLA 7 Características de Reencendido.

reencendido tiene un mayor L_s que el primero. El valor de la razón Q_s/L_s varia entre 30 y $45 \mu\text{c}/\text{m}$ para brechas de 10 m. y entre 25 y $60 \mu\text{c}/\text{m}$. para los intervalos de 5 m.

Para la propagación de el lider es necesario una cierta cantidad de carga por unidad de longitud (Q/L), Esta carga unitaria, es menor durante un desarrollo continuo del lider que el correspondiente a un desarrollo en el cual ocurren reencendidos ($Q/L=Q_s/L_s$)

2.3 Parte Final De La Descarga

Después del efecto corona inicial, los efluvios disruptivos iniciados en el electrodo - punta se propaga hacia el plano. Si el lider llega lo suficientemente cerca de el plano se inicia la parte final de la descarga. Durante este salto final el canal del lider se torna sumamente brillante, incrementandose igualmente su velocidad y su intensidad de corriente. En el salto final los efluvios disruptivos consiguen crear ionización a lo largo de toda la brecha y ocurre la disrupción. Cuando la disrupción no ocurre, el salto final no tiene lugar y el lider se detiene dentro del intervalo.

Con el auxilio de cámaras se puede determinar la longitud del líder l_t , para cada caso específico, y su proyección en el eje Z, l_{fz} . Las figs. 17 y 18 referentes a 5 y 10 mts. de intervalos de aire, dan ejemplos de la forma característica de l y l_z . En esta representación l y l_z , fueron extrapolados en las últimas decenas de μ seg hasta el momento de iniciación del salto final T_f , pues debido a la alta intensidad luminosa, en los últimos instantes, se dificulta seguir el desarrollo.

El análisis de experimentos realizados muestran que la proyección de la longitud de el líder sobre el eje Z (l_z) es un parámetro importante, al cual se denomina "longitud efectiva" de el líder. La importancia de este parámetro radica en que existe una longitud efectiva crítica de el líder, sobre la cual ocurre inevitablemente la disrupción. Esta longitud es considerablemente mas corta que la longitud efectiva de el líder en el inicio del salto final. Las diferencias entre estas longitudes decrece conjuntamente con la longitud de la brecha, haciendose despreciable en intervalos de aire menores de 2 m.

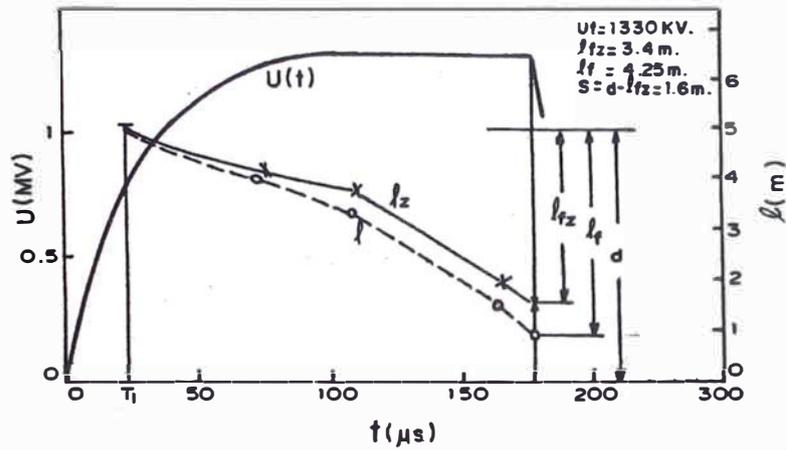


Fig. 17 Determinación de la longitud y la longitud efectiva de el lider en el inicio del Salto Final en brechas de 5 m.

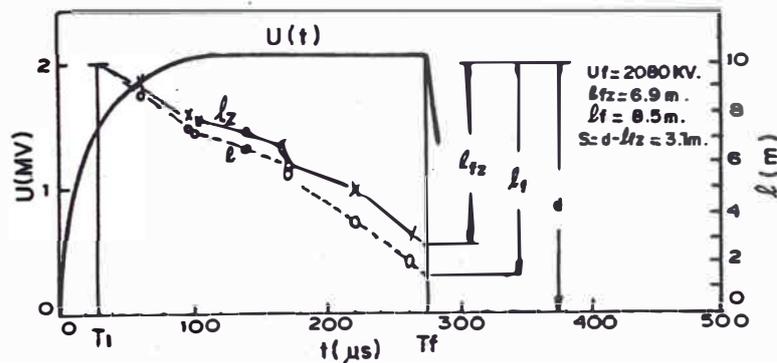


Fig. 18 Determinación de la longitud y la longitud efectiva de el lider en el inicio del Salto Final en brechas de 10 m.

- El Salto Final

Para los problemas que involucra el comportamiento dieléctrico de grandes brechas de aire, es sumamente interesante, el resolver interrogantes como "cual es el momento y como se reconoce el instante en que la disrupción ocurre". Dar una respuesta satisfactoria a esta pregunta podra asegurarnos, que el aislamiento diseñado, para soportar los esfuerzos eléctricos, sin que existan disrupciones que dañen la instalación eléctrica. En la tabla 8 se muestra la tensión disruptiva al 50%, el tiempo de disrupción y otros parámetros relativos. Las tensiones del 50% de disrupción, con un límite de confianza del 95% y la desviación standard que fué obtenida. T_B es el tiempo de disrupción y T_2 es el tiempo de extensión del lider cuando no ocurre la disrupción. Q_w es la máxima carga final medida cuando no ocurre la disrupción Q_{wm} representa el máximo valor de Q_w . Cuando la disrupción ocurre la carga puede ser medida solamente hasta puntos justos antes de T_B , esta carga es llamada Q_B ; Q_{Bm} se define como el mínimo valor de Q_B .

INTERVALO (m)	FORMA DE ELECTRODO	FORMA DE ONDA	U _{50%} ± e e = 95 % inter- valo de confianza	\bar{E}_B kV/m	\bar{T}_B	$\frac{\bar{T}_B}{T_{\alpha}}$	\bar{T}_2 μs	$\bar{T}_H - \bar{T}_2$ μs	\bar{Q}_B μC	\bar{Q}_{Bm} μC	$\bar{Q}_{W, H}$	
5	HEMISFERIO	130/3 300	1 410 ± 16	2,8	282	1,5	-	-	-	-	-	
		260/3 400	1 370 ± 21	3,9	274	1,2	-	-	202	92	50	
		500/3 800	1 390 ± 19	3,5	278	0,88	-	-	150	-	140	
	HIPERBOLOIDE	130/3 300	1 400 ± 37	7	280	1,5	-	-	-	-	-	-
		260/3 400	1 290 ± 38	7	258	0,88	-	-	-	-	-	-
		500/3 800	1 340 ± 20	3,7	268	0,66	-	-	-	-	-	-
10	CONO	130/3 300	1 340 ± 37	6,9	267	1,4	121	55	64	42	54	
		260/3 400	1 230 ± 18	3,8	244	0,85	116	95	-	-	-	
		500/3 800	1 360 ± 21	3,8	272	0,6	365	- 54	-	-	-	
	HEMISFERIO	130/3 300	2 080 ± 40	4,9	208	2,7	187	163	223	179	212	
		260/3 400	1 980 ± 55	7	198	1,6	274	126	242	138	230	
		500/3 800	2 010 ± 38	4,9	201	0,94	354	106	306	127	202	
HIPERBOLOIDE	130/3 300	2 180 ± 55	7	218	2,5	166	154	239	193	233		
	260/3 400	1 920 ± 37	5	192	1,1	205	84	225	138	184		
	500/3 800	1 990 ± 37	4,7	199	0,72	337	53	149	107	120		
CONO	130/3 300	2 060 ± 60	7,3	206	2,3	154	166	218	147	202		
	260/3 400	1 900 ± 75	6,3	190	1,3	200	150	179	103	154		
	500/3 800	1 870 ± 53	7,5	187	0,86	340	60	156	94	130		

Tabla. 8 : Parametros de Descarga

III

FENOMENOLOGIA BASICA EN LAS REGIONES DE ALTA COTA

3.1 Generalidades

El territorio nacional, presenta tres regiones geográficas naturales, longitudinales al litoral marítimo del Océano Pacífico y definidos por los contrafuertes de los ramales de la cordillera de los Andes, se caracteriza por su variedad o diversidad climática. A Cada región geográfica le corresponde uno o varios climas diferentes.

El Perú debió tener en toda su amplitud un clima tropical, es decir muy caluroso, excesivamente húmedo y extremadamente lluvioso. Sin embargo esta característica climática corresponde sólo a nuestra Amazonía. En el resto del Perú hay una diversidad de clima, dispuestos altitudinalmente y de caracteres muy variados. Esta diversidad de climas tiene su origen en:

A. La Cordillera de los Andes

Los Andes deforman nuestro relieve, elevándose hasta alturas superiores a los seis mil metros, mostrando diversas regiones altitudinales, a cada uno de las cuales - corresponde uno o varios tipos de clima. La Cordillera de los Andes, dividen al Perú en dos flancos: uno Oriental, que se encuentra comprendido entre la Selva, donde las lluvias son torrenciales, hasta las cumbres Andinas, donde hay escasez de lluvias; y otro Occidental, que es casi desértico, con escasas precipitaciones. El vapor de agua que procede de la Amazonía al impulso de los vientos alisios, se condensa en la Selva Alta y no llega hasta las cumbres, Los vientos continúan, pero desprovistos de humedad.

B. El Mar Del Perú

El mar del Perú ha modificado el - panorama climático del flanco occidental debido a la baja temperatura de sus aguas. El aire costero debido a este factor es estable, es decir sin capacidad de ascender verticalmente. Lo que determina la ausencia de lluvia y propicia además la condensación del va

por de agua del aire, formando las densas nubes estratos, entre los 300 y los 800m. sobre el nivel del mar. Este techo de nubes refleja al espacio gran parte de la radiación solar, disminuyendo la temperatura en toda - la Costa.

3.2 Perfil Geográfico

El territorio peruano presenta una gran diversidad de formas de relieve: en el Oriente el relieve predominante es la llanura; - al Oeste , bañado por el Océano Pacífico, se encuentra un relieve llano y estrecho con pequeñas colinas o elevaciones; y entre ambas la Región Andina, con montañas elevadas cubiertas a veces de nieve, con vasta mesetas, quebradas profundas y valles alargados.

Como parámetro del entorno el perfil topográfico del terreno tiene suma importancia en la incidencia de la meteorología sobre la infraestructura eléctrica; en algunos casos puede actuar ventajosamente, protegiendola y en otros inversamente, exarcebando la acción del medio ambiente; estas influencias intermedias se verán limitadas o aumentadas, también por el esta

do superficial del suelo y la cobertura existente.

3.3 Zonificación Altitudinal Del Perú

En la Región Anfina del Perú se serva una diversidad de tipos de clima, dispuestos en pisos altitudinales, en los que la cota constituye el factor predominante. (Fig. 19)

Siguiendo una trayectoria transversal en el Centro del Perú se encuentran, de acuerdo a la fisiografía y el clima, las Sub-Regiones siguientes:

1) Las Lomas de la Costa

Se caracteriza por su Alta Humedad y Nebulosidad. El promedio anual de precipitaciones se ubica entre los 150 y 300 mm., con un regimen lluvias muy regular; lluvias anuales de invierno. Las temperaturas medias - anuales varía entre 12°C y aproximadamente 16°C; temperaturas extremas de 10°C y 33°C.

2) Los Terrenos Bajos de la Costa

Se caracterizan por un estado atmosférico claro, sin lluvias y virtualmente sin ninguna vegetación. El total de precipitaciones oscila entre 0 y 50 mm., en todo el

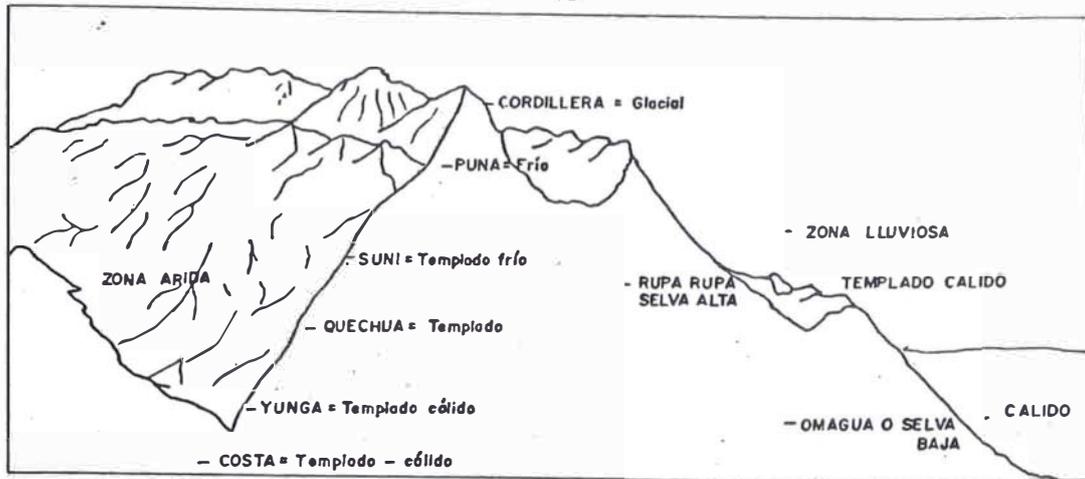


Fig. 19. b.- Clima en las 8 Regiones Naturales del Perú

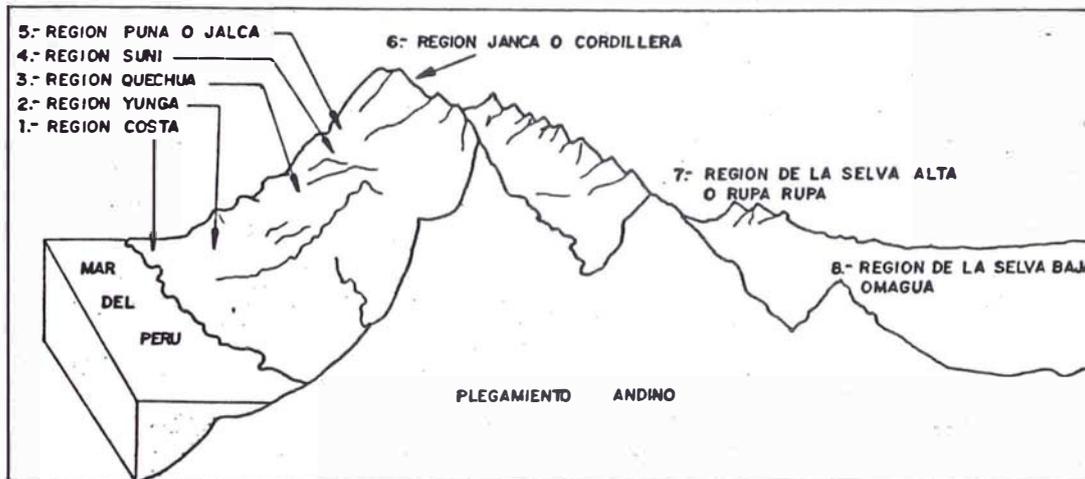


Fig. 19. a :- Esquema de las 8 Regiones Naturales del Perú:

1- La CHALA o COSTA de 0 a 500 m.s.n.m.; 2- La YUNGA de 500 a 2500 m.s.n.m.; 3- La QUECHUA de los 2500 a 3500 m.s.n.m.; 4- La SUNI de los 3500 a los 4100 m.s.n.m. 5- La PUNA o JALCA de los 4100 o los 4800 m.s.n.m.; 6- La JANCA o CORDILLERA de los 4800 a los 6768 m.s.n.m.; 7- La SELVA ALTA o RUPA RUPA de los 2000 a los 500 m.a.n.m. y 8- La SELVA BAJA u OMAGUA de los 500 a los 83 m.s.n.m.

año. Las temperaturas medias anuales varían desde la temperatura de aproximadamente 16 °C hasta 24 °C; posee temperaturas extremas de 10 °C y 31°C.

3) Los Terrenos Altos de la Costa

Se extienden a lo largo de las faldas montañosas por encima de los 2,000 metros de altitud. La precipitación media anual recibida en esta sub-región está entre 125 y 150mm. Sin embargo, este desierto elevado presenta - escasa vegetación desértica, en contraste - con los terrenos bajos que no tienen ninguna vegetación. La temperatura media anual varía entre 12 °C y 15 °C, aunque se encuentren temperaturas más frías en los terrenos altos hacia el extremo sur.

4) Terrenos Con Precipitación Marginal

El terreno con precipitación marginal, es una zona transitoria entre el desierto de la Costa y los climas de altitud de la Sierra. Esta sub-región forma una banda continua a lo largo de las faldas sudoccidentales de la Cordillera Andina por encima de la región de la Costa. Las elevaciones menores de esta sub-región, aquellas que confinan con

la Costa, tienen una precipitación anual de menos de 250 mm. Sin embargo, debido a las temperaturas medias más bajas (baja 12°C), la precipitación es más efectiva y la vegetación disertica es más exuberante que en los terrenos altos de las sub-regiones de la Costa. Entre aproximadamente los 3,500 y 4,000 metros a lo largo de las faldas sudoccidentales, la precipitación media anual aumenta, variando entre 250 y 500 mm. y se caracteriza por la vegetación de estepa.

Temperaturas de congelamiento ocurren en los meses de invierno en toda esta sub-región y en las altas elevaciones las temperaturas ocurren en cada mes. La sub-región esta sujeta a frecuentes heladas.

5) La Puna

Aumentar la elevación se reduce la temperatura y se encuentra la sub-región de la Puna. La temperatura media anual está bajo 6°C . La precipitación presenta una media anual que oscila entre los 600 y 1000mm. aproximadamente. Su humedad es mínima.

6) Terrenos Muy Fríos

Las áreas más altas, frías y secas de la región de Alta Cota forman la sub-región de los terrenos muy fríos. aunque las temperaturas medias anuales se encuentran generalmente en 3°C , están bajo 0°C en una gran área. La precipitación media anual de 500 mm. y a medida que aumenta la altura tienden a predominar las precipitaciones en forma sólida: granizo y nieve.

7) Pastos Húmedos

Descendiendo desde la sub-región de los terrenos muy fríos y continuando la trayectoria transversal, se encuentra nuevamente la sub-región de la Puna y los terrenos con precipitación marginal. Colindando con estas sub-regiones y en alturas ligeramente más bajas, se encuentra la sub-región de Pastos húmedos. Esta sub-región recibe la acción de las masas de aire húmedo, tropical que viene del oriente. La precipitación media anual pasa de 500 mm. pero esta debajo de 2,000 mm.. Las temperaturas medias anuales están bajo 0°C y cada mes del año ocurren temperaturas de congelamiento.

8) Las Hoyas a Gran Altura

Aproximadamente bajo 4,200 metros las temperaturas medias anuales aumentan a más de 6°C pero están bajo 12°C (9° en Huan-cayo). La precipitación media anual está entre 500 y 1000 mm.

9) Los Valles a Gran Altura

Las características que reina en los valles interandinos son función de la altitud (3,200 - 4,200 metros), el grado de "encajonamiento" y las horas de insolación. La precipitación (entre 500 y 1000 mm.) y las temperaturas (entre 6°C y 12°C) son similares a las hoyas de gran altura. Puede estar sujeta a ocasionales escarchas.

10) Los Valles a Mediana Altura.

Justamente debajo de los valles a gran altura, a aproximadamente 2000 a 3700 metros de altitud se encuentra esta sub-región. Se forman en los valles, profundamente erosionados del Rio Mantaro y sus tributarios. Estos valles están parcialmente protegidos de las masas de aire tropical, por los contrafuertes de las montañas que quedan

hacia el este y, por lo tanto, son considera
blemente más secos que las áreas de igual
elevación sobre las expuestas laderas orien-
tales de la Cordillera. La temperatura me-
dia anual varía entre 12°C y aproximadamente
16°C. Su precipitación anual media es de 500
a 1000 mm.

11) Los Valles Bajos

Están bajo los 2000 metros de altura
y son lo suficientemente calidos para ser
considerados como sub-tropicales, con tempera
turas medias anuales de 14 y 18°C. Las pre-
cipitaciones presentan una media anual que
varía de 250 a 1000 mm.

12) La Ceja Alta con Excesiva Precipitación

En las partes más altas de la Ceja,
entre aproximadamente 2,700 y 4,000 metros,
en que las temperaturas son todavía enteramen-
te frías, entre 6°C y 12°C, aparece está sub-
región. Gran parte recibe una precipitación
media anual entre 1000 y 2000 mm. y tiene un
bosque montaño. Algunos de los contrafuertes
más elevados reciben entre 2,000 y 4,000 mm.
de precipitación anual y se caracterizan por
un bosque pluvial montaño. Sin embargo, tamam

bien están incluidos en esta región algunas laderas expuestas directamente hacia el oriente que perciben mas de 4,000 mm. de precipitación cada año. Se encuentran a menor altura, tienen una temperatura media más alta. Estas son las areas más húmedas encontradas en el Perú.

13) La Ceja Muy Húmeda y Húmeda

Estas sub-regiones se encuentran aproximadamente entre los 2700 y 700 metros de altura. Ambas presentan una temperatura media anual de 12^oC a 24^oC, diferenciandose basicamente en que reciben una precipitación promedio anual de 2,000 a 4,000 mm. para la sub-región de Ceja muy húmeda y de menor de 2,000 mm. para la Ceja húmeda. Esta zona - se halla durante todo el año bajo la influencia de los alisios proveniente de tierras - bajas y húmedas y que, por consiguiente, llegan cargados de vapor. Como consecuencia - de esto la nebulosidad es elevada y no se producen oscilaciones de temperaturas muy fuertes.

14) La Selva

A medida que aumenta la distancia desde el frente montañoso, disminuye la precipitación y la montaña se vuelve progresivamente, más seca. Las temperaturas media anual supera los 24°C , con valores límites de 34°C .

Aunque hay muy poca diferencia entre los meses más cálidos y los meses más fríos, durante los meses de invierno Junio, Julio y Agosto, introducciones ocasionales de masas de aire frío, marina de la región Atlántica penetran al interior produciendo temperaturas excepcionalmente bajas en la Selva. Se han registrado mínimas de 5°C , durante estas introducciones - frías, que duran de 3 a 5 días.

3.4 Apreciación De Los Parámetros Meteorológicos

- La Humedad Del Aire

La determinación de la humedad del aire es de sumo interés para la determinación del tiempo. De hecho, muchos cambios de tiempo son sencillamente cambios de estado del agua, presente siempre en la atmósfera.

Si la temperatura del aire, al descender cae por debajo del punto de rocío, parte de la humedad atmosférica pasará del estado de vapor al líquido o sólido.

La condensación del vapor de agua - puede producirse cerca del suelo formando niebla. La definición meteorológica de niebla específica que las gotitas de agua deben reducir la visibilidad horizontal a menos de 1 km.

Las nieblas de origen estatico, es decir las nieblas propiamente dichas, son raras en las regiones de Alta Cota. A medida que las líneas de flujo del aire se amoldan a las formas de la montaña se vuelve visibles por los productos de condensación. Las nubes permanecen pegadas a las laderas, reducen la visibilidad y son anotadas como nieblas. El origen es completamente diferente, el efecto exterior es el mismo para el observador.

La cantidad de nubes en el cielo es determinada mediante los isonefas que indican los decimos de cielo cubierto por nubes; la Sierra peruana se halla dentro

T A B L A 9

VARIACION MEDIA DE LA HUMEDAD RELATIVA EN ESTACIONES SELECCIONADAS

Estación de : Campo de Marte Lat. : 12° 04' Dist.: Lima
 Observaciones de : Humedad Relativa Long.: 77° 02' Prov.: Lima
 (en %) Alt. : 137 Dist.: Jesús María

	Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun	Jul.	Agost.	Set.	Oct.	Nov.	Dic
Mínimo	77	76	78	79	77	78	82	83	81	82	82	77
Máximo	84	85	85	86	88	91	90	91	92	87	87	87
Medio	81.4	80.5	81.3	82	84.5	86.2	86.2	87.8	87.7	85.4	83.3	82

- Registros de 1960 - 1983

Estación de : Matucana Lat.: 11°50' Dpto. : Lima
 Observaciones de: Humedad Relativa (en %) Long: 76°23' Prov. : Lima
 Alt.: 2,378 Dist.: Matucana

	Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agost.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Mínima	62	63	64	53	47	27	31	38	41	51	43	57
Máxima	77	86	86	82	71	66	68	71	67	66	72	79
Media	68.5	74.2	74.6	68.7	61.5	56.5	54.5	56.5	56.3	59.3	61.5	67.4

- Registros de 1964 - 1983.

de las isonefas 6 y 7 en enero.

- Precipitaciones

Precipitación es el término utilizado para designar la caída de agua sobre la tierra. La distribución de las precipitaciones en la región de altitud del territorio peruano es extremadamente complicado puesto que depende, sobre todo en lo que se refiere a la cantidad, de las condiciones orográficas locales. En los valles profundos que conducen las aguas de los ríos al Amazonas, por ejemplo, se observan precipitaciones importantes en las laderas mientras que en el centro del valle el cielo permanece claro y no cae una gota de agua.

En lo que se refiere a los períodos de las precipitaciones hay que separar a la "Región Nebulosa" del resto de la Sierra. En la región nebulosa las precipitaciones son constantes, pasando en todos los casos los 200 mm.. En el resto de las zonas de Alta Cota peruana, la rama mayor de precipitaciones cae en los meses de febrero y marzo. Hacia el norte hay la ten

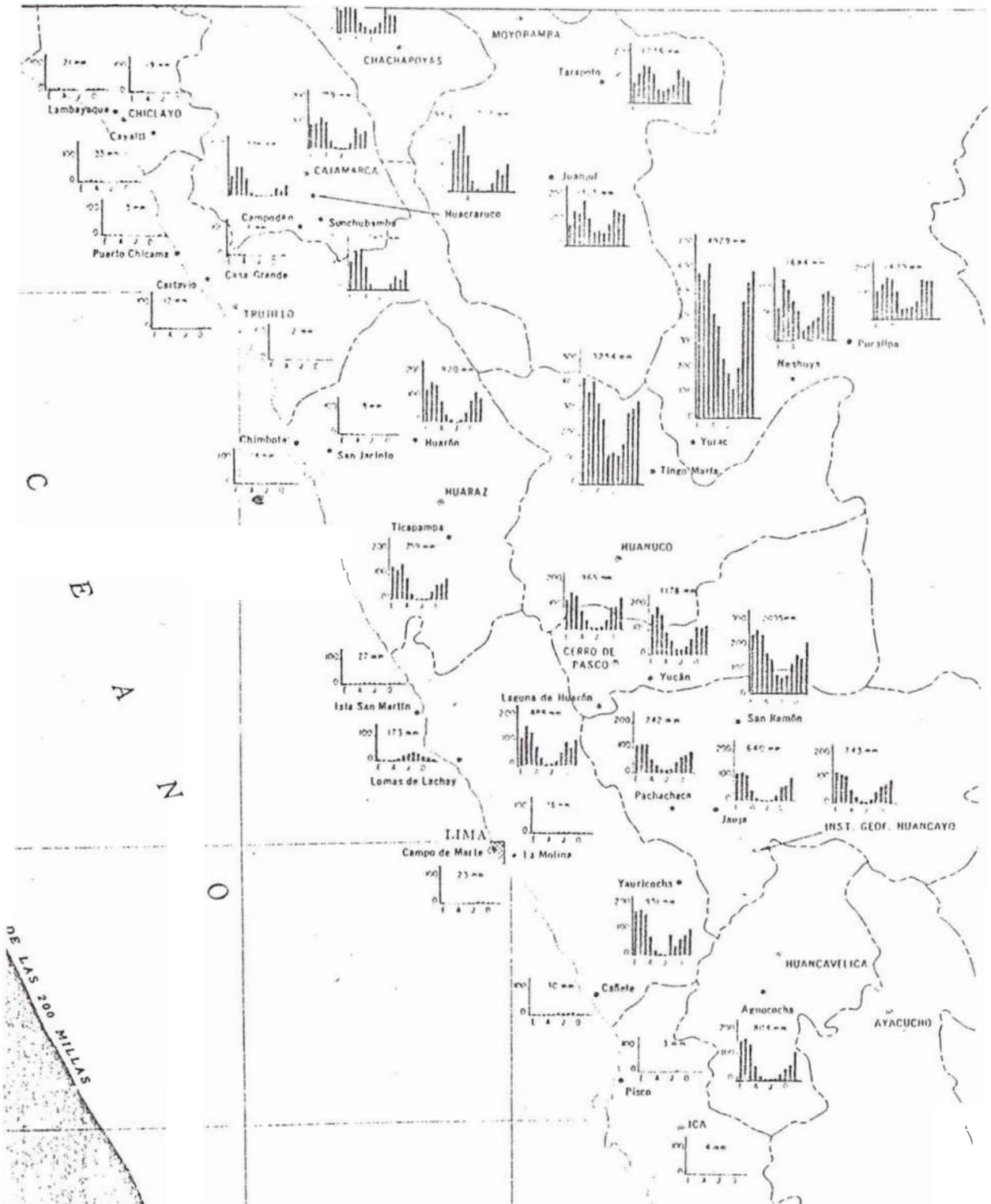


Fig. 20.- Variación Media de la Precipitación en Estaciones Seleccionadas

dencia de llover un poco durante todos los meses. Desde Cerro de Pasco hasta el Sur del Perú las precipitaciones se realizan - casi exclusivamente en los meses de verano, marcandose bien la estación seca.

Los Andes, orientados perpendicularmente a la dirección de los alisios y ayudada su acción por los vientos de valle, - experimentan en sus vertientes orientales un ascenso continuo de masas de aire cargadas de humedad. De allí las precipitaciones continuas en la zona de condensación máxima.

En vertientes occidentales los vientos de valle y montaña combinados con las virazones y terrales solo llegan a dar precipitaciones en el verano, época de intensificación de la evaporación y de imposibilidad de condensación en la Costa misma debido al gran calentamiento de las lomas y desierto costañero.

- Los Vientos

Debemos, en inicio, señalar que el viento puede variar notablemente en poco

tiempo. La variación en el espacio puede ser apreciable en cualquier lugar. Estas variaciones pueden ser generadas o magnificadas por la presencia de grandes edificios, plantaciones de arboles, el perfil de la tierra, etc. Por ejemplo, un valle tiende a acanalar los vientos según su dirección.

Aún sobre terreno de pocos accidentes, la velocidad del viento varía según la altitud (Ver Fig. 21). Sobre terrenos accidentados, las variaciones son más rápidas e irregulares. Lo último nos hace pensar en lo importante que es, para la determinación de la velocidad del viento, la altura sobre la superficie a la cual mide.

Sobre una superficie relativamente uniforme, la variación de la velocidad del viento V con respecto a la altura, cerca de la superficie, viene dada aproximadamente por la relación:

$$V = K Z^n$$

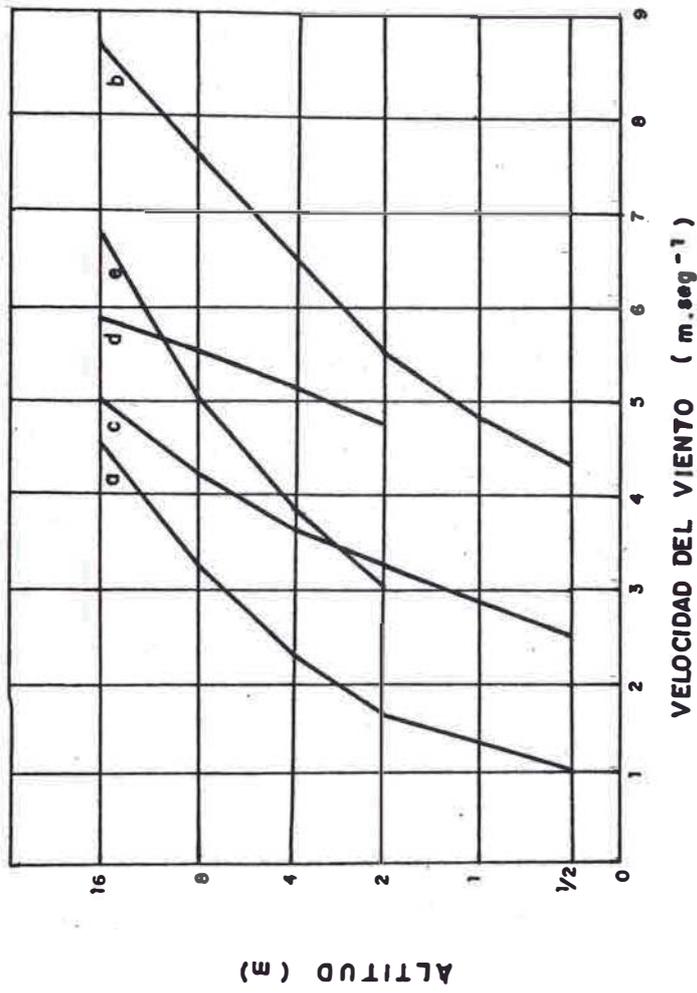


Fig. 21: Velocidad del viento cerca de la superficie de la tierra. La curva corresponde al caso de equilibrio indiferente.

Siendo:

- Z La altura
- n Exponente que varia con la estabilidad Aprox. $1/7$.
- K Constante función de condiciones iniciales.

Con el valor de V_1 y Z_1 , determinando por la medición y altura del anemómetro respectivamente, y el valor de $1/7$ para n , podremos determinar el valor de la constante K . Esta aproximación nos permitiría estimar la velocidad del viento a la altura de diseño de las líneas de Transmisión, para condiciones de equilibrio indiferente.

Debemos indicar que los registros de las características del viento, al igual que los demás parámetros meteorológicos, son insuficientes y además, han sido instalados para suministrar las indicaciones meteorológicas más interesantes, - por ejemplo, en la proximidad de los aeródromos y no en las zonas más favorables - para el suministro de energía eléctrica.

En la tabla (10) aparecen los prg

T A B L A 10

VELOCIDAD PROMEDIO ANUAL DEL VIENTO

ESTACION	LAT.	LONG.	ALTITUD (m)	VELOCIDAD m/s
Cusacay	2.4	74.1	200	0.0
Zungacocha	3.8	73.3	122	1.0
Tumbes	3.6	80.5	85	2.0
Petrópolis	4.2	70.0	300	0.0
Cruceta	4.9	80.3	135	3.7
Bayobar	5.8	81.0	8	2.4
Rioja	6.0	77.2	848	0.39
Juancita	6.0	74.9	150	1.0
Olmos	6.0	79.8	167	3.2
Otuzco	7.9	78.6	2620	1.5
Tou Navista	8.9	74.7	350	0.0
Tayobamba	8.3	77.3	3250	3.5
Pampa Whaly	10.9	75.3	966	0.44
Lampas Alto	10.1	77.2	4030	3.4
Iñapari	11.0	69.6	365	1.2
Quillabamba	12.9	72.7	950	3.3
Ñaña	12.0	36.8	566	2.2
Acconococha	13.2	75.1	4520	2.8
Sicúani	14.3	71.2	3550	3.1
Challhuanca	14.3	73.3	2902	0.67
Puno	15.9	70.0	3875	2.8
Acari	15.4	74.6	200	2.7
Ocoña	16.4	73.1	58	5.2
Punta de Coles	17.4	71.4	50	5.6

medios anuales de velocidades de viento - para un período de 5 años. Esta información debe ser considerada solo preliminar y es necesario realizar estudios como los efectuados por OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), que ha estructurado un estudio en detalle, de los vientos y su distribución en el Perú.

Tormentas Eléctricas

El Perú como muchos otros países de su hemisferio, esta sometido a la influencia de los vientos alisios, provenientes - del hemisferio Sur y los vientos Alisios - provenientes del hemisferio Norte.

Estas masas de aire al converger de terminan según su latitud de convergencia, las zonas de mayor o menor grado de actividad, con respecto a la línea ecuatorial meteorológica, la cual se encuentra 2 ó 3 grados al Sur de la Línea ecuatorial geográfica; se ha observado que la línea de convergencia se desplaza hacia el hemisferio que se encuentra en verano.

En el Perú, las zonas de tormenta se encuentran localizadas en la Sierra y en

la Selva, aunque se ha dado casos aislados en que ha habido tormentas en los Departamentos de Tumbes y Piura, en el extremo Norte del País; una vez hubo una tormenta muy cerca de Lima (zona central del Perú, perteneciente a la Costa) en Chosica.

En la Sierra, durante el invierno la actividad es escasa, esta estación abarca los meses de Junio, Julio y Agosto. En Cambio, durante el verano hay gran actividad de tormentas, no pudiendose darse una cifra promedio, como indice de frecuencia - por falta de registros nocturnos, lapso, - en general, de mayor frecuencia de Tormenta.

Un indice promedio de frecuencia de tormentas podría estar entre 2 a 6 Tormentas al mes, durante la estación de invierno y de 4 a 12 Tormentas al mes durante el verano.

En la Selva así como en la Sierra, la actividad de las Tormentas, disminuye en el invierno, pero en un grado mucho menor, teniendo por consiguiente un índice de frecuencia de Tormenta mayor, tanto para los

meses de Junio, Julio y Agosto que como para los meses de verano. Un índice aproximado de frecuencia de Tormenta podría estar de 4 a 16 Tormentas al mes en la estación de invierno y de 8 a 30 Tormentas al mes en el verano. Falta una carta meteorológica hecha a base de estadísticas.

IV

DESARROLLO PERUANO EN ALTAS TENSIONES

4.1 Infraestructura Eléctrica de Alta Tensión.

El Perú dispone de sistemas eléctricos en Alta Tensión a 60 KV., 138 KV. y 220 KV. que están conformados en su gran mayoría por redes de Potencia, interconectadas a través de Líneas Aéreas, con una longitud conjunta superior a los 6,400 KM., y estaciones de Transformación, en un número que sobrepasa los 130 emplazamientos, mediante los cuales se Transporta, adecúa y canaliza la energía necesaria en los centros de consumo, la cual es generada por unas 13 grandes centrales eléctricas ($> 20 \text{ MW}$) y otros 9 puntos medianos de producción de energía eléctrica, que en conjunto entregan actualmente un acumulado que sobrepasa los 15,000 GWh/año, con un estimado incremental de generación del 5.5%

anual; cuya responsabilidad de cubrimiento está mayormente a cargo de ELECTROPERU S.A. y las Empresas Regionales de Suministro, (Fig. 22), con un 70% de energía generada, que asimismo se hacen cargo de la administración y la explotación de las instalaciones en las tareas propias de la Operación y el Mantenimiento por encima de cuyo desarrollo, se han constituido los siguientes Sistemas Eléctricos.

a) Sistema Eléctrico CENTRO - NORTE

Es el más importante y lo constituyen los Sistemas Eléctricos de ELECTROPERU - (Mantaro, Cañon del Pato), ELECTROLIMA e - HIDRANDINA, ocupando Siete Departamentos del territorio Nacional. Cuenta con 18 puntos de generación que totalizan 1961 MW instalados que representa el 55% de la potencia instalada del país y dispone además de 1736 Km. de líneas en 220 V; 538 Km en 138 KV y 1026 Km a 60 KV.

b) Sistema Eléctrico SUR - OESTE

Está conformado por los Sistemas Arequipa y Tacna - Moquegua que se interconectarán por la Línea de Transmisión Arequipa - Moquegua a 220 KV de 114 Km. en doble Terna y



Fig. 22.1.- Área Geográfica de responsabilidad de las Empresas Regionales de Servicio Público de Electricidad.

y la Línea de Transmisión Moquegua - Toquepala a 138 KV. de 36 Km. en doble Terna.

- Sub - Sistema SEAL - CERRO VERDE,

Conformado por los Sistemas eléctricos de la Sociedad eléctrica Sur - Oeste y de Cerro Verde, que en conjunto dispone de 132 MW, con este sistema se abastece de energía a la Ciudad de Arequipa.

- Sub - Sistema Aricota - Southern Perú Cooper Corporation,

Conformado por los sistemas eléctricos de ELECTROPERU (Aricota) y de la S.P. C.C., este sistema abastece de energía eléctrica casi a la totalidad de las cargas de Tacna y Moquegua (99%) y la Potencia Instalada de 233.3 MW, 267 Km. de Líneas en 138 KV y 166 Km. en Líneas de 60 KV.

c) Sistema Eléctrico SUR - ESTE

Conformado por la Central Hidroeléctrica Machu-Pichu y la Central Térmica Dólores - Pata que en conjunto dispone 55.6 MW y 91 Km. de Líneas de 138 KV.. El Sistema fue ampliado en 1985, a una capacidad de generación eléctrica de 133 MW así como el alcance

de sus líneas eléctricas a través de la hoya del río Vilcanota llegando hasta Tintaya mediante 302 Km. de líneas en 138 KV.

d) Sistemas Eléctricos Aislados

El resto del país está servido por pequeñas Plantas Hidroeléctricas y Térmicas, algunas de las cuales serán interconectadas en el futuro; la capacidad instalada conjunta totaliza alrededor de 1000 MW de las cuales el porcentaje Térmico es importante, sobre todo en los Departamentos Costeros - Noroeste.

4.2 Facilidad de Laboratorio

Las instalaciones y facilidades de pruebas en Alta Tensión, requeridos para cubrir las necesidades de Investigación y Desarrollo, Didáctico Académica, Pruebas de Control de Calidad, Estudios Aplicados y Desarrollo de Ingeniería de Diseño, son limitadas; los laboratorios existentes en el País se encuentran principalmente en el sector privado de la Industria Eléctrica, quienes realizan pruebas especificadas en sus normas de fabricación así como pruebas espe

ciales según convenio entre la empresa y el comprador.

El presente catastro de laboratorios - tiene por objeto mostrar las posibilidades reales de los laboratorios instalados en el País, que es tan en condiciones de realizar ensayos y medición según normas establecidas.

La información que se detalla está - referida principalmente a los equipos que se utilizan para los diferentes tipos de ensayos requeridos en equipos de Alta Tensión.

BROWN BOVERT INDUSTRIAL CANEPA TAMBINI

Dirección: Avenida Argentina NO. 3120 - Lima

ENSAYOS

Realiza ensayos de Transformadores - Monofásicos de poste, Transformadores de potencia hasta 50 MVA y con tensión de servicio de 245 KV, Transformadores de corriente y tableros de distribución y control de acuerdo con Normas ASA, CEI e ITINTEC.

Adicionalmente a las pruebas específicas para sus líneas de fabricación, puede realizar las siguientes pruebas:

- Medida Del Nivel de ruido
- Medida del ángulo de perdidas
- Prueba de Ionización
- Prueba de Impulso
- Prueba de aislamiento con tensión aplicada a frecuencia industrial.

EQUIPAMIENTO

Todo el equipamiento necesario para el ensayo de Transformadores (Potencia y medida) y tableros, comprendiendo:

- 1 Generador Síncrono de 1000 KVA, 60 Hz.
- 1 Generador Síncrono de 500 KVA, 60-120 Hz.
- 1 Banco de Condensadores de 6.6 MVAR,
- 3 Transformadores Auxiliares de
 - 14 MVA 40/3 KV.
 - 2 MVA 160/2 KV.
 - 200 KVA 286/1.6 KV.
- 1 Equipo de Impulso de 3,200 KV, 67 KJ
- 1 Juego de Instrumentos digitales de medición
- 2 Transformadores de medida de Tensión
 - 12/0.3 - 0.15 KV
- 2 Transformadores de medida de tensión de
 - 24/0.3 - 0.15 KV

- 2 Transformadores de medida de tensión de
20/0.3 - 0.15 KV
- 3 Transformadores de medida de tensión de
60/ 3/ 100/ 3 KV
- 2 Transformadores de medida de Corriente de
60 KV, 10-5/5A
- 1 Puente para de la relación de transforma-
ción
- 1 Puente Wheatstone - Thompson para la medi-
da de la resistencia.

CEPER - CONDUCTORES ELECTRICOS PERUANOS S.A.

Dirección : Panamericana Norte Km. 18 - San Martín
de Porres.

ENSAYOS

CEPER es fabricante de alambres cables conductores de cobre y aluminio; la verificación de calidad de los tipos de cables, la realiza el Departamento de Control de Calidad.

EQUIPAMIENTO

- Transformadores para tensión máxima de 100 KV C.A.
- Equipo portatil de corriente continúa hasta 20KV.
- Equipo para medición de resistencia de aislamientos hasta 20,000 Megohms.
- Puente de Capacidad y desbalance capacitivo
- Detector de Ionización o Efecto Corona.
- Puente para resistividad del terreno.
- Puente Schring
- Puente Wheatstone, Thompson
- Baños Térmicos hasta 200 °C
- Estufas con rango hasta 300 °C
- Estufa con vacío
- Equipo de vidrio para pruebas químicas
- Dinamómetros con rango de trabajo hasta 500 Kgs.
- Micrómetro milésimales y centésimales
- Equipos pequeños varios.

CONSTRUCCIONES ELECTROMECHANICAS DELCROSA S.A.

Dirección: Av. Argentina No. 1509 - Lima.

ENSAYOS

Realiza ensayos de diferentes tipos para cumplir con las normas de fabricación de - Transformadores de distribución y Potencia, motores eléctricos y Tableros de Control.

EQUIPAMIENTO

En su Laboratorio de ensayos eléctricos destaca:

- Regulador marca Marelli, con variación de tensión en forma manual y/o automática. Rango de variación 0 a 800 V, 60 Hz y potencia de 200 KW.

- Generador de Impulso de 800 KV, 30 KJ, con 8 niveles de 100 KV cada uno.

Transformador monofásico de 500 KVA, 150 KV., - 60 Jz, con espinterómetro de esferas de 250ml. de diámetro y Norma ASEA.

- Espinterómetro de punta, Marca Siemens, para la prueba de Tensión Aplicada, con sistema automático de desconexión. Rango 0 a 15 KV, con regulación normal.
- Detector de sonido, Marca Richter.
- Aparatos para la medida de la Rigidez Dieléctrica de los Aceites Aislantes, según Normas ASA, IEC, Marca Siemens.
- Megómetro electrónico, Marca Metrawatt, para la medida de resistencia de aislamiento, Rango de Tensión de 500 a 500 V.
- Grupo Dínamo - Freno , compuesto de dínamo, balanza regulable, equipos de excitación e instrumentos de medida para su control. Rango de prueba 200 KW en 3600 a 900 RPM.
- Termómetros Digital
- Equipo para ensayos de Motores Asíncronos, según Normas ITITEC, IEC Y NEMA.
- Equipo para ensayos de transformadores, según Normas ITINTEC e IEC.
- Juego completo de instrumentos de medida, clase 0.2.

ELECTROLIMA

Dirección : Conde de Superunda No. 261 - Lima.

ENSAYOS

Posee un Laboratorio de Mecánica de Suelos y concreto.

En este Laboratorio se realizan trabajos relacionados con análisis y pruebas de suelos de obras de represa y obras hidráulicas de Centrales Hidroeléctricas:

- Pruebas de Compactación de suelos por el método Proctor.
- Pruebas de permeabilidad
- Análisis granulométrico.
- Determinación de humedad
- Determinación de los límites líquido y plástico de los suelos.

EQUIPAMIENTO

Los instrumentos que conforman éste Laboratorio son fundamentalmente:

- Horno eléctrico de 1.95 KW, 60 H_z, 220 V.

↳ Una batea para Hidrómetro, 220 V, 1HP, 60 H_z

Un agitador Soiltest de 10,000 Rpm, con dos va sos metálicos Soiltest para ensayos hidrométricos.

- Balanza, hasta 100 Kgs. con juego de pesar.

- Dos juegos de Aparatos Soiltest CL-207 para límites de consistencia, Límite líquido.

- Dos aparatos Soiltest, para medir densidad por el método de cono de Arena.

- Un molde Proctor para permeabilidad de suelos, Marca Soiltest K-610.

EMPRESA SIDERURGICA DEL PERU (SIDERPERU)

Dirección Avenida Tacna N^o. 541 - Lima.

ENSAYOS

Los Laboratorios de SIDERPERU, aparte del destino análisis de los insumos y productos siderúrgicos, están equipados con miras al mantenimiento de las instalaciones.

EQUIPAMIENTO

a) Laboratorio de ensayo de alta Tensión:

- Probador de aceites hasta 40 KV.
- Probador de aislamiento de motores hasta 10KV.

b) Laboratorio de ensayo de relés:

- Probador de relés hasta 500 Amp.
- Probador de relés hasta 100 Amp.

c) Laboratorio de ensayos de servomecanismos:

- Mantenimientos de los servomecanismos electrónicos, hidráulicos, neumáticos, que conforman los circuitos reguladores de velocidad, corriente y tensión de motores de temperatura y presión de hornos, de caudal, etc.

INDECO PERUANA S.A.

Dirección: Avenida Universitaria No. 683 - Lima.

ENSAYOS

INDECO es fabricante de alambres y cables conductores de cobre y aluminio. La gama de productos son fabricados y controlados de acuerdo con las Normas Nacionales e Internacionales más conocidas.

EQUIPAMIENTO

Para cumplir con los requisitos de calidad cuenta con los siguientes equipos de pruebas ó ensayos de Laboratorio:

- Dinamómetros y Elongadores de diferentes capacidades hasta 60,000 Lbs.
- Medidores de diámetro, espesor, etc. desde lecturas en milésimas.
- Microscopios

Estufas de diferentes tipos con rango hasta - 300°C.

- Cámaras de frío hasta - 40 °F.
- Puentes medidores de resistencias Ohmica en corrientes alternas y continúa del tipo Wheatstone, Thompson ó el combinado.
- Puente Shering
- Equipo detector de descarga parciales (Prueba Corona).
- Transformadores de prueba hasta 200 KV.
- Equipo de Prueba de corriente continúa.
- Equipos medidores de resistencia de aislación hasta 100,000 Megohms.
- Puentes de capacidad, inductancia, resistencia y factor de pérdida.
- Equipos medidores de diafonía y desbalance de capacidad en líneas telefónicas a diferentes ciclajes.
- Baños térmicos por agua y aceites hasta 200 °C
- Diversos equipos dentro del Laboratorio Físico - Químico.
- Potenciómetro ó medidor de PH
- Viscosímetros y Varios.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Dirección Av. Tupac Amaru S/N. - Lima

ENSAYOS

Posee Laboratorios de Mediciones -
Eléctricas, Máquinas Eléctricas y Alta Tensión.

Los ensayos más importantes que rea
za son:

- Ensayos Dieléctricos
- Ensayos de Cables
- Ensayos de Conductores
- Ensayos de aisladores en seco bajo lluvia
- Pruebas de Transformadores
- Pruebas de Motores Eléctricos
- Contraste de instrumentos de Medida

EQUIPAMIENTO

- Grupos Ward Leonard, tensión regulable en c.a.
hasta 300 V, 66 Amp., frecuencia regulable has
ta 65 ciclos por segundo.
- Grupos Convertidores c.c. - c.a.
- Reguladores de Inducción

- Frenos (hasta 4 Hp)
- Equipo de lluvia Artificial
- Cámara Climática
- Voltmetro electrostático
- Puente Schering
- Puentes Weston y Thompson
- Instrumentos de medición
- 1 Divisor de tensión capacitivo, con relación 100 KV/0.15KV y tensión nominal de 220 KV.
- 1 Transformador Ferranti Monofásico, cuya alimentación en baja es a 220 V y se obtiene una salida en Alta contra tierra máxima de 100 KV. y 7.5 KVA.
- 1 Fuente de tensión Alterna variable con entrada a 220 V y salida máxima de 40 KV, para realizar ensayos de dieléctricos sólidos.
- 1 Fuente de Tensión Alterna regulable hasta 35 KV para realizar ensayos en Aceite.
- 1 Equipo de medición de corriente de fuga en aislantes sólidos con salida en tensión continua máxima de 5 KV y 2,000 uA.
- 1 Equipo de medición de corriente de fuga en aislantes sólidos con salida de tensión continua máxima en 30 KV y 2,500 uA.
- Espinterómetro de esferas, que permite la medición de valores máximos de tensiones.

4.3 Perspectivas de Desarrollo

El análisis de la situación del Sub Sector Electricidad, indica que la infraestructura actual de energía eléctrica no satisface todos los requerimientos de las actividades productivas y de servicios y aún no beneficia a la mayoría de la población del país, por lo que es necesario y prioritarios seguir trabajando intensamente y de manera eficaz a fin de ampliar esta infraestructura.

Sin embargo, para alcanzar dicha meta se tiene que superar una serie de restricciones que son orden técnico, económico, financiero y administrativo. En el caso de las restricciones técnicas se debe señalar que ellas son producto de la naturaleza de los proyectos de electrificación, dado que muchos de ellos son hidroelectricos, que demandan la elaboración de estudios detallados y cuyas obras son complicadas y requieren largo periodo de ejecución.

Las restricciones económicas y financieras, son originadas principalmente por las grandes inversiones que se tiene que inmovilizar, por el nivel de requerimientos de moneda extranjera.

jara y financiamiento externo y por el congelamiento de las tarifas de energía eléctrica. Adicionalmente se debe agregar los efectos de la crisis económica que atraviesa el país, que de un lado ha producido una baja en la demanda de energía y por consiguiente menos ingresos para las empresas de energía y de otro por las limitadas posibilidades para captar nuevos financiamientos externos debido a la capacidad de endeudamiento del país.

En el plano administrativo, las restricciones están siendo superadas, con la conformación de las Empresas Regionales y Transformación de ELECTROPERU en entidad matriz encargada de dirigir el proceso de electrificación a nivel nacional.

- Desarrollo de los Sistemas de Transmisión en Mediano Plazo.

Los sistemas de transmisión del Servicio Público de Electricidad, que conecten las cargas actualmente servidas y la expansión de los sistemas eléctricos, deberán crecer considerando la ejecución (en el período 1984 1994) de 2,424.2 Km. de Líneas de Transmisión a 220 KV; 1,673 Km. a 138 KV; 1,55.7 Km. a 60 KV.

El incremento en porcentaje en las Líneas a 220 KV será 93.8%; en las de 138 KV de 113.5 % y en las de 60 KV de 62.4 %.

La evolución de las Líneas de transmisión en el periodo analizado se muestra a continuación en el cuadro.

TEN- SION (KV)	L I N E A S D E T R A N S M I S I O N					
	1,983		1,984-1994		TOTAL	
	Km.	%	Km.	%	Km.	%
220	2,583.8	40.9	2,424.2	46.1	5,008.0	43.3
138	1,474.7	23.3	1,673.3	31.9	3,148.0	27.2
66	407.7	6.5	--	--	407.7	3.5
60	1,852.3	29.3	1,155.7	22.0	3,008.0	26.0
TOTAL	6,318.5	100.0	5,253.2	100.0	11,571.7	100.0

Nota:

En las líneas de doble terna se duplican sus respectivas longitudes.

Se detalla en la Tabla 11 las principales obras a ejecutarse tanto en Generación Eléctrica, así como en Líneas de Transmisión en el período de 1984 - 1994.

- Desarrollo de los Sistemas de Transmisión en el Largo Plazo.

El análisis de los sistemas de Transmisión para el período 1995 - 2009 elaborado por ELECTROPERU determinó las principales características de los Sistemas de Transmisión en el largo Plazo Este análisis se ha basado en el estudio de los flujos de potencia de las diversas configuraciones establecidas para los años 1995, 2000, 2005 y 2009.

Sistema Interconectado Centro - Norte

En lo concerniente al programa de Transmisión asociado al programa de generación del Sistema Centro - Norte se han obtenido las siguientes conclusiones;

La configuración básica de la red no varía, es decir un eje longitudinal en la Región Norte y Norte Medio y un anillo en la Región Central.

- La demanda de Línea sigue siendo la principal

T A B L A 11

PRINCIPALES LINEAS DE TRANSMISION - PERIODO 1984-1994(Km)

P R O Y E C T O	T E N S I O N			AÑO DE PUESTA EN SER VICIO
	220KV	138 KV	60 KV	
L.T. Paita - El Arenal	-	-	24	1985
L.T. Parcona - Ica Norte	-	-	12-	1985
L.T. Cobriza - Huanca y e - Ayacucho	-	-	80.	1985
L.T. Quencoro - Tintaya	-	187	-	1986
L.T. Juliaca - Puno	-	-	37.5	1986
L.T. Cerro de Pasco - Huá nuco Tingo María	-	174	-	1986
L.T. Chiclayo - Lambayeque	-	-	12.5	1987
L.T. Chiclayo - Piura	255	-	-	1987
L.T. Pisco - Lima	216	-	-	1987
L.T. C.H. Carhuaquero - Chiclayo	83	-	-	1987
L.T. Arequipa - Toquepala	-	139.4	-	1987
L.T. C.H. Machupicchu - Quencoro	-	94	-	1987
L.T. Trujillo - Chiclayo	181	-	-	1988
L.T. La Oroya - Tarma - Chanchamayo	-	32,5	65	1988
L.T. Yaupi - Villarica - Oxapampa	-	31.8	-	1988

P R O Y E C T O	T E N S I O N			AÑO DE PUESTA EN SER VICIO.
	220 KV	138 KV	60 KV	
L.T. Aricota - Tacna	-	93	4	1988
L.T. Tintaya - Juliaca	-	242	17	1988
L.T. Piura - Paíta	-	-	45	1989
L.T. Huallanca-Huáraz - Ticapampa	-	94	-	1989
L.T. Mantaro - Lima	326	-	-	1989
L.T. Mantaro-Nazca-Palpa	-	-	98.8	1989
L.T. C.H. Machupicchu - Quillabamba	-	-	45	1989
LL.TI C.H. El Sauce	-	-	107	1989
L.T. Piura - La Unión	-	-	286	1990
L.T. Cuzco - Abancay	-	-	95	1990
L.T. Piura - Bayobar	92	-	-	1991
L.T. Huallanca - Chimbote 4º Circuito	-	80	-	1991
L.T. Piura - Chulucanas	-	-	50	1992
L.T. Pampa Blanca - Chim bote	-	39	-	1992
L.T. Guadalupe - Cajamarca	-	-	145	1993
L.T. C.H. Mayush - Paramon ga Nueva	63	-	-	1993
L.T. Lima - Chimbote - 2º Terna	537	-	-	1994

del sistema con más del 50 %, lo cual exige transmisión de excedentes de las centrales ubicadas en las Regiones Norte y Norte Medio para completar sus requerimientos. En razón de la distancia y la magnitud de la carga a transportar en el eje Piura a Lima la Línea costera a doble terna de 220 KV se hace suficiente en el período 1995 -2005.

- Con la implementación de las diversas etapas de Olmos es posible extender el sistema de transmisión en la Región Norte para conectar las cargas de Talara y Tumbes en 220 KV y 138 KV respectivamente en 1997.
- En 1998 con entrada de la Central Chaglla, una línea doble terna a 220 KV hasta Zapallal permitiría evacuar su energía. Adicionalmente el Sistema Centro podría incorporar la carga de Pucallpa mediante una línea de simple terna a 220 KV.

A partir del año 2,000, los diversos aprovechamientos en río Ene hacen necesario introducir una nueva tensión. Para efectos del análisis se han asumido la tensión de 500 KV, estimandose que 4 termas hacia Lima permiti-

rian evacuar toda la energía con suficiente confiabilidad. Este sistema de transmisión es suficiente en la Región Central hasta el año 2009.

- En las Regiones Norte y Norte Medio a partir de 2005 se hace necesario reforzar los circuitos de 220 KV, con una terna adicional - entre Piura y Trujillo Norte y una doble terna entre Trujillo Norte y Zapallal.

Sistema Sur

Para el programa de transmisión asociado al plan de generación en el Sistema Sur se tiene las siguientes conclusiones:

- La implementación de la C.H. LLuta I en 1994 introduce la necesidad de elevar la tensión Socabaya - Toquepala a 220 KV. Asimismo, sería conveniente implementar la segunda terna con la entrada de la C.H. LLuta II en 1996 para aumentar confiabilidad.
- En razón de las magnitudes de la carga en Arequipa y la implementación de las Centrales LLuta y Mollococ para el período de planificación 1995,- 2009, se requiere realizar

nuevas líneas para transportar los excedentes hacia el Sistema Sur Este.

- Debido a la magnitud de la C.H. San Gabán en Puno y C.H. Quishuarani en el Cusco, se hace necesario Interconectar los Sistemas Sur-Este y Sur-Oeste en 1995 mediante una línea a 138 KV a simple terna que una Socabaya con Puno. Esta Línea podría ser diseñada para doble terna a 220 KV, pero inicialmente con una terna imergizada a 138 KV., con compensación reactiva.

A partir del año 2006 se hace necesario unir mediante una línea a 138 KV, a simple terna, Socabaya con Tintaya. Esta Línea podría ser diseñada para 220 KV, pero energizada inicialmente a 138 KV.

En general, la lejana localización de los grandes potenciales hidroeléctricos (Tabla 12), supone entonces la necesidad de utilizar en la canalización de la energía no sólo de líneas de gran longitud, sino también elevadas tensiones de transporte, lo cual dado el actual desarrollo tecnológico de la implementación de sistemas de potencia, no se presentaría

T A B L A 12

Potenciales de las cuencas de los Ríos Marañón, Alto Ucayali y Huallaga .

<u>Río Marañón</u>		<u>Río Alto Ucayali</u>		<u>Río Huallaga</u>	
Central	Pot. MW	Primera Alternat.		Central	Pot. MW
<u>Vizcarra</u>	<u>140</u>	<u>Central</u>	<u>Pot. MW</u>	<u>Chaglla I</u>	<u>210</u>
Llata I	210	Ene	900	Chaglla II	280
Llata II	200	Tambo I	4400	Coyumba	460
Puchca	140	Tambo II	4500	Tingo María	220
Yanamayo	160	Tambo de		El Valle	720
Pulperfa	220	Restitución	780	Juanjuí	315
Rupac	300	Tambo III	780		
San Pablo	390	<u>Segunda Alternat.</u>			
Pataz I	320	Ene	900	Pongo de	
Pataz II	240	Paquitza-		Aguirre	750
Chusgon	240	pongo	2260	Tocache	400
Bolívar	290	Perené	325	Bellavista	350
Bolsas	350	Tambo I	2670	Buenos Aires	585
Santa Rosa	340	Tambo de			
Yangas	330	Restituc.	780		
Pion	350	Tambo II	780		
Cumba	410				
Rentema	1500				
Escurre- braga	1800				
Monseriche	4500				

mayores dificultades a no ser por el hecho que dicha infraestructura debe recorrer un perfil topográfico cuyas cotas oscilan entre 0 y 5000 metros de altitud y tienen características variadas no siempre favorables al desarrollo eléctrico.

En la actualidad en el Perú, 220 KV es la tensión más alta de transporte desarrollado. En efecto, la red de 220 KV sirve como una red de transporte y al mismo tiempo es una red de distribución. En el futuro con la aparición de una tensión más alta, la red de 220 KV, tendrá una tarea de subtransmisión siendo la función de transporte tomada por la nueva tensión.

Existen diferencias de opiniones con respecto a los pasos sucesivos de tensión, en particular 3, 2, 3, 3.5 y 4; ubicándose preferentemente entre 1.8 hasta 3. La superposición de Extra Alta Tensión deberá ser efectuada teniendo en cuenta factores como:

La disminución del número de pasos de Tensión entre la producción de energía eléctrica y la demanda para reducir las pérdidas por transformación.

- La seguridad de suministro de la demanda a límites económicamente justificados para realizar el fortalecimiento de la red.

- La elasticidad de satisfacer la perspectiva de desarrollo para enfrentar posibles cambios en el desarrollo de la demanda y ofertas previstas. En este caso una tensión superior puede ser más recomendada si los gastos suplementarios se encuentran en el límite económico frente a una tensión inferior.

Análisis preliminares, recomiendan - una red de 500 KV como la red principal de transporte y una red de 220 KV como la red de distribución de energía eléctrica, teniendo como punto de suministro subestaciones 500/220 KV.

Este nivel de tensión, es normalizado y difundido a nivel mundial y corresponde con la escala de tensión recomendada por la Comisión Electrotécnica Internacional, con la ventaja de requerir equipos normalizados de costos más reducidos y más fácil de adquirir o producir.

TECNOLOGIA ACTUAL DE CORRECCIONES PARA
ALTA COTA

El diseño del aislamiento de una línea de transmisión de Potencia Eléctrica, involucra la coordinación requerida respecto a la contaminación, los sobretensiones a frecuencia industrial, las sobretensiones de maniobra y las sobretensiones atmosféricas.

Normalmente en el diseño de Líneas Eléctricas a Alta y Extra Alta Tensión, el aislamiento externo se define mayoritariamente por las características y exigencias de las sobretensiones de maniobra y en algunos casos por las sobretensiones atmosféricas.

5.1 Metodología Usual Aplicada

MAXIMA SOBRETENSION DE MANIOBRA

El término sobretensión de maniobra se refiere a una sobretensión transitoria, altamente amortiguada, generada por el Sistema, en respuesta a una operación de maniobra; dichos esfuerzos eléctricos son sustancialmente de mayor duración que las producidas por descargas atmosféricas y desde el punto de vista de sostenimiento del aislamiento, son más peligrosas por su mayor duración y forma de onda, que por su origen que sin embargo, es útil, ya que ese criterio de clasificación ofrece una guía sobre que situaciones deben ser investigadas cuando se recolectan los datos de sobretensiones.

De manera convencional, la máxima sobretensión de maniobra (V_{SM}), está dada por:

$$V_{SM} = \left(\frac{V_S}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} \right) \times F_{SV} \times F_{SM} \quad (1)$$

Donde:

V_{SM} = Máxima sobretensión de maniobra en KV

V_S = Tensión nominal entre fases en KV

F_{SV} = Factor de sobretensión permitido en operación normal (entre 1.0 y 1.1, normalmente se acepta 1.05).

F_{SM} = Factor de sobretensión por maniobra en p.u.

TENSION CRITICA NO DISRUPTIVA (VW)

También conocida como el "Withstand Voltage" o tensión de sostenimiento.

Procediendo de acuerdo al Método Estadístico y considerando una distribución probabilística normal, se tiene las siguientes formas de cálculo:

a) Según IEC

La INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, recomienda los siguientes valores:

- Probabilidad de disrupción	10 %
Probabilidad de sostenimiento	90 %

De Donde:

$$VW = CFO - 1.28 \quad (2)$$

$$VW = CFO \left[1 - 1.28 \left(-\frac{\sigma}{CFO} \right) \right]$$

- VW = Tensión crítica no disruptiva
- CFO = Tensión crítica disruptiva con 50% de probabilidad de ocurrencia.

b) Según EPRI

EL ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE,
recomienda:

- Probabilidad de disrupción = 0.13%
- Probabilidad de sostenimiento = 99.8 %

Luego:

$$VW = CFO - 3 \sigma' \quad (3)$$

$$VW = CFO (1 - 3 \sigma')$$

donde:

$$\sigma' = \frac{\sigma}{CFO} = \text{es la desviación estandar normalizada con respecto al CFO.}$$

Este valor es únicamente experimental y en todas las referencias actuales se recomienda el uso de 5 % ó 6 %.

TENSION CRITICA DISRUPTIVA (CFO)

El diseño del aislamiento exige que se cumpla la condición:

$$V_{SM} \leq VW$$

Resultando, de acuerdo al criterio del EPRI:

$$CFO = \frac{V_{SM}}{(1 - 3\sigma')}$$

Y (4)

$$CFU = \frac{1}{(1 - 3\sigma')} \times \frac{V_S \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times F_{SV} \times F_{SM}$$

FACTORES DE CORRECCION DEL CFO

El valor del CFO a condiciones estándares es afectado por los siguientes factores de corrección:

- Por humedad
- Por lluvia
- Por densidad relativa del aire
- Por factor de corrección para tensiones de impulso.

Entonces, el valor del CFO corregido a condiciones medio-ambientales (CFO_I), se determina según:

$$CFO_I = CFO \times K1 \times K2 \left(\frac{HV}{DRA} \right)^{n'} \quad (5)$$

donde:

$K1 = \underline{\text{Factor de relación Tensión de Impulso/ sobretensión de maniobra}}$

Este factor permite la corrección de la tensión crítica disruptiva a la tensión de

impulso crítica disruptiva. Viene dado por el sistema y el tipo de tensión de impulso a usar en la selección de aisladores. Normalmente se considera $K_1 = 1.20$.

$K_2 =$ Factor de corrección por lluvia

De acuerdo a lo recomendado por el EPRI, se puede asegurar que la lluvia tiene un efecto reductor en las tensiones de sostenimiento del orden del 5%. Normalmente se acepta: $K_2 = 1.05$.

$H_v =$ Factor de corrección por humedad

Es conocido que la humedad contenida en el aire tiene gran influencia en la capacidad aislante de los aisladores y espaciamientos. La fig. No. 23

Permite calcular el factor de corrección en función de la humedad.

$DR_A =$ Factor de corrección por densidad relativa del aire

A condiciones estándares en:

- presión barométrica : 760 mm. Hg.
- temperatura : 25°C

$$DR_A = \delta = 1.0$$

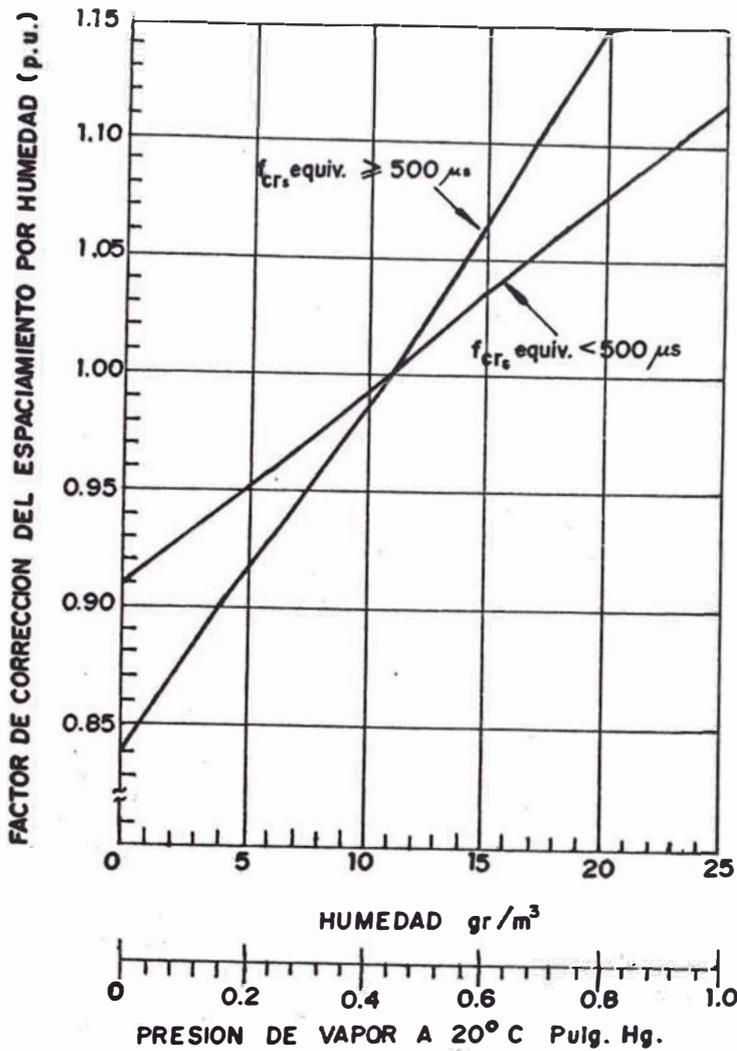


Fig. 23 :- Factor de corrección del espaciamiento por humedad

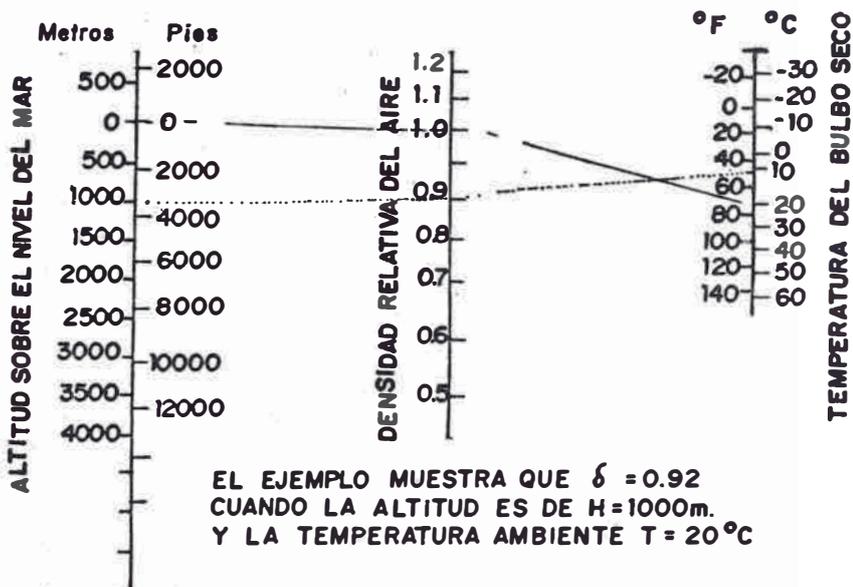


Fig. 24 :- Nomograma de la densidad relativa del aire en función de la altitud y la temperatura.

Para otros valores de presión y temperatura:

$$\mathcal{J} = 0.386 \frac{b}{273 + t} \quad (6)$$

donde:

b = Presión barométrica, mm Hg.

t = Temperatura, °C

El nomograma de la fig. 24

Permite calcular el valor de " \mathcal{J} " en función de la temperatura y la elevación sobre el nivel del mar.

n' = Exponente para la corrección por humedad y densidad relativa del aire que depende de la longitud del espaciamiento según la fig. 25

DISEÑO DE ESPACIAMIENTOS

Comprende básicamente el cálculo de las distancias mínimas a masa para determinar la geometría de la torre. En el caso general se tiene:

- Fase Central : Cadenas en "V" o en "I"

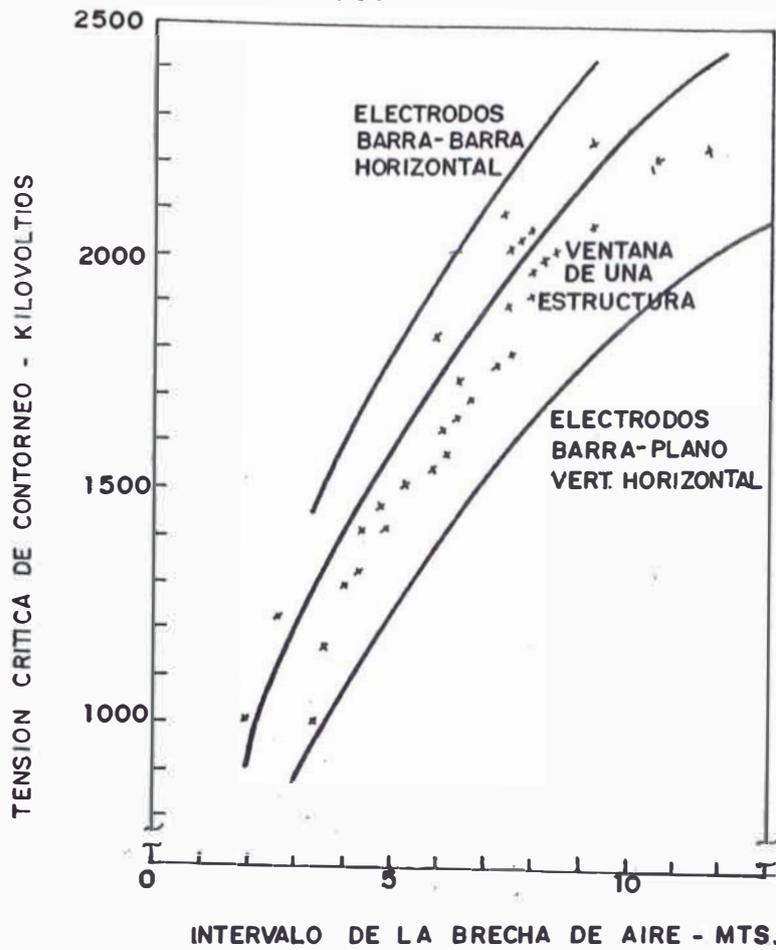


Fig. 25 : Sostenimiento a impulsos de maniobra de brechas de aire en estructuras rectangulares de 1.2 mts. de ancho.
 - IMPULSOS CON TIEMPOS CRITICOS DE CRESTA
 CONDICIONES ATMOSFERICAS NORMALES
 $\delta = 1$, $h = 11$, g / m^3

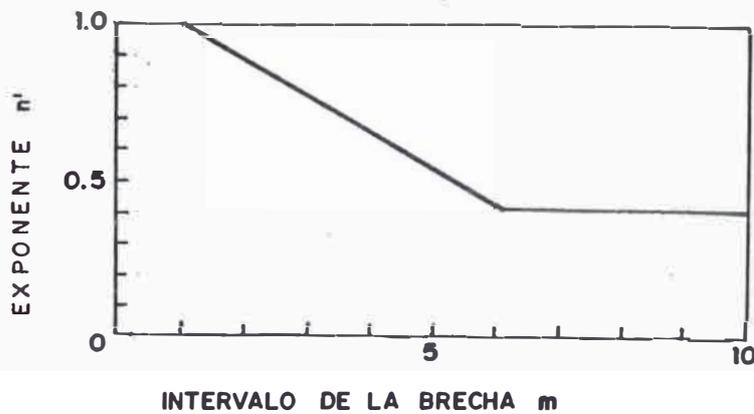


Fig. 26 : Exponente para la corrección de la tensión en función de la humedad y la densidad relativa del aire a las condiciones del sitio

- Fase Exterior : Cadenas en "I"

i) CASO DE FASE CENTRAL - CADENAS EN "V" (VER FIG 28.a)

Debe seguirse la siguiente secuencia de calculos:

a) Tensión crítica disruptiva (CFO)

Como fué calculado anteriormente:

$$CFO = \frac{1}{(1 - 3 \sigma^2)} \times \left[\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times V_S \right] \times F_{SV} \times F_{SM} \quad (7)$$

b) Corrección del CFO por lluvia

Calculado según:

$$CFO_C = CFO \cdot K_2 \quad (8)$$

K_2 = Factor de corrección por lluvia, explicado anteriormente

$$(K_2 = 1.05)$$

c) Distancia mínima requerida para condiciones estándar

La distancia mínima "D", requerida - para condiciones estándar, es calculada me

diante la fig. 26 , en función del valor de la tensión crítica disruptiva CFD_F .

d) Distancia mínima corregida por humedad y densidad relativa de aire

La distancia "D", calculada anteriormente, debe ser corregida por efectos de humedad y densidad relativa de aire, según:

$$DC = \frac{D}{Hd \times DR_A} \quad (9)$$

Donde:

D_C = distancia mínima corregida

Hd = factor de corrección del espaciamiento por humedad, obtenido de la fig. 23

DR_A = densidad relativa del aire, obteniendo del nomograma de la fig. 24.

e) Corrección por espesor de la torre

El factor de corrección por espesor o ancho de la torre (K_4), se obtiene a partir de la fig. 27 , en función del ancho de la torre y del espaciamiento corregido -

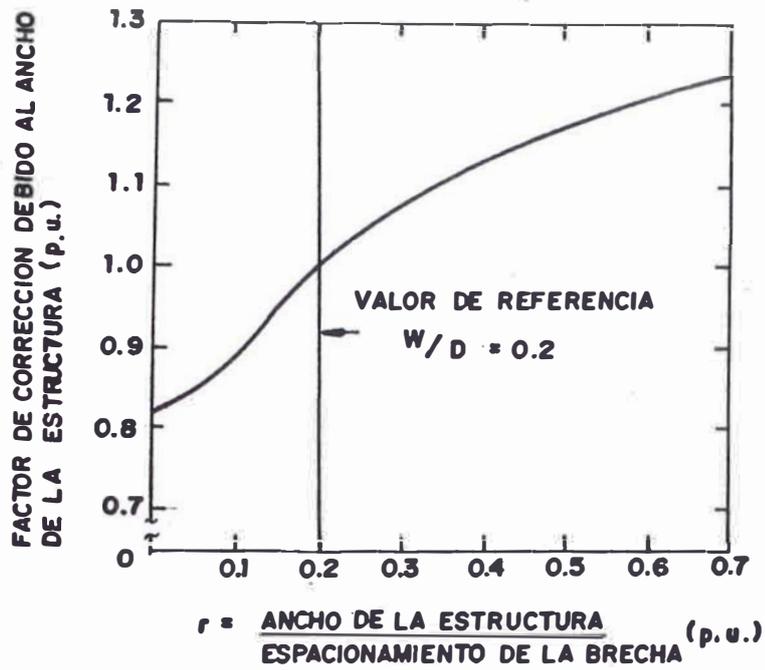


Fig. 27 r Factor de corrección debido al ancho de las estructuras de las líneas eléctricas

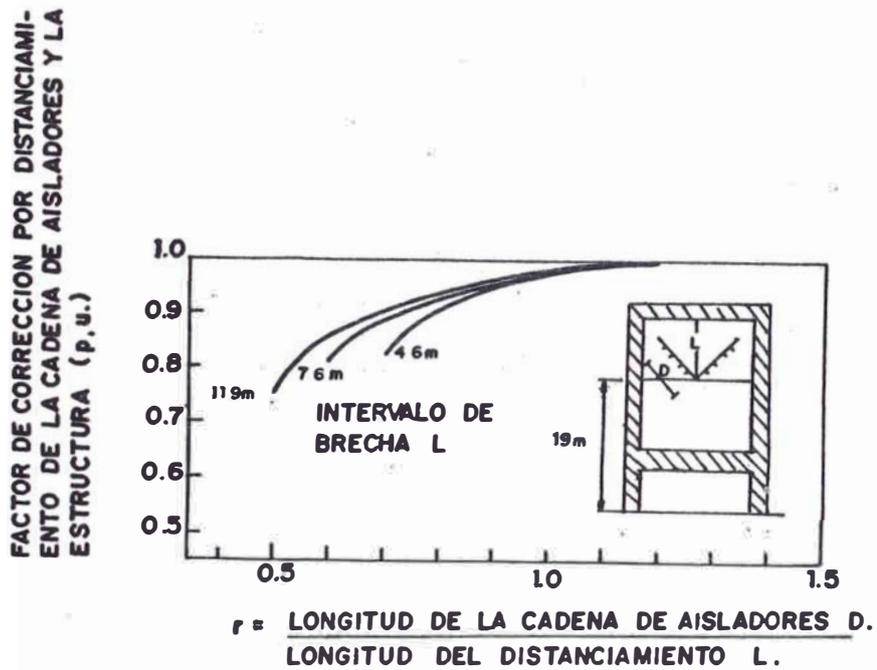


Fig. 28 r Factor de corrección debido al espaciado de las cadenas de aisladores y la estructura

DISEÑO DE ESPACIAMIENTOS

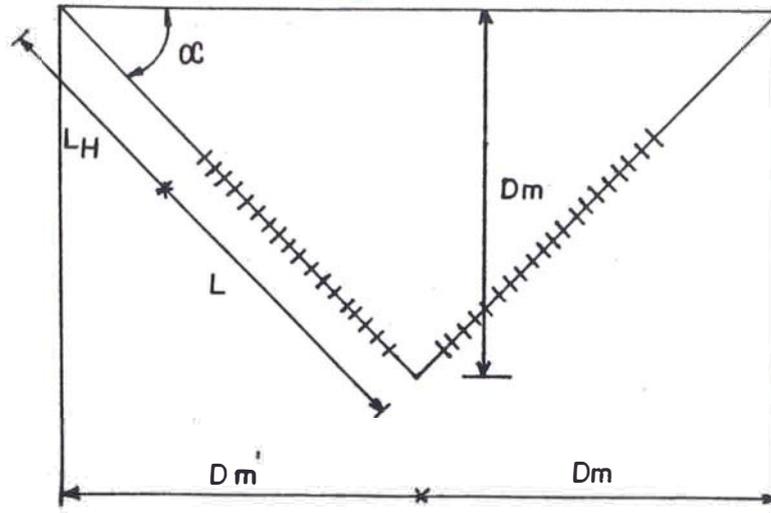


Fig. 28.a

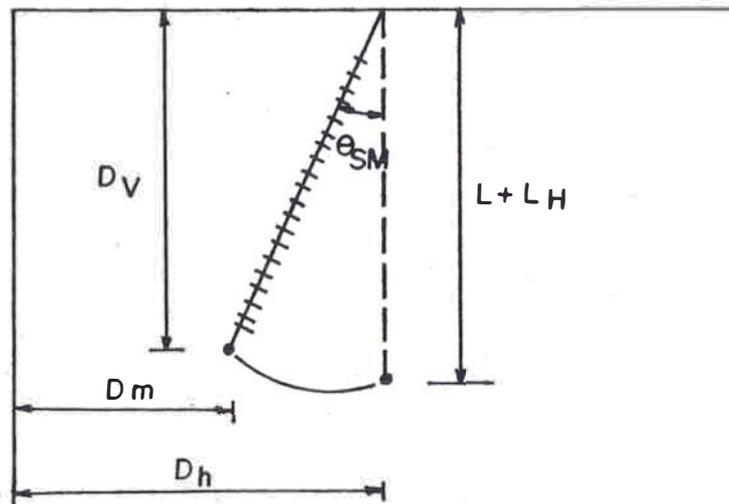


Fig. 28.b

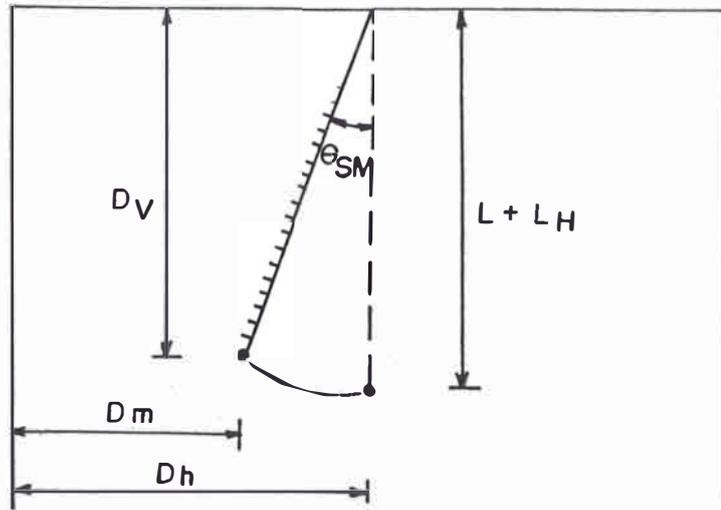
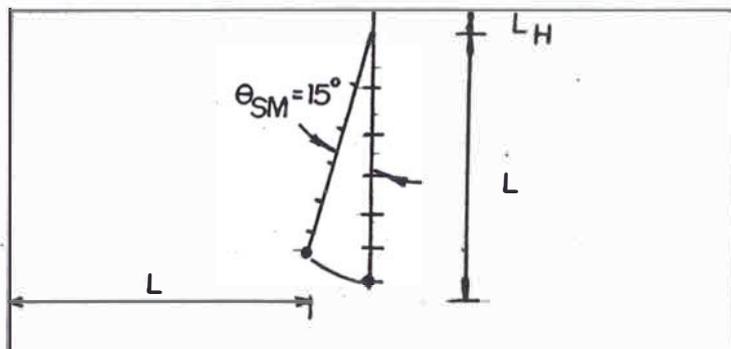


Fig. 28.c

Fig. 28.d = Criterio de Espaciamento
segun el EDISON

D_C . De esta manera se obtiene la distancia corregida.

$$D'_C = D_C \times K4 \quad (10)$$

f) Corrección por longitud de la cadena.

El factor de corrección por longitud de la cadena ($K5$) se obtiene de la fig. 28 en función del valor anterior D'_C y de la longitud de la cadena de aisladores L .

De esta manera es calculado el valor del espaciamiento D_m de la fig. 28 .a, según:

$$D_m = D'_C \times K5 \quad (11)$$

ii) CASO DE FASE CENTRAL - CADENAS EN "I"

Este caso es el representado en la fig. 28 .b y el procedimiento a seguir es:

a) Cálculo del ángulo de inclinación de la cadena (θ_{SM})

El ángulo de inclinación de la cadena (θ_{SM}) para el diseño por sobretensión de maniobra, es calculado según los experimentos de HORNISGRINDE, mediante la expresi

si3n:

$$\theta_{SM} = \text{tg}^{-1} \left(0.2453 \times V_{\text{smp}} \times \frac{d}{p} \times \frac{V_m}{V_g} \right) \quad (12)$$

donde:

V_{smp} = velocidad de viento estacionario promedio, Km/h. (puede aceptarse una duraci3n de 5 minutos, en un periodo de ocurrencia de 50 a3os). Suele considerarse tambi3n como el 50% del valor de la m3xima velocidad de viento.

d = di3metro del conductor, en mts.

p = peso del conductor, en Kg/m.

V_m = vano medio, en metros

V_g = vano gravante, en metros

Otra manera de calcular el valor del 3ngulo θ_{SM} , consiste en la utilizaci3n de los resultados experimentales graficados en la fig. 28, en funci3n del viento promedio y las caracterfsticas mec3nicas del conductor.

Tambi3n se puede utilizar un 3ngulo θ_{SM} de 15° , como resultado de un conjunto

de experimentos indicados en la fig 29 ; particularmente, este es el criterio recomendado en el EHV Transmisión Line Reference Book de la General Electric, donde se establece, como criterio, que con un ángulo de oscilación de la cadena de 15° , la distancia a masa debe ser cuando menos igual a la longitud de la cadena de aisladores (Ver fig. 28.d).

De acuerdo a la fig. 28.b, el valor de D_h es calculado en función de D_m , L , θ_{SM} , según:

$$D_h = D_m + L \text{ Sen } \theta_{SM} \quad (13)$$

iii) CASO DE FASE EXTERNA - CADENAS EN "V"
O "I"

Rige el mismo criterio que en pero se desprecia el efecto de la ventana de la torre.

De esta manera:

- Para $D_m < 5m$. se considera $D'_m = 0.94 D_m$

- Para $D_m \geq 5m$. se considera $D'_m = D_m$

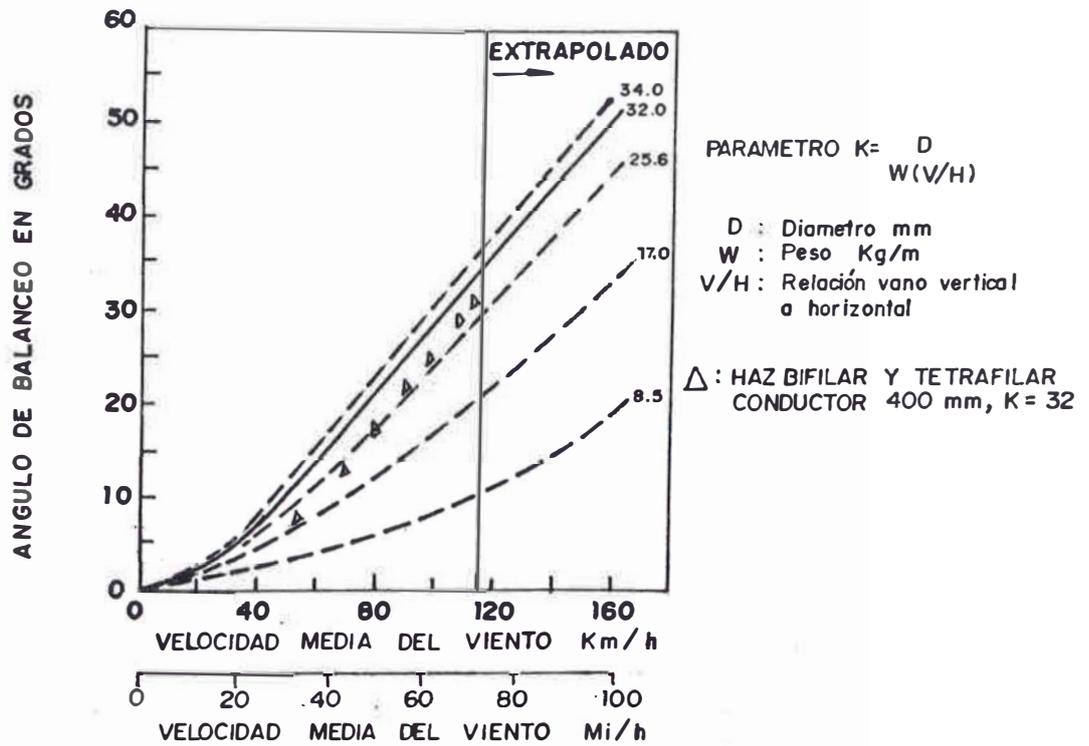


Fig. 29 :- Angulo de balanceo en función de la velocidad media del viento

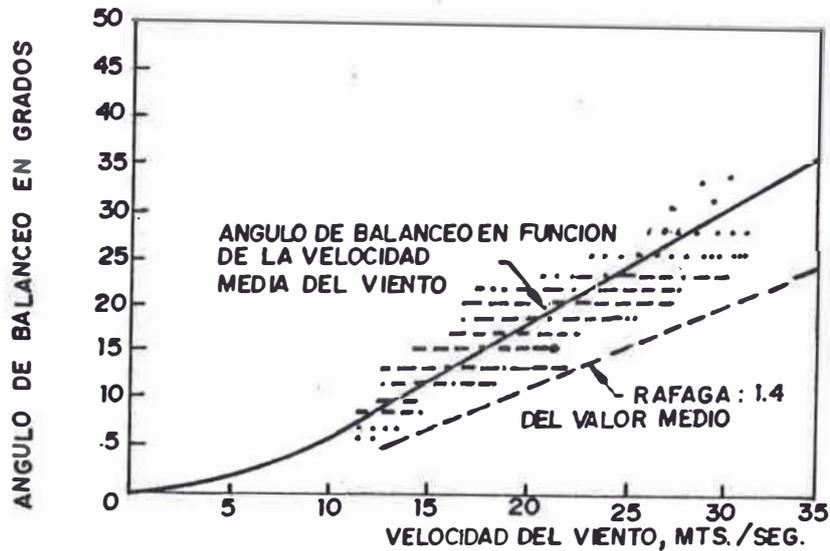


Fig. 30 :- Angulo de balanceo en función de la velocidad instantanea del viento sobre la estructura, mediciones no corregidas

Luego, para cadenas en "V" en la fase exterior:

$$D_m = D'm$$

y para cadenas en "I"

$$D_h = D'm + L \operatorname{sen} \theta \text{ SM}$$

CADENA DE AISLADORES

Es necesario distinguir el cálculo, dependiendo de la zona donde van a ser instalados los aisladores; es decir en zonas no contaminadas y contaminadas.

CALCULO DE LA CADENA DE AISLADORES EN ZONAS NO CONTAMINADAS.

Es práctica común referir el dimensionamiento del aislamiento a las ondas de sobretensión de polaridad negativa.

a) Cálculo de cadenas de suspensión

Conocido el CFD_I , es suficiente recurrir a las curvas o tablas de los fabricantes de aisladores, para determinar el número de los mismos, de modo que se cumpla con los requisitos del aislamiento.

En vista que la resistencia al impulso por maniobra de una cadena de aisladores depende de la geometría del espaciamiento donde va a ser instalada la cadena, las figuras 31 y 32, determinan los valores del CFO en función del número de aisladores, de la geometría de la cadena y de la polaridad de onda asumida.

b) Cálculo de cadenas de anclaje

Normalmente, por razones de mayor dificultad de mantenimiento, se incrementa en una unidad el número de aisladores para cadenas de anclaje en ángulo y en dos unidades para las cadenas de anclaje terminales.

**CALCULO DE LA CADENA DE AISLADORES EN ZONAS
CONTAMINADAS**

Es importante destacar que el deterioro de la capacidad aislante de los aisladores contaminados, es particularmente notorio para tensiones de operación normal.

Para sobretensiones producidas por maniobras, la contaminación constituye un problema importante.

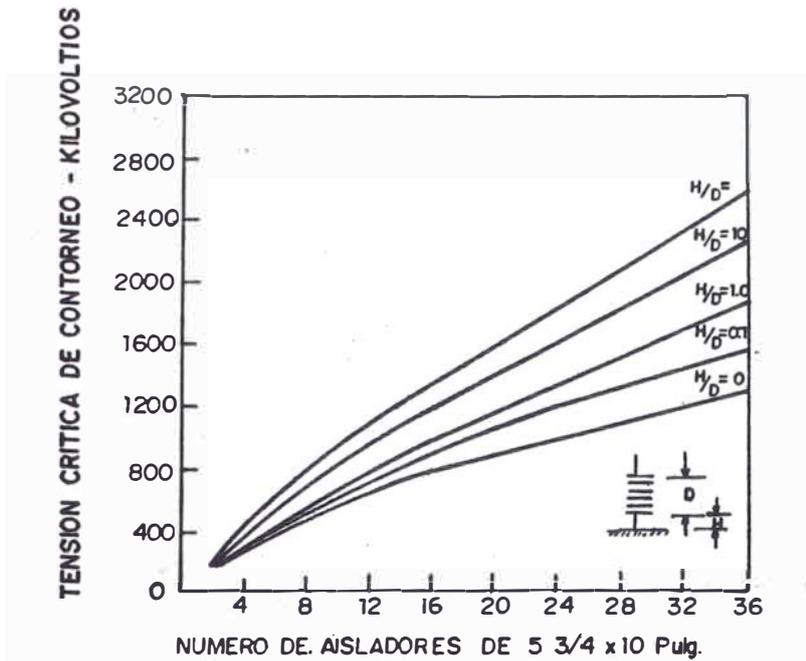


Fig. 31 : Sostenimiento a impulsos de maniobra de polaridad positiva bajo lluvia, de cadenas de aisladores a diferentes alturas del suelo

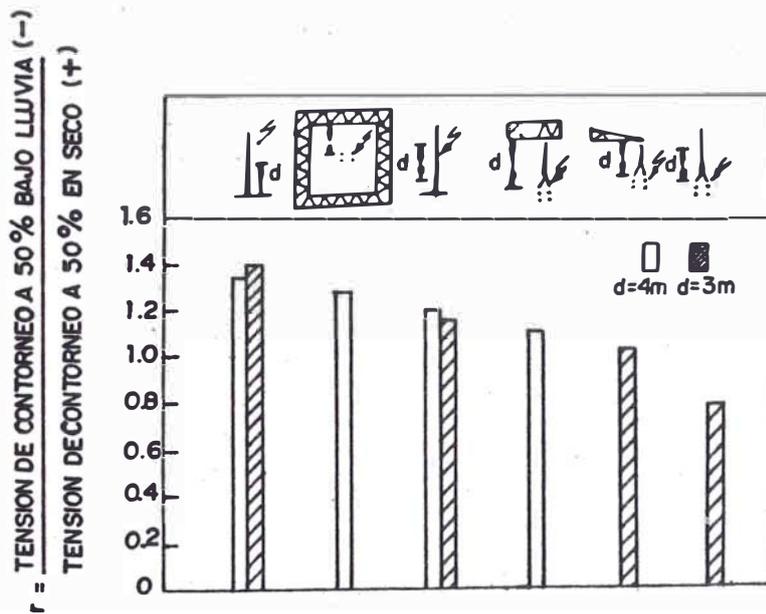


Fig. 32 : Relación de las tensiones de contorneo a 50% bajo lluvia y en seco, para cadenas de aisladores verticales para diferentes configuraciones.

El método convencional para determinar el número de aisladores en zonas contaminadas, se basa en la siguiente relación:

$$N_{SM} = V_S \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times F_{SV} \times F_{SM} \times \frac{1}{V_{SM}} \quad (14)$$

donde:

V_S = Tensión nominal del sistema, KV

F_{SV} = Factor desobretensión permitido en operación normal (entre 1.0 y 1.1, normalmente $F_{SV} = 1.05$)

F_{SM} = Factor de sobretensión de maniobra en pu.

N_{SM} = Número de aisladores requerido por sobretensiones de maniobra.

V_{SM} = Tensión crítica no disruptiva por unidad aisladora bajo contaminación, para sobretensiones de maniobra.

El valor V_{SM} , es obtenido de curvas suministradas por fabricantes de aisladores, donde se muestra la tensión crítica no disruptiva de una unidad aisladora en función de la densidad de sal depositada para sobretensiones de maniobra.

5.2 METODOLOGIAS ACTUALIZADAS

El funcionamiento de la Línea bajo condiciones de sobretensiones transitorias se calcula utilizando técnicas aleatorias. Se obtiene la distribución de las sobretensiones de maniobra, con auxilio de programas computacionales. Asimismo se determina la característica probabilística de sostenimiento de la Línea, tomando en consideración los factores intrínsecos así como las condiciones meteorológicas involucradas.

Definidas ambas características, se puede obtener el número de contornos expresado como probabilidad de falla y se expresa matemáticamente por convolución de las distribuciones fig. 1:

$$P_f = \text{PROB.}[Q > R] = \int_{x=0}^{\infty} \left[\int_{\xi=0}^{\infty} f_Q(\xi) d\xi \right] f_R(x) dx$$

Q = Distribución del Esfuerzo Eléctrico

R = Distribución del Sostenimiento Eléctrico.

El sostenimiento de las brechas de aire para diversas configuraciones de electrodos es fácilmente obtenido en la literatura técnica.

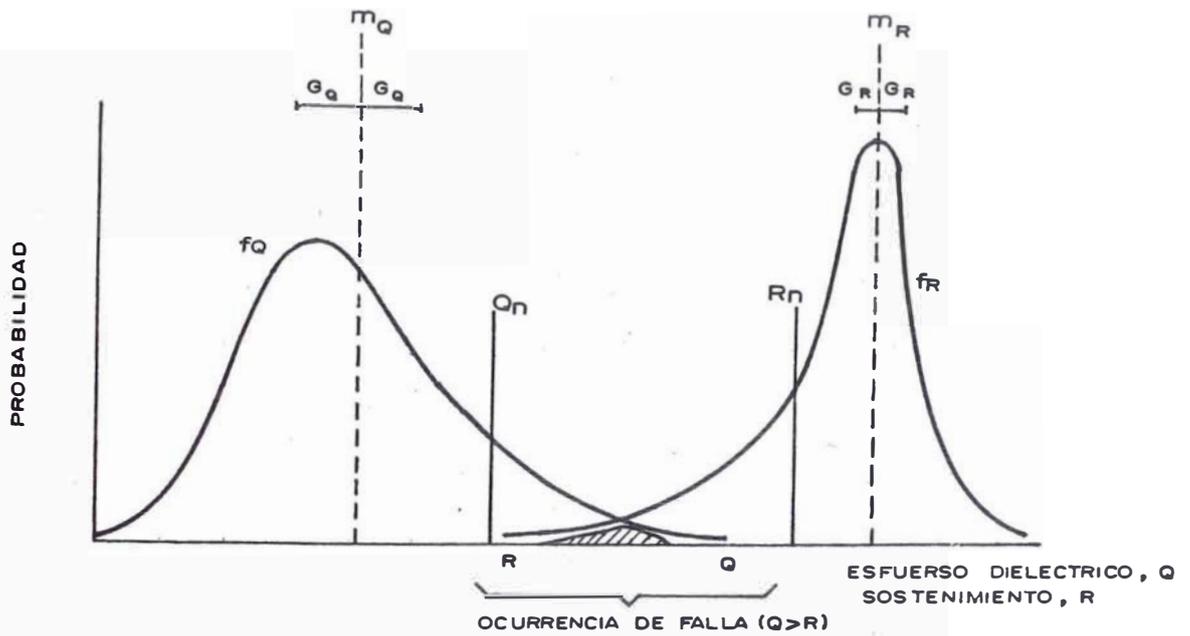


Fig. 33 Distribuciones de Probabilidad para el Esfuerzo (Q) y Sostenimiento (R) Dielectrico.

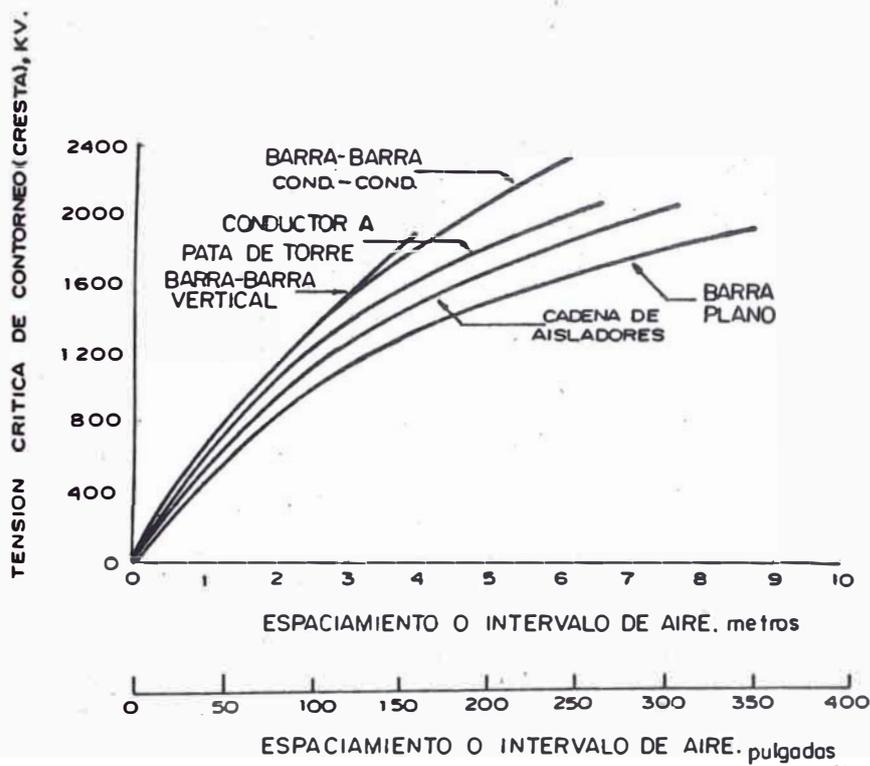


FIG. 34 - Características de Tensión de Sostenimiento en Intervalos de aire con diferentes electrodos. (CARACTERISTICAS DE ALEXANDROV)

nica (Fig. 34), a condiciones estándar.

Estos datos obtenibles, sirven como guía por ser función de las condiciones meteorológicas del medio en que se tiende la Línea. La información meteorológica es en este caso de especial importancia, requiriéndose un análisis - de los registros programados de las estaciones meteorológicas locales.

Podemos definir los cambios que sufre el aislamiento externo de la Línea como el "Sostenimiento relativo del aislamiento" (RIS), el cual será función fundamentalmente de la humedad y la densidad relativa del Aire. El impacto de la Humedad Absoluta (H) y la Densidad Relativa del Aire (RAD), se cuantifica por uso de factores empíricos que sirven de correctores del sostenimiento de las condiciones standar al sostenimiento bajo condiciones actuales.

$$CFO_A = CFO_S \cdot RIS$$

$$RIS = \frac{RAD}{H_0}^n$$

RAD se estima conociendo la altitud y temperatura del lugar de evaluación, del CFO

de los gráficos (24) y (35).

La distribución del RIS de una línea puede ser obtenido a partir de los registros periódicos de la Humedad Absoluta, RAD y los gráficos de las figuras (36), (25) y (35).

La validez de estas correcciones para instalaciones con altitud del orden de los 2000 m. - fué examinada por el CIGRE; la Comparación de los datos para diferentes RAD, confirmó que la variación de la tensión de contorno con RAD es generalmente menor que proporcional y depende de la longitud de la brecha.

La Densidad Relativa del Aire, influye en el valor mínimo de la tensión de contorno y contribuye a determinar el tiempo de cresta crítico del impulso; se han observado diferencias máximas del 4-5% en la tensión mínima de disrupción corregida y del el orden del 10%, si se evalúa la característica de sostenimiento en su totalidad; éstas diferencias pueden explicarse considerando - que la corrección no toma en cuenta la influencia de RAD y H en la forma de la característica de sostenimiento; fig., (37).

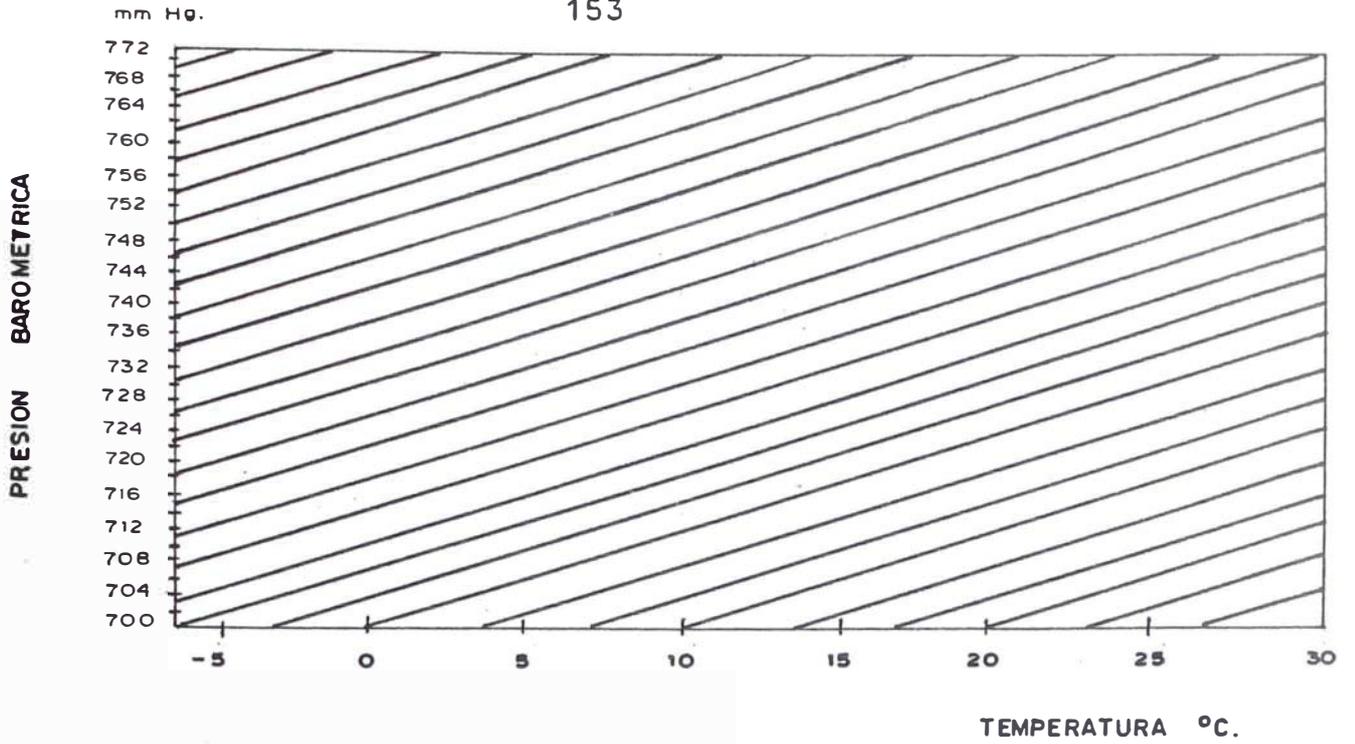


Fig. 35.- Densidad Relativa del Aire (RAD) como funcion de la Presión y Temperatura.

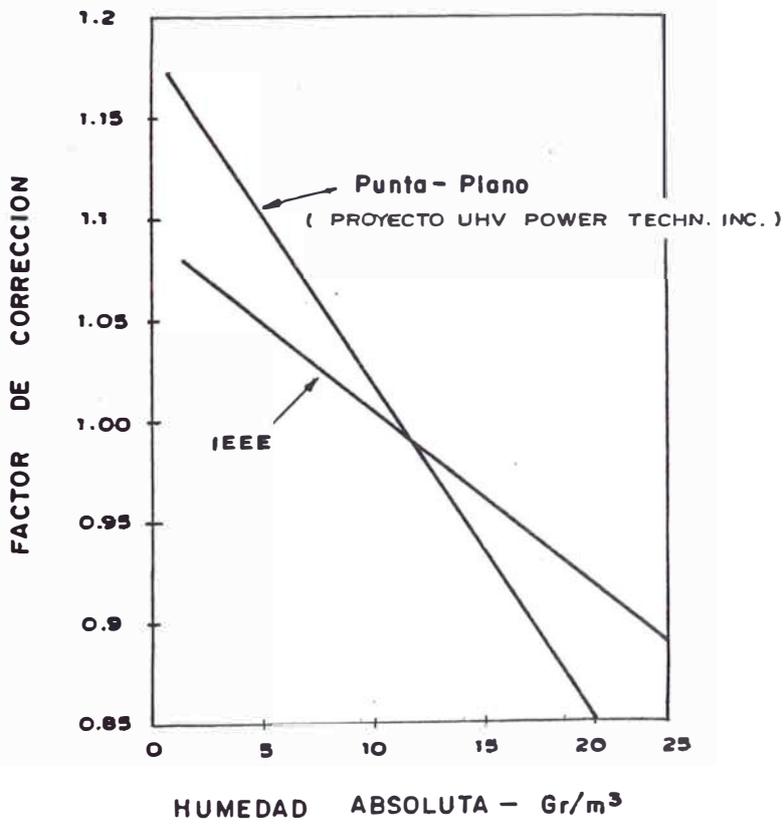


Fig. 36.- Factor de Corrección de Tensión por Humedad.

Hileman, examina estos factores y presenta datos (10) partiendo de estadísticas meteorológicas de 10 estaciones en USA que cubren los registros de RAD y H. En consideración de la naturaleza estadística de los parámetros meteorológicos, se construye histogramas de frecuencias, los cuales muestran muy buena aproximación a una distribución gaussiana y aplicando una regresión lineal se determina formulas que expresan RAD, H y $(RIS)^{1/n}$ como función de la altitud,

El exponente n, se define como:

$$n = 1.0 \quad S \leq 1$$

$$n = 1.12 - 0.12 (S) \quad 1 < S < 6$$

$$n = 0.4 \quad S \leq 6$$

Donde S es la longitud de la brecha en m.

El factor de corrección por Humedad se expresa com:

$$H_0 = 1 - 0.00818 (H - 11)$$

Sabemos que la distribución de la tensión de sostenimiento posee un valor medio, denominado CFD y una desviación estandar σ f. Asi mismo al tratar RAD y H_0 como distribuciones gaussianas, es

tas presentaran un valor medio y una desviación estandar típica; el RIS definido como el cociente ambos, deberá igualmente poder ser descrito por una distribución gaussiana, con un valor medio y desviación estandar típica. Para esto, definimos:

$$Y = \text{RIS} = \left(\frac{\text{RAD}}{H} \right)^n$$

$$X = \frac{\text{RAD}}{H_0}$$

$$Y = X^n = 1 - (1 - X)^n$$

$$Y = (1 - n) + nX$$

Usando la última aproximación podemos afirmar que la distribución de RIS será gaussiana, con μ_{RIS} como valor medio y una desviación estandar σ_{RIS} , expresadas como:

$$\mu_{\text{RIS}} = (1 - n) + n \mu_x (\mu_x)^n$$

$$\sigma_{\text{RIS}} = n \sigma_x$$

Y como: $V_A = \text{RIS} \times V_S$

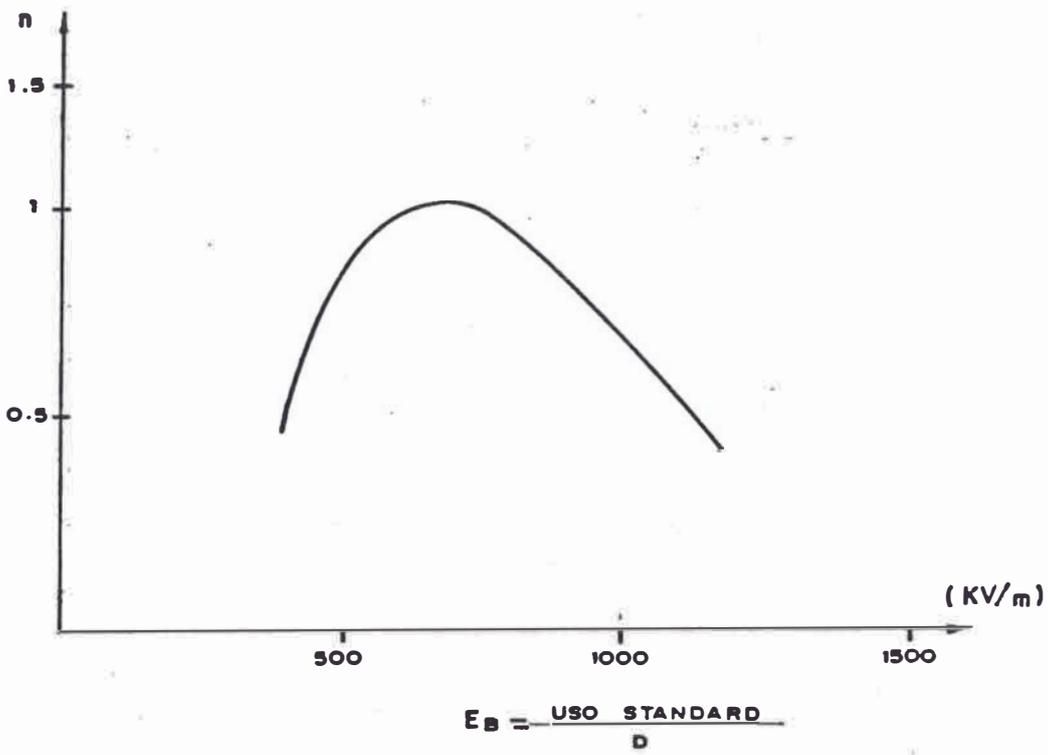
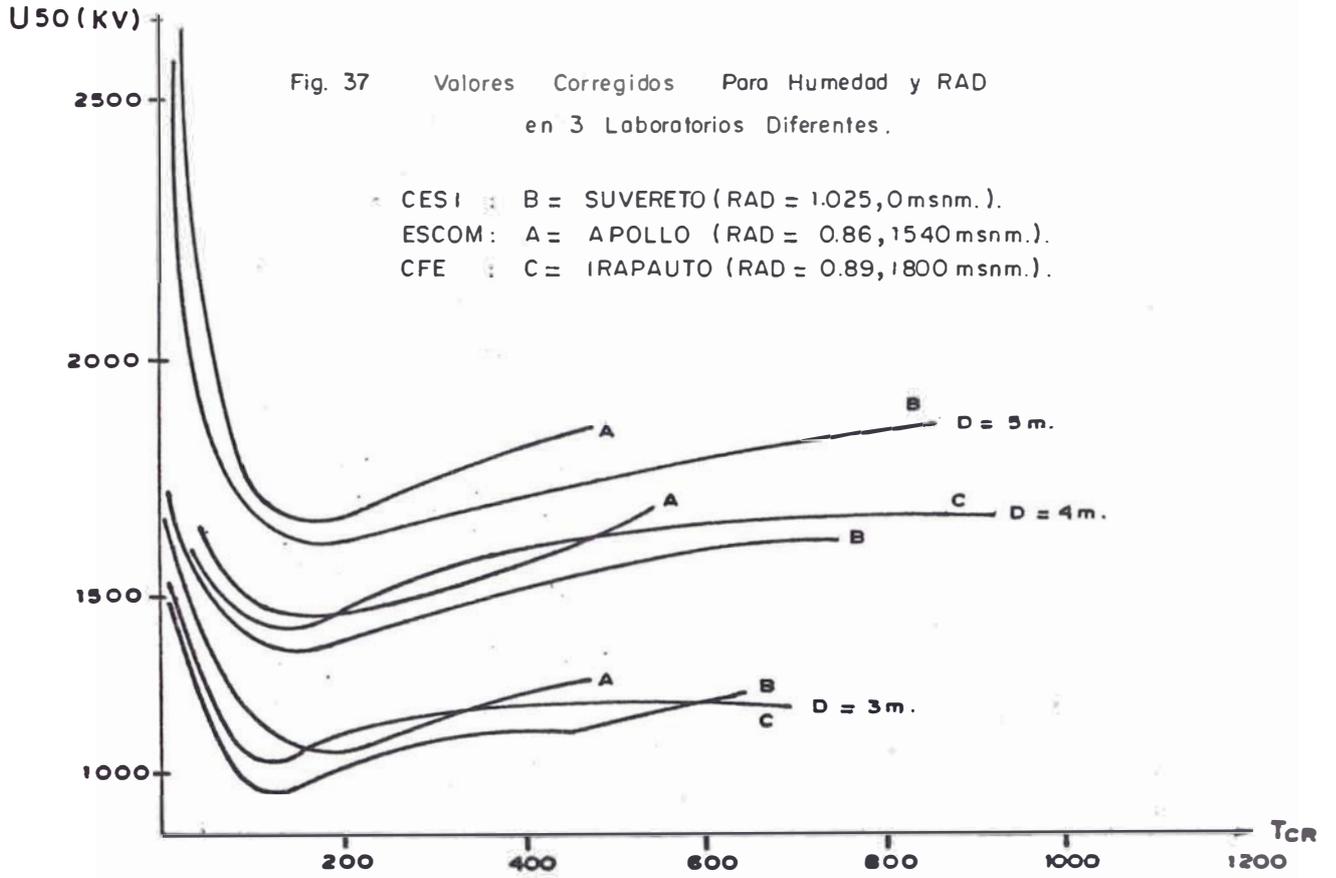


Fig. 38.- Valores experimentales de n de la ecuación de RIS en función de E_B

(CIGRE 33.82. WGO3 - A. PIGINI)

$$\mu_A = \text{CFO}_A = \mu_{\text{RIS}} \mu_S = \mu_{\text{RIS}} \text{CFO}_S$$

$$\Rightarrow \text{CFO}_A = \mu_{\text{RIS}} \text{CFO}_S$$

Y

$$\frac{\sigma_A}{U_A} \approx \left[\left(\frac{\sigma_f}{\text{CFO}_S} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\text{RIS}}}{U_{\text{RIS}}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

El último término es el coeficiente de variación del sostenimiento considerando RIS, el cual se ubica entre 4.8 y 5.2 % para cotas de 0 a 3000 m., y distancias usuales en líneas a 500 KV.

En un intento de relacionar el exponente n de la expresión de RIS, con el tipo de proceso desarrollado con la descarga, la CIGRE realiza estudios que expresarían como resultado, la variación de "n" como función del gradiente E_B en la brecha, fig. (38).

Por su parte el CRIEPI, (Central Research Institute Of Electric Power Industry-Japan), investigó las características de la humedad para tensiones de contorno con impulsos de manobra en configuraciones punta - plano en brechas

de 10 m. Los resultados de estos ensayos llevaron a concluir que cuando el frente de Onda del impulso está por debajo de un tiempo T crítico, la tensión de contorno corregida se reduce en proporción al incremento de la humedad absoluta, fig. (39). Este fenómeno difiere de los ensayos concernientes a las características de humedad y conducen a proponer una corrección secundaria por humedad a usarse en el diseño del aislamiento para UHV.

Los resultados finales pueden resumirse en:

- (1) La razón tiempo de contorno a tiempo de cresta se reduce cuando la humedad absoluta se incrementa. Fig. (40).
- (2) El contorno ocurre en el frente de onda para tensiones con T_{CR} mayores de 490 s.
- (3) El contorno con tensiones de T_{CR} menores, se presenta en la cola de la onda cuando la humedad es baja.

De estos resultados está claro que la humedad absoluta afecta las características del fenómeno de contorno a tensiones impulsionales

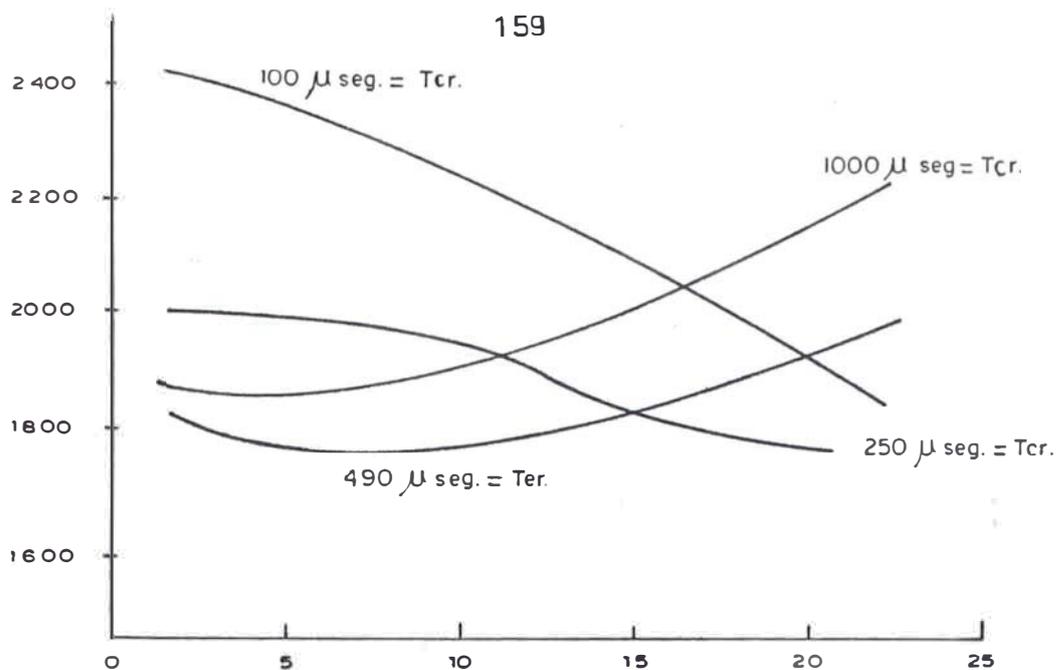


Fig.39 - Tensión de Contorneo impulsional de polaridad positiva versus la humedad absoluta para brechas de 10 m. (PUNTA-PLANO) Sin corregir. (CRIEPI - JAPON)

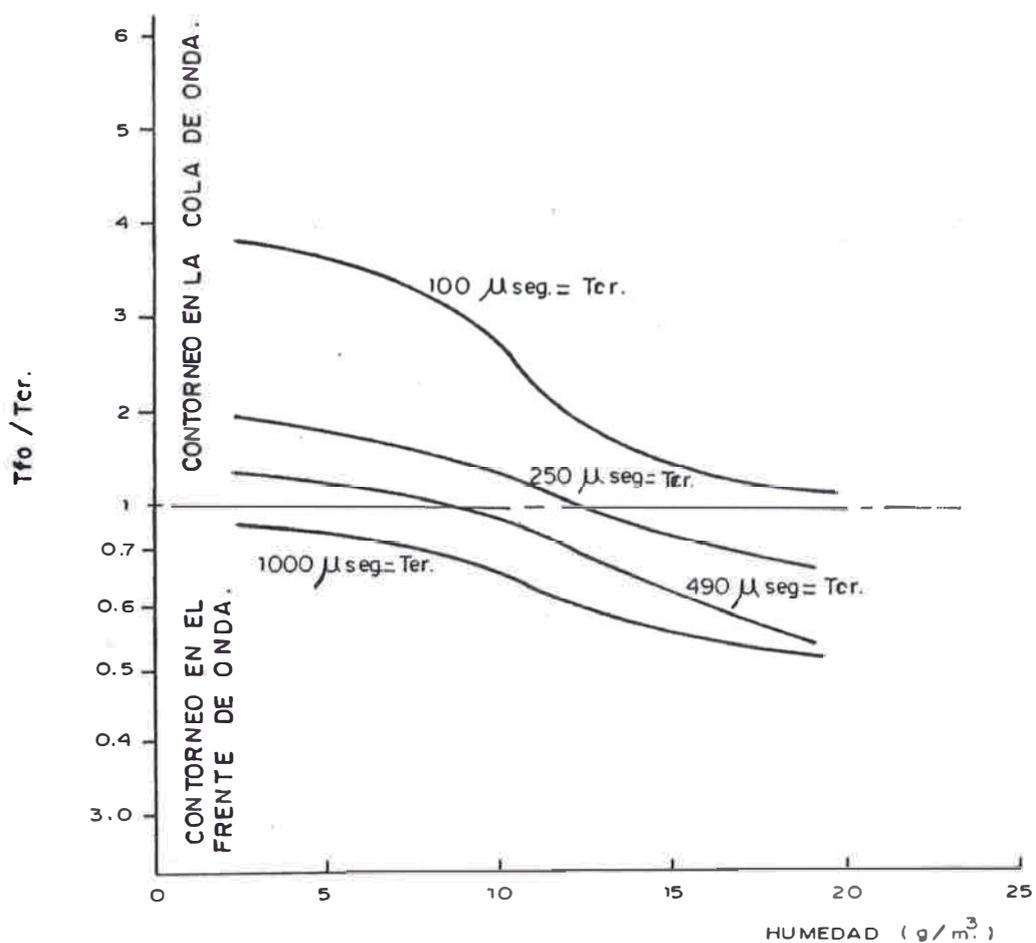


Fig.40 - Relacion entre la humedad absoluta y el tiempo de Contorneo. (CRIEPI - JAPON)

en brechas de 10 m. Consecuentemente es de esperar que las características Tensión - Tiempo ($V - T$) de las grandes brechas de aire, para Sobretensiones de maniobra, con corto T_{CR} , puedan ser fácilmente influenciada por el tiempo - de valor medio en la cola T_t de la Tensión.

Basado en las cuatro curvas mostradas en la Fig. (41), que expresan la relación entre el frente de onda y la tensión de contorno, podemos construir la fig. (42), que muestra - los resultados con la Humedad Absoluta como parámetro. El tiempo de cresta es representado - como $RAD \times T_{CR} = T'_{CR}$ a fin de eliminar el efecto de RAD. Esto es debido a que el T'_{CR} de la tensión aplicada bajo $RAD \neq 1$ y $RAD \times T_{CR}$ bajo $RAD = 1$, deben dar un fenómeno de contorno equivalente a igual tensión.

El tiempo de cresta crítico en cada curva U, se encuentra entre el rango aproximadamente 600 a 150 μ segundo y se acorta tanto como se incrementa la Humedad Absoluta de 2 a 23 gr/m^3 . Debemos observar que todas las curvas - muestran un detalle muy interesante; esto es, la tensión de contorno crítica son aproximadamente la misma ($V_{crit. 1830 KV.}$). En adición, pue

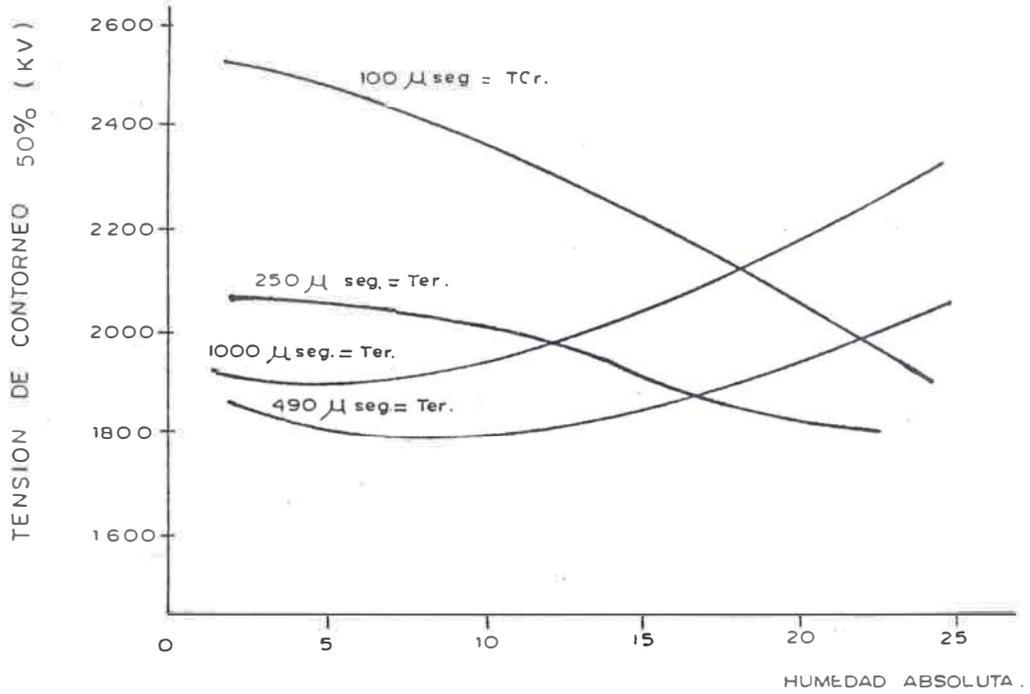


FIG. 41 - Relacion entre la tensión de contorneo corregida a condiciones standor de Humedad Absoluta y RAD. (CRIEPI - JAPON)

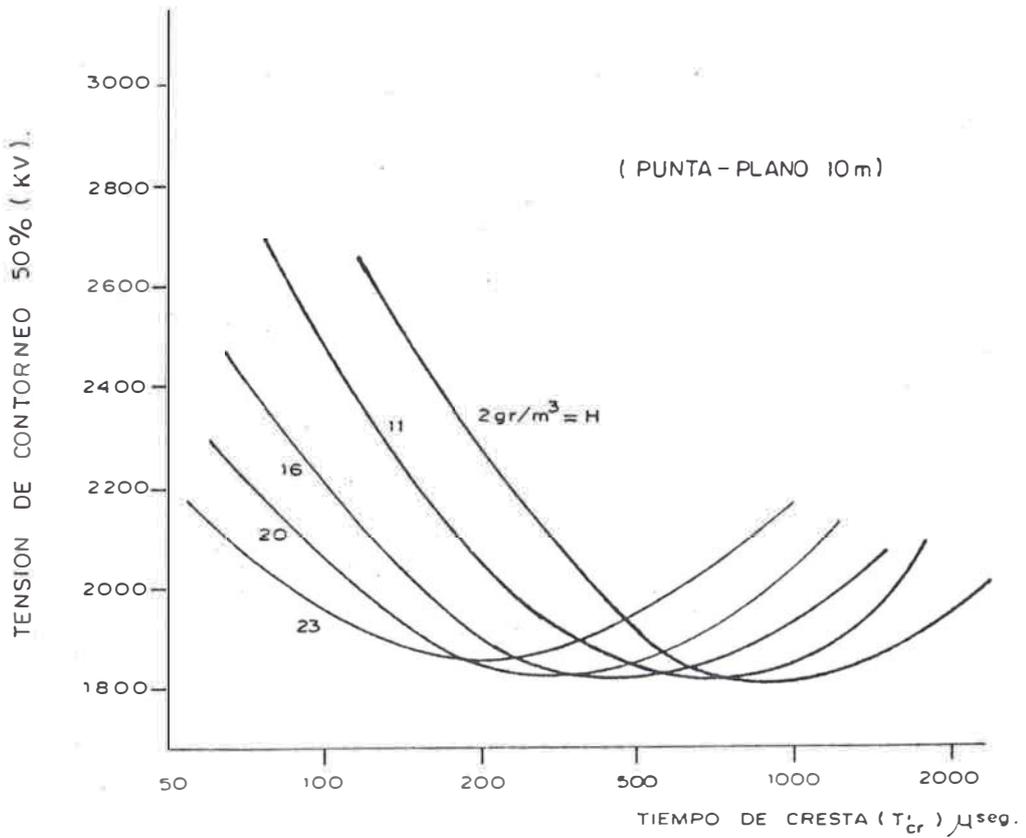


FIG. 42 - Reloción entre lo tensión de Contorneo bajo condiciones standor y ondas impulsionales poro diferentes niveles de humedad. (CRIEPI - JAPON).

de observarse que las curvas U, presentan una relación aproximadamente constante en relación al eje de tiempo. Esto nos lleva a pensar que las curvas pueden ser caracterizadas por una curva a partir de la cual podría obtenerse las otras, por aplicación de un factor correctivo. Si definimos F, como la relación del tiempo de cresta crítico, bajo condiciones standar de humedad de 11 gr/m³ al tiempo de creta crítico, - bajo la Humedad Absoluta H, obtendremos el factor de corrección por forma de onda.

La tensión de contorno correspondiente a una humedad Absoluta H y T'_{cr} , será equivalente a la tensión de contorno a $H = 11 \text{ /m}^3$ y FT'_{cr} .

La fig. (43) muestra el factor de corrección de forma de onda, el cual aproxima por la siguiente, formula:

$$F_{10} = 0.07 \text{ esp } \left(\frac{H}{6.8} \right) + 0.65$$

En aplicación de este factor podemos finalmente mostrar la fig. (44), que confirma una adecuada corrección.

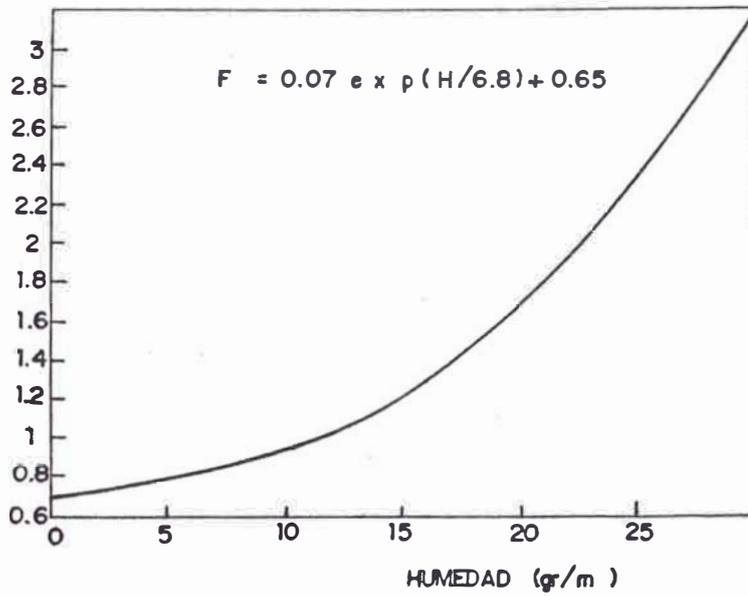


Fig. 43 : Factor de corrección de frente de onda para brechas de 10m (CRIEPI - JAPON)

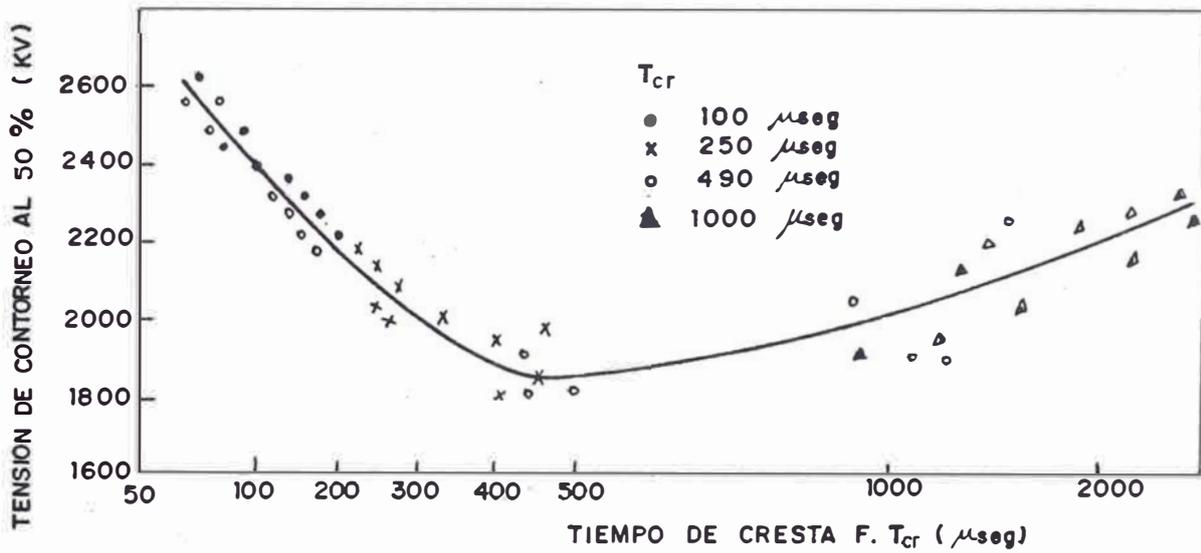


Fig. 44 : Curva de tensión corregida (PUNTA - PLANO 10m) (CRIEPI - JAPON)

5.3 Aplicación Al Diseño Del Aislamiento De Una Línea De Transmisión En Alta Cota

La filosofía esencial del diseño para una línea de transmisión en Alta Cota, es seleccionar primero los requerimientos de aislamiento, controlando las sobretensiones de maniobra hasta el grado en que los requerimientos de aislamiento por ellas seán de igual orden a los considerados por sobretensiones de origen externo o ha frecuencia industrial. Los requerimientos por sobretensiones atmosféricas se seleccionan por comparación de los diseños de las Líneas existentes de aceptable funcionamiento y considerando que la nueva Línea poseerá las mismas condiciones de aterramientos.

La contaminación involucrada en zonas de Alta Cota puede considerarse como muy leve o nula, por lo que, igualmente se puede evaluar los requerimientos en base al funcionamiento de líneas existentes.

Las brechas de aire y número de aisladores por sobretensiones de maniobra, se determina en función del criterio de diseño que expresa una razón de contorno por sobretensiones de ma-

niobra.

- Críterio de Diseño

Los criterios de Diseño se muestran en la tabla (13).

T A B L A 13

CRITERIO DE DISEÑO DE AISLAMIENTO

<u>Contami</u> <u>nación</u>	<u>Frecuencia</u> <u>Industrial</u> <u>(Años)</u>	<u>Sobretensio</u> <u>nes Internas</u> <u>(CFO)</u>	<u>Sobretensio</u> <u>nes Externas</u> <u>(#/100 Km/Año)</u>
Nula	5.50	0.01-001	0.1 - 1.0

El críterio por contaminación deberá - reflejar la duración de la condición que ocasiona la salida de servicios. Esto se expresa en horas o periodos durante el cual la línea inoperable. De lo anterior se deben tomar como críterio por contaminación, ningún contorno.

Con cadenas de aisladores en "I" y condiciones extremas de viento, que causen máximos - ángulos de inclinación de la cadena, las brechas de aire aislantes, pueden ser reducidas debajo del nivel de sostenimiento. Está condición es

normalmente expresada en términos de el intervalo medio de contorneo por esta causa y se toma como criterio de diseño para exigencias por es fuerzo a frecuencia industrial.

Como el fenómeno climatológico que ocasiona el viento máximo puede desarrollarse en la vecindad de la Línea por un período largo, - durante el cual sería imposible reenergizarla, se deberá tomar un criterio razonable para contorneos a frecuencia industrial el cual se ubica entre los 5 y 50 años.

La probabilidad de contorneo de la Línea por operación de maniobra se expresa como PFQ. Convertir PFQ al total de contorneos por año, requiere determinar el número de operaciones en el período. Por ejemplo, si se asume una PFO de 0.01; cuando se realicen 100 operaciones de maniobra en el año, se deberá esperar un contorneo. Asumiendo que no existe una alta velocidad en el recierre o reenergización de Línea, la probabilidad de un segundo contorneo es de 0.0001.

Para reducirla PFO a 0.0001, se deberá, tal vez, realizar un pequeño incremento en el

tamaño de la torre, lo cual naturalmente, resultará en un costo adicional. En general se deberá lograr un compromiso entre la PFO y el costo; en otras palabras, reducir la PFO mientras esto tenga justificación tanto técnica como económica.

Hasta hace unas décadas, la mayoría de las líneas se diseñan con un funcionamiento bajo sobretensiones externas del nivel de 6-10 salidas por kilómetro por año, para áreas cuyos niveles iroceraunicas eran del orden de 50 a menores. Con el advenimiento del incremento del aislamiento para líneas de mayor nivel de Tensión (345, 500 y 765 KV.), resistencias de tierra cada vez menores (15Ω o menos) y una técnica de protección más elaborada y es posible en la actualidad, esperar funcionamiento de líneas con índices de 0.3 salidad Km. por año o menores.

- Determinación de las Sobretensiones de Maniobra

En el estado de la técnica actual, la distribución de las sobretensiones puede ser estimada rápidamente, con el auxilio de programas computacionales generales, adaptados a cada sis

tema en particular. Este análisis se llevará a cabo, considerando operaciones en diversos puntos del sistema, tiempos de cierre de los interruptores la presencia de resistores de preinserción, el tiempo de inserción de los mismos y la ubicación de los pararrayos. Resultados típicos se muestran en la tabla (14), E_2 es la sobretensión y σ/E_2 es la relación entre E_2 y su desviación standar.

- Sostenimiento del Aislamiento a los Impulsos de Maniobra y Velocidad del Viento

Las ecuaciones asumidas para el sostenimiento a impulsos de maniobra, deberán basarse en resultados, de un análisis estadísticos de los parámetros involucrados en instalaciones a Alta Cota, obteniendose con ellos alguna ley que los relacione con la altitud. Como pautas para este fin podemos mencionar.:

1. El sostenimiento estadístico, será caracterizado por una distribución acumulativo gaussiana, determinando un valor medio y un coeficiente de variación no mayor del 5%. El CFO expresado en KV, vendrá expresado entonces por:

T A B L A 14

RESULTADOS DE UN ESTUDIO DE SOBRETENSIONES DE
LINEAS, CON ALTITUD PROMEDIO DE
1250m Y 2870m.

ALTITUD DE LA LINEA (m)	PARA- RRAYOS	RESIS TORES	P.V. P.V.	σ/E_2 σ/E_2	PUNTO DE MAYOR TENSION
1250 - 1830	NO	NO	3.48	0.13	Final
	NO	SI	2.13	0.09	Final
	SI	NO	2.15	0.07	$\frac{1}{2}$
	SI	SI	1.82	0.05	$\frac{3}{4}$
2570 - 3070	NO	NO	3.44	0.17	Final
	NO	SI	2.28	0.17	Final
	SI	NO	2.16	0.05	$\frac{1}{2}$
	SI	SI	1.78	0.05	Inicio

$$CFO = \left(\frac{S}{H_0} \right)^n \frac{3450}{1 + 8/5}$$

La expresión de $\frac{S}{H_0}$ deberá obtenerse para cada caso en particular; a manera de ejemplo mostramos la expresión dada en la referencia (10).:

$$\frac{S}{H_0} = 1.025 - 0.134 (A)$$

A es la altitud en Km.

$$n = 1.12 - 0.12 (S)$$

S es la menor distancia de:

- i) Conductor a la parte lateral más próxima de la torre.
- ii) Conductor a algún elemento de sujeción de la torre.
- iii) La longitud de la cadena entre 1.05.

2. Para cadenas en I, el efecto del viento en el decremento de la distancia se considera

conservadoramente, asumiendo que la dirección del viento es normal al conductor de fase y que la velocidad del viento es simultáneamente aplicada a la Línea entera.

El ángulo del aislador (α_s), se apróxima por la ecuación:

$$\alpha_s = \text{Tang}^{-1} (K v^{1.6})$$

$$K = 1.138 \times 10^{-4} \frac{D/W}{V/H}$$

Donde "v" es la velocidad del viento en Km/h, D es el diámetro del conductor en cm., y W es el peso del conductor en Kg/m. V y H son los componentes verticales y horizontales de la longitud de la cadena de aisladores respectivamente.

- Cálculo de la Razón de Contorneo por Sobre tensiones de Maniobra (SSFOR).

Para calcular la SSFOR de la Línea, - se dividirá ésta en secciones de Cota constante como se ilustra en la fig. (45).

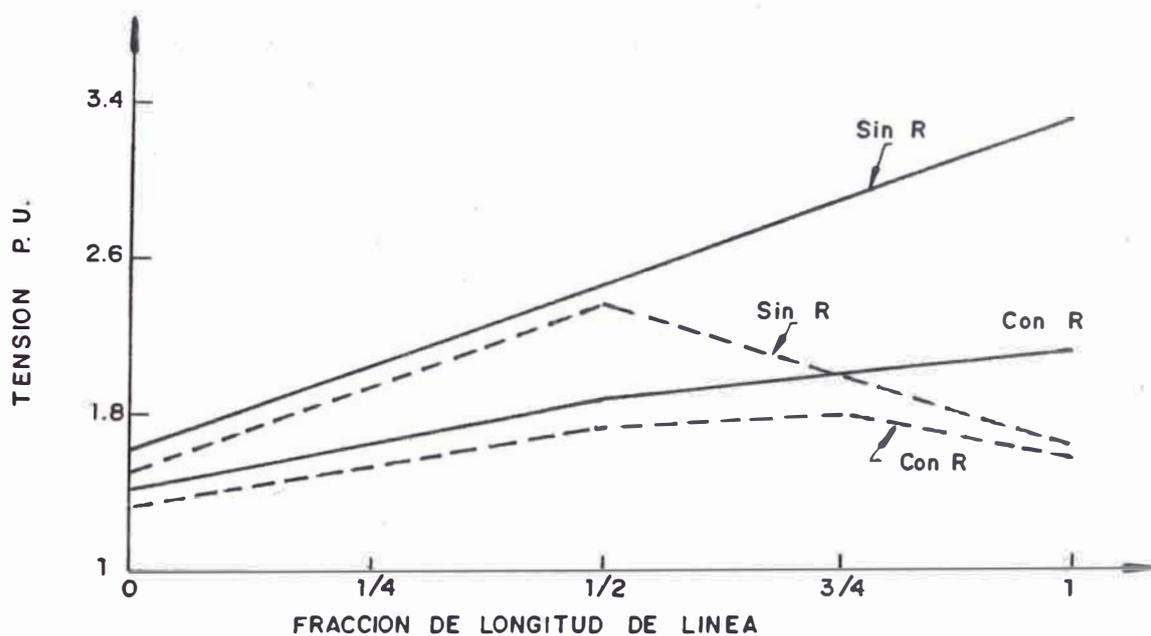


Fig. 45 - Sobretensiones típicas en líneas de transmisión

R (Resistores de Preinserción)
 ----- con pararrayos
 _____ sin pararrayos
 (PAS - IEEE - December 1984)

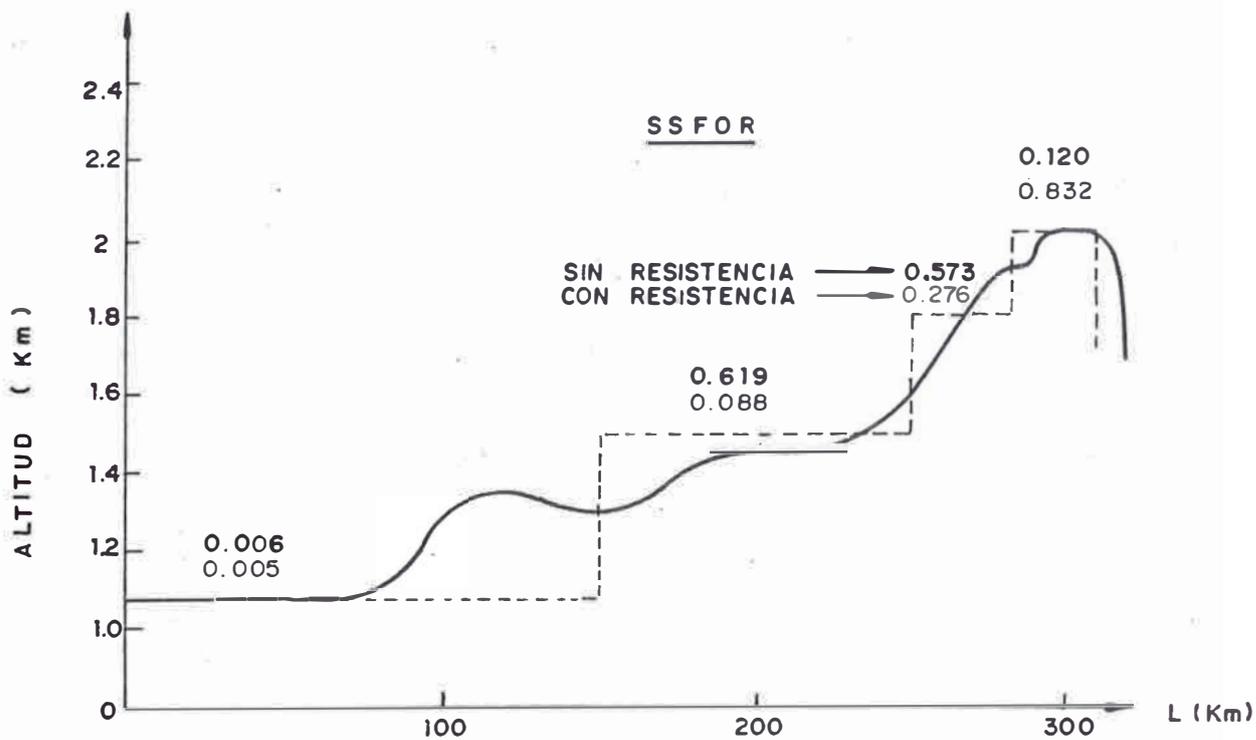


Fig. 46 - Sectorización de una línea, en etapas de sección constante

El CFO y la resultante para cada sección diferiría una de otra, y como es de esperarse, el mayor SSFOR se ubica en la zona de mayor Cota a igualdad de aislamiento; sin embargo, la Línea en conjunto poseerá un SSFOR de 1.0 en su totalidad. En caso de líneas cuya mitad coincida con la zona de mayor altitud, se recomienda considerar resitores de pre-energización en los interruptores, a fin de reducir el efecto concurrente de elevadas sobretensiones fig. (46) y predomine el efecto de Alta Cota.

- Determinación de los Espaciamientos

El SSFOR Calculado puede Graficarse en Función de los Espaciamientos, fig.(47-48).

a) Línea V - V - V

Para este tipo de Línea, las cadenas en V de cada fase se asumen que tienen igual espaciamiento. Las fases laterales tienen mayor soporte dieléctrico que la fase central, lo cual se refleja en el mayor valor de K usado para las fases laterales (1.24 contra 1.15 para la fase central).

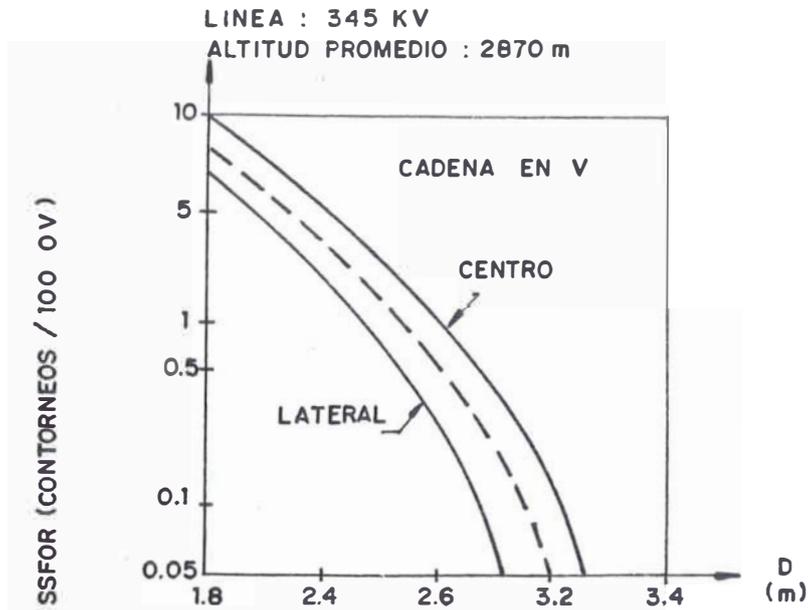


Fig. 47 : Distancias para cadenas en V, con resistores, sin pararrayos

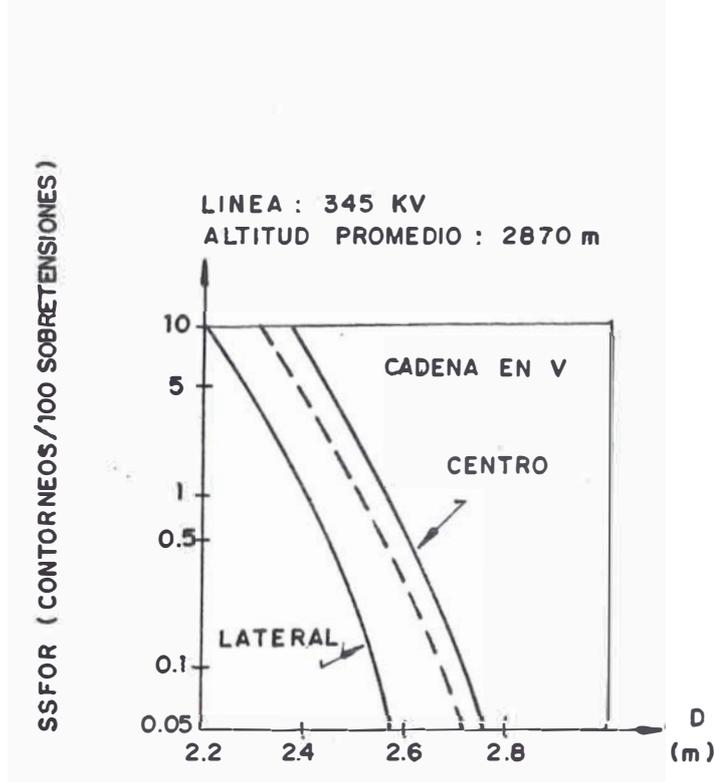


Fig. 48 : Distancias para cadenas en V, sin resistores, con pararrayos

b) Línea I- V - I

Esta metodología es algo más elaborada. Para una dirección de viento normal a la Línea, una cadena se balancea hacia la torre y la otra apartándose de ella. El SSFOR de la Línea será el promedio de estos dos SSFOR y el correspondiente a la fase central en V, fig (49-50).

La selección de los distanciamientos para el diseño IVI, debe resultar en distancias de las fases en I y fase en V, de tal forma que el promedio de la fase central y de las fases laterales (SSFOR) iguale el criterio de diseño, considerando que se debe tener como mínima longitud de la cadena de aisladores, la distancia en V, será 2.82 el menor aislamiento.

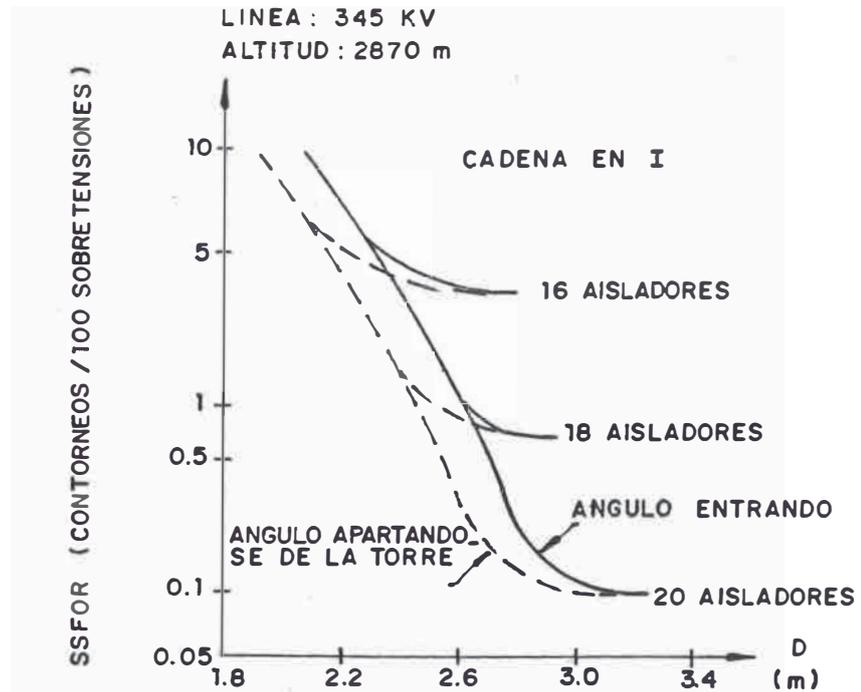


Fig. 49 : Distancias para cadenas en I, con resistores, sin pararrayos

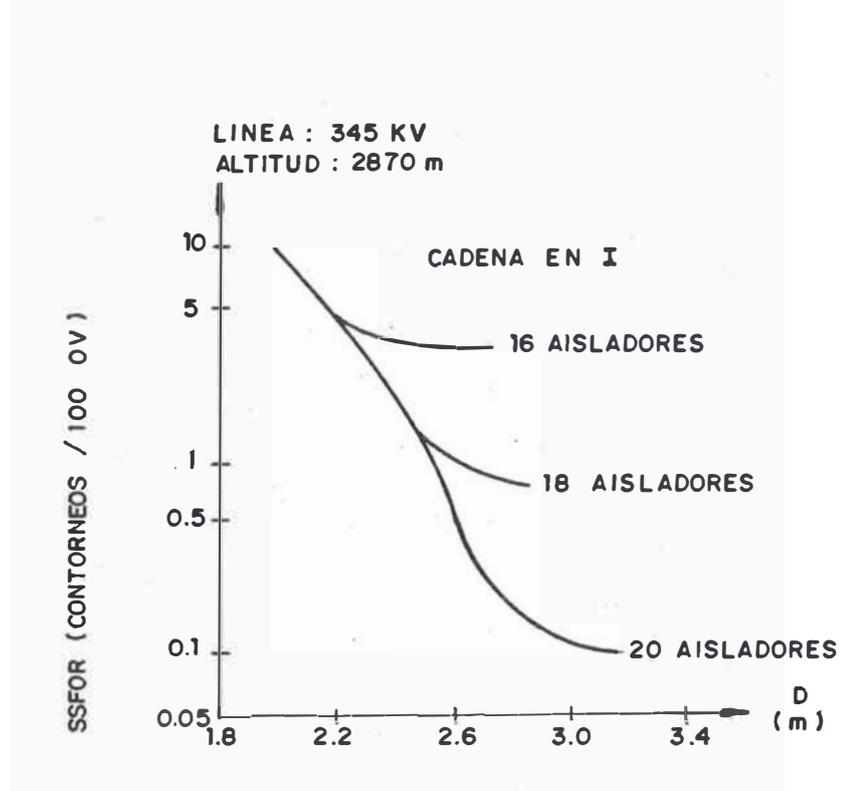


Fig. 50 : Distancias para cadenas en I, sin resistores, sin pararrayos

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que resultan de los lineamientos expuestos sobre la tecnología de corrección por Altitud son las siguientes:

1. Se requiere de la realización de investigaciones-aplicadas como medio evaluativo de los factores correctivos a aplicar en las instalaciones en Alta Cota.
2. Los factores de corrección por Altitud deberán ser determinado a partir de la evaluación de los parámetros meteorológicos involucrados en zona de tendido de la Línea, no debiendo optar por extrapolaciones de factores obtenidos en Altitudes Inferiores.

3. Los requerimientos de aislamiento externo de los Sistemas en Extra Alta Tensión pueden ser reducidos con el empleo de pararrayos en las líneas de entrada a las subestaciones, así como, con el uso de resistores de preinserción en los interruptores que en forma conjunta actúan como agentes reductores de las sobretensiones Internas.
4. El uso de un mayor número de unidades en las cadenas de aisladores en áreas de Alta Cota deberá ser evaluado considerando:
 - i) El incremento del nivel irocerámico con la Altitud.
 - ii) La reducción del Sostenimiento Dieléctrico de las brechas aislantes con la Altitud.
 - iii) El aumento de la resistividad en los terrenos montañosos.
5. En el aspecto económico, la reducción de costos de una Línea en niveles de 500 KV se estima actualmente del orden de 22.7% por reducción de 1.2mt en las distancias aislantes. La correcta asignación de los intervalos de aire aislante reducen directamente el costo de las torres y sus fundaciones.

BIBLIOGRAFIA

1. GASES AISLANTES
T.W. Dakin
Editorial Reverte

2. EFFECT OF CORONA ON SURGES ON POLYPHASE TRANSMISSION
LINES
R.S. Harrington y H. Afghahi
IEEE - PAS - 102 - 1983

3. MICRO - GAP DISCHARGE PHENOMENA AND TELEVISION IN-
TERFERENCE
K. Arai, N. Miguchi
IEEE - PAS - 104 - 1985

4. IMPLEMENTACION OF COMPUTER MODEL TO INCLUDE THE -
EFFECTS OF CORONA IN TRANSIENT OVERVOLTAGE CALCULA-
TIONS
R.S. Harrington y M. Afghahi
IEEE - PAS - 102 - 1983

5. FISICA DE LOS MATERIALES DIELECTRICOS
B.M. Tareiv
Editorial Mir-Moscu

6. INFLUENCE OF HUMIDITY ON VARIATION OF ION MOBILITY
WITH LIFE TIME IN ATMOSPHERIC AIR
Nobuhiro Fuhioka, A. Sugimura y K. Arai
IEEE - PAS - 102 - 1983

7. THE INFLUENCE OF HUMIDITY ON DC. AND AC. BREAKDOWN
VOLTAGE OF AIR GAPS
A. Fischer
Working Group 03 - Group No. 33
Study Committee No. 33 - CIGRE

8. APUNTES DEL CURSO DE ALTA TENSION I.
Ing. Justo Yanque M.
UNI - 84

9. LOS PROBLEMAS DE ALTITUD EN ALTAS TENSIONES Y EL
DESARROLLO ELECTROENERGETICO PERUANO
Ing. Justo Yanque M.
INIE
CONIMERA 1981

10. WEATHER AND ITS EFFECT ON AIR INSULATION SPECIFICATION
A.R. Hileman - 884
IEEE - PAS - 1984

11. PHASE - PHASE SWITCHING SURGE FLASHOVERS : WEATHER
CORRECTION FACTORS
I.S. Grant - A.S. Paulson - M.A. Presser
IEEE - PAS - April 1984

12. TRANSMISSION LINE INSULATION DESIGN AT HIGH ALTITUDE
T.H. Frick - J.R. Stewart - A.R. Hileman
C.R. Chowaniec
IEEE - PAS - December 1984.
13. ASPECTOS DEL DISEÑO DE LINEAS ELECTRICAS DE ALTA TENSION EN ALTURA
Ing. Roger Albornoz Gutarra
INIER - 1978
14. ANALYSIS OF NEW PHENOMENON REGARDING EFFECTS OF HUMIDITY ON FLASHOVER CHARACTERISTICS FOR LONG AIR GAPS
Y. Aihara - Y. Watanabe - I. Kishizima
IEEE - PAS - December 1983
15. THE INFLUENCE OF HUMIDITY ON DC. AND AC. BREAKDOWN VOLTAGE OF AIR GAPS
A. Fischer
ELECTRA
16. ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA ON THE ELECTRIC STRENGTH OF LONG AIR GAPS
G.N. Aleksandrov - G.V. Podporukyn
IEE - PAS - 98 - March 1979
17. HIGH ALTITUDE CONSIDERATION FOR ELECTRICAL POWER SYSTEMS AND COMPONENTS
John P. Nelson
IEEE - IND. Application - April 1984.

18. PLAN MAESTRO DE ELECTRICIDAD
1984
ELECTROPERU

19. APUNTES DEL CURSO DE ELECTRIFICACION RURAL
Ing. Guillermo Vilela
UNI - 85

20. ANALISIS PRELIMINAR DE UNA NUEVA TENSION DE -
TRANSMISION A EXTRA ALTA TENSION PARA EL PAIS
Ing. Fernando Chacón
INIE

21. POTENCIAL HIDROELECTRICO DE LOS RIOS MARAÑON,
HUALLAGA Y ALTO UCAYALI.
Ing. Raúl La Torre Tuesta
Conimera 1975