

INTERFERENCIA DE LOS SISTEMAS DE POTENCIA
A LA COMUNICACION TELEFONICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN LA
ESPECIALIZACION DE ELECTROTECNIA DE LA ESCUELA POLITECNICA
NACIONAL

WILSON MARCAYATA DIAZ


Quito, Enero de 1.974

T E S I S D E G R A D O

A MIS PADRES

CERTIFICO QUE LA PRESENTE TESIS
FUE REALIZADA POR EL SEÑOR -

WILSON MARCAYATA DIAZ



ING. RAUL RECALDE C.,

DIRECTOR DE TESIS

P R O L O G O

El presente trabajo contempla un estudio de las perturbaciones ocasionadas por los Sistemas de Potencia a la comunicación telefónica. Mediante la evaluación de las tensiones inducidas se puede prever cualquier peligro que puede ocasionarse tanto en el equipo como en el personal que tiene contacto con dichas instalaciones.

Observando la interrelación que existe entre los dos sistemas se puede pensar que entre la Empresa Eléctrica y la Empresa de Teléfonos debe existir una verdadera coordinación tanto en la administración y programación como en la ejecución de proyectos afines.

Mediante este análisis que desde luego, toma en cuenta únicamente criterios generales, sin embargo, se mencionan algunas normas, las cuales deben tomarse en cuenta para su reglamento de instalación entre los dos sistemas.

Un agradecimiento muy especial para las personas que colaboraron de una u otra forma para la elaboración de la presente tesis, que viene a ser un nexo que puede existir entre los dos departamentos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, por que creo, que un trabajo conjunto para este estudio hubiera tenido un sentido un poco más amplio.

INDICE GENERAL

	<u>CONTENIDO</u>	<u>Página</u>
	CAPITULO I	
	<u>GENERALIDADES.</u>	9
I.1	Características de los sistemas	9
	I.1.1 Sistema de Potencia	9
	I.1.2 Sistema de comunicación	10
I.2	Perturbaciones	10
I.3	Factores que determinan la interfe- rencia	11
	I.3.1 Factores de influencia	11
	I.3.2 Factores de acoplamiento	12
	I.3.3 Factores de susceptibilidad	12
	CAPITULO II	
	<u>CAUSAS QUE PRODUCEN INTERFERENCIAS</u>	14
II.1	Inducción de los sistemas	14
II.2	Inducción de origen natural	14
	II.2.1 Efectos de los rayos sobre los	

	sistemas de potencia.	16
	II.2.2 Sobretensiones inducidas	17
II.3	Inducción de origen artificial	18
	II.3.1 Líneas telefónicas sobre es- tructuras del sistema de potencia.	18
	II.3.2 Cruce metálico	19
	II.3.3 Potencial a tierra	20
II.4	Inducción magnética	21
II.5	Inducción eléctrica	23

C A P I T U L O I I I

	<u>INDUCCION A BAJA FRECUENCIA</u>	25
III.1	Factores de influencia a baja fre- cuencia.	25
	III.1.1 Control de la inducción a baja frecuencia.	25
III.2	Factores de acoplamiento	28
	III.2.1 Sistema con retorno metálico	28
	III.2.1.1 Sistema monofásico	28
	III.2.1.2 Sistema trifásico	30
	III.2.2 Sistema con retorno por - tierra .	32
	III.2.2.1 Sistema monofásico	33
	III.2.2.2 Sistema trifásico	34

III.3	Factores de acoplamiento por inducción eléctrica.	36
III.3.1	Determinación de las tensiones inducidas.	36

C A P I T U L O I V

INDUCCION A FRECUENCIAS QUE CAUSAN RUIDO 44

IV.1	Factores de influencia del sistema de potencia	44
IV.2	Características de forma de onda de los sistemas de potencia.	46
IV.3	Factores de acoplamiento por inducción a frecuencia de ruido.	48
IV.3.1	Curvas de ponderación de frecuencia	49
IV.4	Factores de susceptibilidad a la frecuencia de ruido.	50

C A P I T U L O V

E X P E R I M E N T A C I O N 52

V.1	Objeto	52
V.2	Modelo	52
V.2.1	Equipo	53
V.2.2	Selección de conductores	53
V.2.3	Distancia mínima	55

V.2.4	Filtro de banda	56
V.2.4.1	Pruebas	57
V.3	Análisis de la forma de onda	58
V.3.1	Método de Fischer Hiknen	59
V.4	Magnitud de tensiones inducidas	63
V.4.1	Variación horizontal	63
V.4.2	Variación vertical	64
V.5	Análisis de las representaciones gráficas	65
V.5.1	Recta de mínimos cuadrados	66
V.6	Conclusiones	67

C A P I T U L O V I

	<u>PROTECCION CONTRA LAS PERTURBACIONES</u>	94
VI.1	Finalidad de la protección	94
VI.2	Perturbaciones en el sistema telefónico	94
VI.2.1	Diafonía	95
VI.2.2	Ruido	95
VI.2.3	Ruido térmico	96
VI.3	Causas que originan las perturbaciones	96
VI.4	Protecciones	98
VI.4.1	Protección contra sobretensiones de origen atmosférico	98
VI.4.2	Protección contra contacto directo entre los sistemas.	98

VI.4.3	Protección contra sobretensiones	99
VI.5	Precauciones para reducir las perturbaciones	101
VI.5.1	Resistencia balanceada	101
VI.5.2	Espaciamientos entre conductores	102
VI.5.3	Transposiciones	102
VI.5.4	Cables blindados	104
VI.5.5	Sistema de tierras	105

C A P I T U L O V I I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 107

VII.1	Conclusiones	107
VII.2	Recomendaciones	108
VII.3	Normas	110

A N E X O N O 1

CAMPOS ELECTROMAGNETICOS 112

A.1	Campos Magnéticos	112
A.1.1	Intensidad de campos magnéticos	113
A.1.2	Deducción de fórmulas	115
A.2	Campo eléctrico	118
A.2.1	Intensidad de campo eléctrico	118
A.2.2	Potencial eléctrico	119
A.2.3	Representación de campo eléctrico	120
A.2.4	Representación del potencial eléctrico	121
A.2.5	Capacidad debido al campo eléctrico	122
A.3	Configuración de los Sistemas	124

LISTA DE TABLAS

	TABLA Nº
Valores de gradiente de potencial y tensión de inicio de corona para diferentes conductores.	V-1
Valores de tensión de salida en P.U. para el filtro de banda.	V-2
Variación del % de armónicas para una tensión y distancia determinados, variación horizontal.	V-3
Variación del % de armónicas para una tensión y distancia determinadas, variación vertical.	V-4
Valores de la magnitud de tensiones inducidas al conductor de comunicación telefónica, variación horizontal.	V-5
Valores de magnitud de tensiones inducidas en el conductor de comunicación telefónica, variación vertical.	V-6

LISTA DE LAMINAS

	LAMINA Nº
Corriente de cortocircuito	III-1
Variación de las tensiones inducidas para el caso trifásico sin conexión a tierra.	III-2

	LAMINA NO
Variación de las tensiones inducidas para el caso trifásico sin conexión a tierra.	III-3
Variación de las tensiones inducidas para el caso monofásico con conexión a tierra.	III-4
Variación de las tensiones inducidas para el caso trifásico con conexión a tierra.	III-5
Variación de la gradiente de potencial y la tensión de inicio de corona.	V-1
Forma de onda del filtro de banda	V-2
Estudio de las armónicas	V-3
Formas de onda aparecidas en las pruebas de laboratorio.	V-4
Variación de las características de los conductores.	V-5
Análisis para varias condiciones.	V-6
Variación de la magnitud de tensión inducida para una posición horizontal.	V-7
Variación de la magnitud de tensión inducida para varias condiciones.	V-8
Variación de la magnitud de tensión inducida para una posición vertical.	V-9
Variación de tensión inducida, recta de mínimos cuadrados.	V-10
Campo magnético producido por un conductor de potencia.	A-1

LAMINA NO. 1

Disposición del conductor de potencia para el cálculo de la intensidad de campo magnético.	A-2
Campo eléctrico producido por un conductor de potencia.	A-3
Disposición del conductor de potencia para el cálculo de la intensidad de campo eléctrico.	A-4
Representación gráfica del campo eléctrico.	A-5
Representación gráfica del potencial eléctrico.	A-6
Capacitancia entre conductores y un plano de referencia.	A-7
Disposición típica de los conductores en el sistema de potencia.	A-8

C A P I T U L O I

C A P I T U L O I

G E N E R A L I D A D E S

I.1.- C A R A C T E R I S T I C A S D E L O S S I S T E M A S

El presente trabajo contempla un estudio sobre la interferencia en el sistema de comunicación telefónica a frecuencia de audio, dichas perturbaciones son causadas por los sistemas de potencia. El termino interferencia en este estudio se considera de un modo muy genérico debido a que se toman en cuenta unicamente los efectos eléctricos provenientes de los sistemas de potencia.

Este estudio comprende una parte teórica y una parte experimental llevara a cabo en el Laboratorio de Alta Tensión de la Escuela Politecnica Nacional a base de un modelo.

Analizaremos brevemente lo que se considera un sistema de potencia y un sistema de comunicación.

I.1.1 S I S T E M A S D E P O T E N C I A.- Los sistemas de potencia se caracterizan por un nivel alto de energía y por varios grados de influencia inductiva los cuales se manifiestan por los campos electromagnéticos. La función de estos sistemas es transportar energía de un lugar a otro mediante las líneas de transmisión, a una frecuencia constante de 60 Hz.

Desde el punto de vista de interferencia inductiva los sistemas de potencia pueden ser clasificados de acuerdo a su configuración y grado de puesta a tierra siendo su clasificación la siguiente:

- a).- Sistemas no transpuestos y sin conexión a tierra,
- b).- Sistemas no transpuestos y con conexión a tierra,

c).- Sistemas transpuestos y sin conexión a tierra; y,

d).- Sistemas transpuestos y con conexión a tierra.

I.1.2 SISTEMAS DE COMUNICACION.- Los sistemas de comunicación se caracterizan por un nivel de energía relativamente bajo y por varios grados de susceptibilidad inductiva, la función de estos sistemas consiste en la emisión o la recepción de señales tales como: signos, escritos, imágenes, sonidos, es decir, recibir o emitir información de cualquier naturaleza ya sea por hilo, radio electricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos. Cada una de estas señales comprende un rango de frecuencia en las cuales se transmiten la comunicación.

La comunicación por hilo entre dos puntos comprende líneas telefónicas, líneas telegráficas, sistemas de control remoto, circuitos de hilo piloto, sistemas de onda portadora, pudiendo éstos últimos utilizar los mismos conductores de la línea de transmisión de energía.

El presente estudio contemplará únicamente la comunicación por hilo y específicamente se hará referencia al sistema telefónico, es decir al sistema por el cual se desea enviar una información a frecuencias de audio de un punto a otro y no se tomarán en cuenta para este estudio las ondas portadoras ni la transmisión por micro ondas y radio.

En el caso del sistema telefónico la señal que contiene la información de la voz a ser transmitida es de baja frecuencia y comprende un rango aproximado de 50-3.500 Hz.

* I.2 PERTURBACIONES.-

Quando un circuito de potencia y un circuito de comunicación telefónica operan en la proximidad los sistemas de potencia producen efectos de perturbación ya sean éstos de carácter inductivo o conducti

vo, los cuales causan interferencia en la operación normal del sistema de comunicación telefónica. Estos efectos de interferencia se manifiestan como tensiones y corrientes extrañas las cuales se superponen a las señales de comunicación dañando su inteligibilidad.

El efecto de estas tensiones y corrientes extrañas sobre los sistemas de comunicación telefónica, son de carácter variado y pueden constituir un peligro a las personas que tienen acceso a dichas instalaciones, también daño a los aparatos conectados al sistema e interferencia en el servicio.

La interferencia en el servicio incluye algunos efectos como ruido, choque acústico, falsa señalización en los circuitos telefónicos e interrupción del servicio. (1. Introducción (hoyta aquí))

4. El caso reme dial El sistema telefónico está generalmente equipado con protectores tales que, cuando se hallan sujetos a tensiones extrañas proporcionan la debida protección, quedando de esta manera fuera de servicio durante la condición de tensión anormal, hasta que el trabajo de mantenimiento sea realizado. Estas medidas de protección pueden ser aplicables ya sea en el un sistema o en el otro, o a su vez en ambos sistemas.?

I.3 FACTORES QUE DETERMINAN LA INTERFERENCIA

El problema de interferencia causado en el sistema de comunicación telefónica puede ser considerado bajo tres factores básicos que son: influencia, acoplamiento, y susceptibilidad.

I.3.1 FACTORES DE INFLUENCIA. - Los factores de influencia son aquellas características de los circuitos de potencia que determinan el carácter y la intensidad de los campos electromagnéticos, dependiendo su magnitud tanto de la corriente transmitida así: como también de su nivel de tensión.

La simetría en el sistema de potencia se define por la disposición de los conductores así como de su capacitancia distribuida con respecto a tierra.

Los factores de influencia en el sistema de potencia incluye tensiones y corrientes de frecuencia fundamental durante operación normal, bajo condiciones de falla deben considerarse el tiempo de duración, frecuencia de las interrupciones, También debe mencionarse la magnitud de las armónicas que pueden ser producidas por dispositivos de generación de energía, transformación y transmisión, tales como: máquinas rotativas, transformadores, convertidores de energía así como también las características de impedancia del sistema de potencia.

I.3.2 FACTORES DE ACOPLAMIENTO.- Los factores de acoplamiento son aquellos que expresan la interrelación de proximidad que existe entre los sistemas de potencia y la comunicación telefónica. Desde el punto de vistas de campos electromagnéticos dichos factores de acoplamiento incluyen coeficientes de inducción eléctrica y magnética, tales coeficientes son determinados cuantitativamente por relaciones graficas, geométricas y posiciones relativas de los conductores así como también de la resistividad de la tierra. En el anexo NQ1 se desarrolla la teoría electromagnética.

I.3.3 FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD.- Los factores de susceptibilidad son aquellas características de los circuitos de comunicación telefónica los que determinan el grado en que pueden ser afectados los mismos, por los campos eléctricos o magnéticos producidos por los sistemas de potencia. Dichos factores del sistema de comunicación telefónica incluyen en primer término las características de sensibilidad, nivel de potencia, respuesta de frecuencia y equilibrio de estos siste-

mas entre sí y con respecto a tierra. Estas características - son importantes no solamente durante la presencia de tensiones extrañas sino también por su manera de reaccionar después de - que dichas tensiones extrañas han desaparecido. /

Mediante el estudio de estos factores es posible -- llevar a cabo el análisis de las contribuciones perturbadoras de los sistemas de potencia a los sistemas de comunicación telefónica. Cabe mencionar que en el presente estudio nos referimos principalmente a los factores de acoplamiento por ser éstos los que están proporcionando la interrelación entre ambos sistemas.

Debe aclararse que el término interferencia en el presente estudio representa cualquier perturbación, por consiguiente, en este análisis se mencionará ambos términos indistintamente.

C A P I T U L O I I

CAUSAS QUE PRODUCEN INTERFERENCIASII.1 INDUCCION EN LOS SISTEMAS

La inducción ocasionada en la transmisión telefónica puede ser de origen natural o de origen artificial, estas últimas son materia de nuestro estudio. La transmisión telefónica esta ocasionalmente expuesta a tensiones y corrientes inducidas mucho más grandes que aquellas requeridas en el servicio normal, estas tensiones inducidas se traducen en corrientes de ruido las cuales operan en el receptor telefónico, en cuanto a la magnitud de estas tensiones en muchas oportunidades pueden exceder el poder dieléctrico del sistema telefónico, especialmente en las perturbaciones de carácter artificial.

Años de experiencia han demostrado que las causas de la mayoría de las interferencias en el sistema telefónico son debidas a la inducción electromagnética de los sistemas de potencia como también debido a las descargas atmosféricas.

El origen de las tensiones y corrientes extrañas en el sistema telefónico como se menciona anteriormente son provenientes de los sistemas de potencia y reside en la proximidad de los dos circuitos, sobretudo si corren paralelos, y más aun si están localizados sobre la misma estructura.

II.2 INDUCCION DE ORIGEN NATURAL

De un modo general mencionaremos estos fenómenos producidos en los sistemas de potencia los cuales se hallan sujetos a los efectos de descargas atmosféricas.

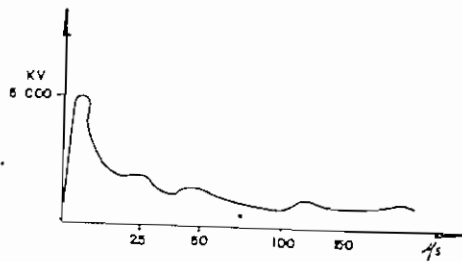
Estos fenómenos son tomados en cuenta mediante la observación de la tensión y de la corriente producidas por dichas descargas atmosféricas. En el sistema telefónico las descargas eléctricas directas sobre las líneas son mucho más severas que en el sistema de potencia, las corrientes y potencias de corto circuito son tan altas que normalmente causan falla del aislamiento de los materiales que constituyen las líneas y equipos conectados a las mismas.

En base a observaciones fotográficas, se ha podido tener una idea bastante concreta del proceso de descarga de un rayo, el rayo no está formado por una sola descarga sino por varias que se suceden a intervalos cortos de tiempo. Cuando la gradiente de potencial en la nube es lo suficientemente alta se produce una aceleración de cargas negativas hacia abajo (tierra), la primera pierde rápidamente su energía pero deja un camino ionizado por el cual van produciéndose descargas sucesivas que llegan cada vez más lejos.

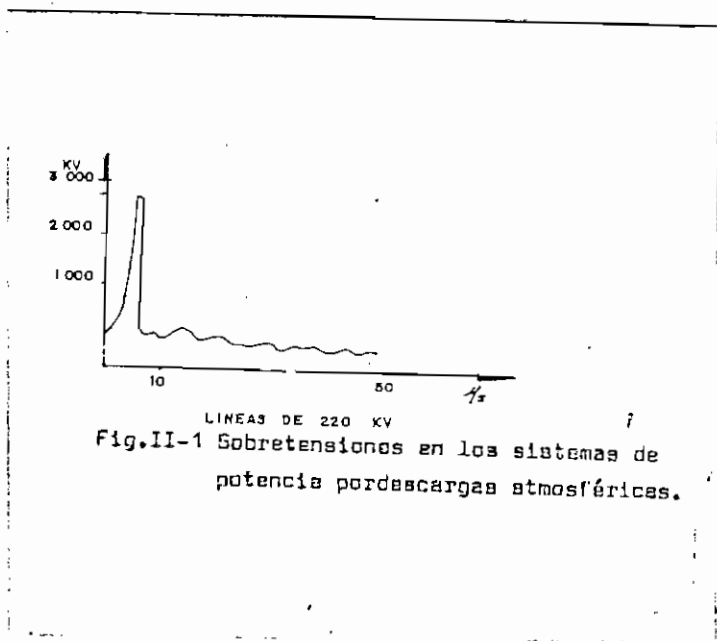
Estadísticamente se demuestra que las corrientes más comunes producidas por las descargas atmosféricas son del orden de 20A.-30KA., y apenas un 10 % de éstas descargas sobrepasan los 100 KA. La cantidad de electricidad es del orden de 0.1 - 10 coulombs, pero sin embargo, se alcanzan valores de hasta 200 y 300 coulombios. Un simple relámpago es de muy corta duración, es decir, del orden de 100 μ s, mientras el proceso de descarga total dentro de una serie de relámpagos debe exceder a un segundo. La tensión entre nube y tierra es el orden de 10 - 100 MV. (megavoltios). La intensidad de campo eléctrico es de 10 KV./ cm. en el punto del rayo, como velocidad de propagación de la descarga principal puede anotarse el valor de 50 m./ μ s.

La cantidad de descargas atmosféricas depende sobretodo de la zona donde se hallen ubicadas dichas líneas.

II.2.1 EFECTOS DE LOS RAYOS SOBRE LOS SISTEMAS DE POTENCIA.- Mediante la observación de las tensiones y corrientes producidas por las descargas directas se puede cuantificar las sobretensiones producidas en las líneas. Esta observación puede hacerse directamente mediante osciloscopios registradores conectados adecuadamente a las líneas. Los valores máximos de tensión que se han observado en los osciloscopios registradores u oscilógrafos han sido obtenidos de las estructuras de madera sin hilo de guardia, cuyos valores de tensión pueden ser del orden de 5.000 KV., para líneas de 110 KV. y de 3.000 KV., para líneas de 220 KV.; también debe anotarse que para estos dos casos el período de duración para estos niveles de tensión son también diferentes como puede apreciarse en los graficos siguientes.



LÍNEAS DE 110 KV
Fig. II-1 Sobretensiones en los sistemas de potencia por descargas atmosféricas.



II.2.2 SOBRE TENSIONES INDUCIDAS.- Las descargas de los rayos en la vecindad de líneas abiertas produce ondas de tensión las cuales se propagan a lo largo de las líneas en ambas direcciones, en forma de una onda viajera.

Las líneas están dentro de un campo eléctrico suelo - nube, cuando se produce el proceso de descarga de la nube a tierra se elimina el campo eléctrico existente, las mencionadas ondas se propagan a lo largo de las líneas de potencia como de comunicación telefónica según puede apreciarse en la fig. II - 2, es decir, la tensión de pico se desplaza a una velocidad cercana a la velocidad de la luz.

La amplitud de la onda de tensión inducida por una descarga de rayo depende especialmente de la magnitud de la descarga atmosférica

ca y de la distancia a las líneas.

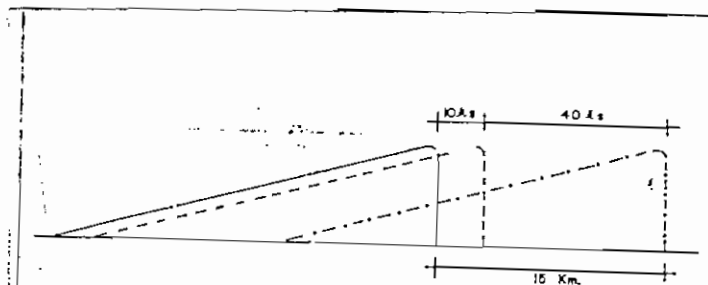


Fig. II-2 Velocidad de propagación de las ondas de sobretensión.

Por mediciones efectuadas se ha demostrado que, en líneas de bajo nivel de tensión como también en líneas telefónicas se registran corrientes muy altas (1.000 A) como voltajes provocando como consecuencia salto de chispa en las líneas. Los dispositivos colocados en las líneas operaran bajo estas condiciones.

II.3 INDUCCION DE ORIGEN ARTIFICIAL

La inducción de origen artificial es uno de los factores de mayor prioridad en el fenómeno de interferencia en la comunicación telefónica, refiriéndonos únicamente a los sistemas de potencia.

II.3.1 LINEAS TELEFONICAS SOBRE ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE POTENCIA.-

En algunos países el método de la construcción conjunta ha sido empleado hasta un nivel de tensión de 69 KV., porque, además de su ventaja económica, representa también una ventaja estética. Mientras que en otros países este tipo de construcción no se permite, debido a que no existen todavía normas ni recomendaciones hechas por el Comité Consultivo Internacional Telefónico (CCITT).

Las compañías proveedoras de energía, las cuales tienen la necesidad de una línea telefónica local para establecer comunicación entre la estación generadora y una o más subestaciones como también otros puntos de importancia, con frecuencia instalan dicha línea sobre las estructuras de alta tensión.

Desde el punto de vista de protección y transmisión, sin embargo, este procedimiento de instalación es indeseable, debido a la posibilidad de contacto metálico entre las líneas de alta tensión y la línea de comunicación telefónica, además la línea telefónica se halla expuesta a mayores tensiones inducidas provenientes del sistema de potencia debido a su proximidad existente y paralelismo entre las mismas.

(severidad, cuando están líneas telef. sobre estruct. de EP)
El problema de la protección y transmisión telefónica puede -

4 } ser resuelto aparentemente mediante la instalación de cables blindados, en el caso de líneas aéreas se puede hacer transposiciones a la línea telefónica, en tal forma que la magnitud de tensiones inducidas en los conductores sea de igual magnitud?

II.3.2 CONTACTO METÁLICO.- En el momento de contacto metálico entre el sistema de potencia y el sistema telefónico, la tensión del sistema de potencia puede ser transferida al sistema telefónico.

Según definiciones anteriores ambos sistemas se diferencian por su nivel de aislamiento, por consiguiente, al haber un contacto entre ambos sistemas se puede considerar como una falla de contacto a tierra. La sobretensión producida por este efecto permanecerá hasta que la falla desaparezca o hasta que el sistema de potencia salga fuera del servicio, es decir, cuando los dispositivos de protección de las líneas de potencia hayan operado, dependiendo en gran parte de la magnitud de

la corriente de cortocircuito como también de la coordinación de las protecciones. En la fig. II-3 se indica una disposición general de los sistemas en mención. La magnitud de estas tensiones inducidas como corrientes de cortocircuito se enunciarán posteriormente.

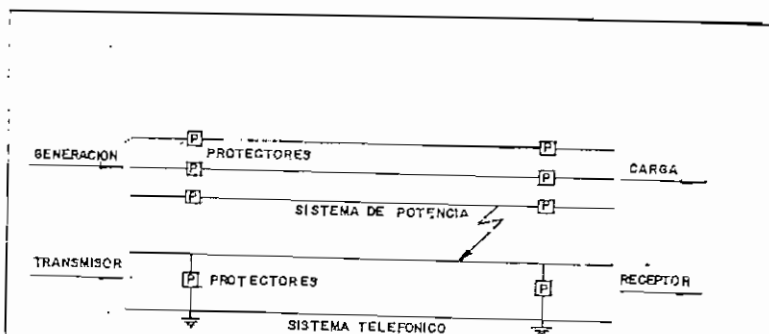


Fig. II-3 Disposición general de los sistemas. Contacto metálico.

II.3.3 POTENCIAL A TIERRA.- Otra de las posibilidades de obtener tensiones y corrientes extrañas sobre los circuitos de comunicación telefónica, aunque sea un poco menos frecuente, resulta por el uso en común de conexiones a tierra tanto el sistema de potencia como el sistema telefónico, sobretodo en el caso de fallas a tierra del sistema de potencia.

Como medio de estabilización del sistema de potencia, se conecta el neutro solidamente a tierra en tal forma que, bajo condiciones

de falla limite la sobretensión y proporcione corrientes adecuadas al sistema de protección de la línea de potencia, para eliminarse en forma neta y rápida la falla a tierra.

Cuando la línea de potencia no utiliza neutro, una falla de este sistema a tierra, producirá corrientes de magnitudes reducidas, pudiendo aún mantenerse la falla sin que sea detectada.

Se puede decir que una falla a tierra con elevación consecuente de la tensión en las fases sanas depende del llamado grado de puesta a tierra. El grado de puesta a tierra se representa por la relación entre la máxima tensión entre fase sana y tierra y la tensión nominal entre fases.

Este coeficiente puede definirse también de la relación entre la impedancia de secuencia cero a la impedancia de secuencia positiva; esta elevación de potencial ocurre a frecuencia nominal del sistema de potencia.

Si por el efecto de una falla a tierra se produce oscilaciones a otras frecuencias se tendrá una elevación de potencial adicional.

II.4 INDUCCION MAGNETICA

La inducción magnética se refiere a las tensiones inducidas en el circuito de comunicación telefónica como resultado de los campos magnéticos que producen las corrientes que fluyen en el sistema de potencia.

La magnitud de estas tensiones inducidas depende de la longitud de recorrido paralelo de los dos sistemas, de la separación, de la configuración de los mismos, de la resistividad de tierra como también

de la magnitud y frecuencia de las corrientes del circuito de potencia.

La corriente que producirá ruido en el circuito de comunicación depende, en primer lugar, de la tensión inducida y de la impedancia del circuito de comunicación.

En la fig. ~~II-4~~¹ se ilustra un circuito equivalente para analizar el efecto de las tensiones inducidas magnéticamente.

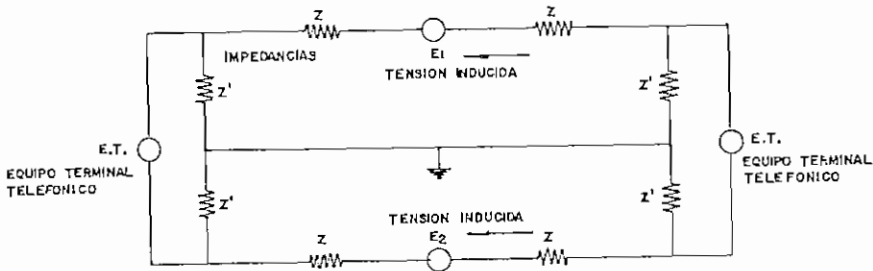


Fig. II-4 Circuito equivalente correspondiente a una sección del sistema telefónico.

$$E1 = E_L + \frac{E_M}{2} \quad (II-1)$$

$E_L, E_M =$ Tensión inducida correspondiente a lo componente longitudinal, transversal.

$$E2 = E_L - \frac{E_M}{2} \quad (II-2)$$

Dichas tensiones inducidas sobre este circuito se manifiestan por una fuente de tensión colocada en serie en cada conductor, anotándose que dichas magnitudes son diferentes en cada lado, debido a que, su posición es diferente en el campo magnético. El conductor de comunicación más cercano tendrá un potencial mayor que el otro, por consiguiente existirá una diferencia de potencial entre dichos con-

ductores.

II.5 INDUCCION ELECTRICA

Otra fuente importante que produce tensiones extrañas sobre los circuitos de comunicación telefónica, bajo condiciones normales de operación es la inducción eléctrica, que se manifiesta por un campo eléctrico creado por las tensiones del sistema de potencia.

El valor de tensión inducida depende de la configuración del circuito de comunicación como también de la tensión en el circuito de potencia, además de la capacitancia existente entre los dos sistemas y capacitancia respecto a tierra. De manera similar que en caso anterior la magnitud de tensión inducida en el sistema de comunicación telefónica estará determinada por la corriente que puede ser transferida y la admitancia total de ésta respecto a tierra.

En la fig. II-5 se indica esquemáticamente el correspondiente circuito equivalente para analizar el efecto de tensiones inducidas eléctricamente sobre un circuito telefónico.

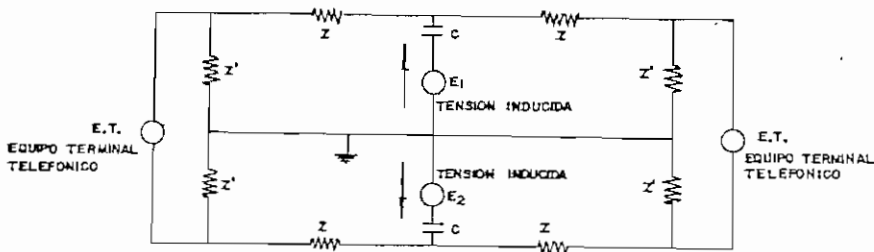


Fig.II-5 Circuito equivalente correspondiente a una sección del sistema telefónico.

$$E_M = E_1 - E_2$$

(II-3)

E_L, E_M = Tensión inducida correspondiente a la componente longitudinal, transversal.

$$E_L = \frac{E_1 + E_2}{2}$$

(II-4)

Tales tensiones inducidas se manifiestan como fuentes de tensión que actúan entre el conductor de comunicación telefónica y tierra, al igual que en el caso anterior dichas magnitudes serán desiguales - teniendo un valor mayor el conductor más cercano.

El estudio de estos campos magnéticos como eléctricos se enuncian con más detalle en el Anexo Nº 1.

La inducción magnética como la inducción eléctrica las cuales son producidas por los sistemas de potencia causan la mayor parte de interferencia en los circuitos de comunicación telefónica. Se menciona más adelante la magnitud de estas tensiones inducidas cuyo valor depende de la configuración de los dos sistemas.

C A P I T U L O I I I



C A P I T U L O I I I

26) I N D U C C I O N A B A J A F R E C U E N C I A

El problema de inducción a baja frecuencia puede ser considerado desde dos puntos de vista, en condiciones normales y en condiciones anormales de funcionamiento del sistema de potencia.

En el primer caso de funcionamiento normal la interferencia - en el sistema telefónico generalmente se debe a tensiones inducidas, las cuales se traducen en corrientes de ruido, además debido a --- corrientes residuales que son propias de los sistemas de potencia con conexión a tierra.

En el segundo caso de funcionamiento anormal la interferencia en el sistema telefónico generalmente se debe a contactos accidentales a tierra del sistema de potencia, es decir en condiciones de falla; como consecuencia de lo anterior, los efectos producidos debido a la inducción a baja frecuencia en el sistema telefónico pueden ser: interrupción del servicio debido al funcionamiento del protector del sistema, deterioros en el aislamiento de la instalación, así como también, distorsión de las señales. //

27) III.1 FACTORES DE INFLUENCIA A BAJA FRECUENCIA

Uno de los factores de influencia en el sistema telefónico - se considera las corrientes de retorno por tierra en las líneas de transmisión, las cuales son producidas por las corrientes residuales, el valor de esta corriente depende de la magnitud del desequilibrio de cargas, del equipo que se conecta al sistema de potencia, del acoplamiento entre los conductores de fase y el conductor de tierra

como también de la resistividad de la tierra.

Otro de los factores de importancia en la inducción a baja frecuencia es la influencia de las corrientes de falla provenientes del sistema de potencia. La magnitud de las corrientes de cortocircuito a tierra depende principalmente de la resistencia existente entre el neutro del sistema y tierra, en el caso en que esta resistencia sea baja (neutro del sistema conectado solidamente a tierra o por medio de resistencias limitadoras de corriente) la corriente de cortocircuito alcanzará valores altos.

En el caso de resistencia de puesta a tierra alta (neutro del sistema aislado o conectado por medio de bobinas de inductancia) la corriente de cortocircuito alcanzará valores bajos, para este último caso la tensión en los conductores no fallosos aumenta; por consiguiente, la tensión inducida en el sistema telefónico también se incrementará. *(hasta aquí 26)*

El cálculo de las corrientes de cortocircuito se efectúa por el método de las componentes simétricas y analizando desde luego el tipo de falla correspondiente. Mencionaremos de una manera muy ligera los criterios generales sobre las corrientes de cortocircuito producidas en el sistema de potencia.

Existen dos tipos de falla, fallas simétricas y fallas asimétricas; las fallas simétricas son aquellas en las cuales se considera únicamente la secuencia positiva, en cambio las fallas asimétricas se caracterizan por tomar en cuenta la secuencia positiva, la secuencia negativa como también la secuencia cero.

En cada uno de los casos mencionados anteriormente se des-

compondrán en circuitos secuenciales y la magnitud de cortocircuito dependerá de la impedancia vista desde el punto de falla hacia la generación.

El tipo de falla que se mencionará en este estudio, es aquel que se refiere a fallas lejanas en el generador, es decir, aquellas fallas que se caracterizan porque las corrientes de cortocircuito en el punto de falla señala una amortiguación debido a la impedancia conectada en serie.

FALLAS SIMETRICAS.- Este tipo de fallas se refieren a corrientes de cortocircuito trifásico, en la fórmula III-1 se menciona el cálculo de la corriente de cortocircuito.

$$I_{3\phi} = \frac{1.1 V_N}{\sqrt{3} Z} \quad \text{III - 1} \quad \Rightarrow Z = Z_N + Z_T + Z_L$$

1.1 = Factor que toma en cuenta el aumento de tensión en los bornes del alternador.

V_N = Tensión nominal del sistema entre fases.

Z_N = Impedancia equivalente del generador.

Z_T = Impedancia equivalente del transformador.

Z_L = Impedancia equivalente de la línea hasta el sitio de falla.

FALLAS ASIMETRICAS.- Este tipo de fallas son las más comunes en el sistema de potencia, en la lám. III-1 se representa un cálculo aproximado de las corrientes de cortocircuito para este caso. Como puede observarse la magnitud de las mencionadas corrientes es función del grado de puesta a tierra del sistema, es decir, de la relación que existe entre la impedancia de secuencia cero y la impedancia de secuencia positiva.

III.1.1 CONTROL DE LA INDUCCION A BAJA FRECUENCIA (Para control).

El control de la inducción a baja frecuencia, significa el control de la corriente por tierra, esta corriente puede controlarse mediante el uso de impedancias de puesta a tierra y/o adoptando valores adecuados para la puesta a tierra de las líneas de transmisión. La conexión del neutro a través de una impedancia suministra un método importante y efectivo para el control de la corriente por tierra y por lo tanto de la inducción a baja frecuencia, es decir, los sistemas de potencia pueden clasificarse en sistemas con alta y con baja resistencia de puesta a tierra, términos definidos anteriormente.

III.2 FACTORES DE ACOPLAMIENTO

El acoplamiento a baja frecuencia (60 Hz.) bajo condiciones normales de operación puede ser considerado desde dos puntos de vista: circuitos con retorno por tierra y circuitos con retorno metálico, en cada uno de los casos mencionados la magnitud de la tensión inducida dependerá sobretodo de la configuración geométrica de los dos sistemas, separación, paralelismo, como también de la tensión y capacidad del sistema de potencia. En el Anexo Nº 1 se indican las configuraciones más comunes utilizadas en los sistemas de transmisión de energía.

III.2.1 SISTEMA CON RETORNO METALICO.- Dicho sistema se caracteriza por hallarse constituido por conductores metálicos, es decir, la corriente de retorno se realiza por medio de un conductor físico.

III.2.1.1 SISTEMA MONOFASICO.- La tensión inducida en un conductor de comunicación telefónica debido al campo magnético creado - - -

Por el sistema de potencia puede ser expresado mediante las siguientes ecuaciones; y haciendo referencia a la fig. III-1

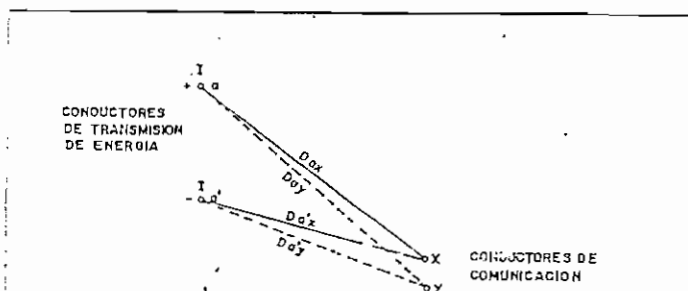


Fig. III-1 Sistema monofásico sin conexión a tierra, inducción m.

$$V_x = -j \omega 756 \frac{I}{60} \log \frac{D_{ax}}{D_{ax}} \cdot 10^{-3} \quad \text{V/m} \quad \text{III-1}$$

V_X y V_Y = tensión inducida en voltios / metro en los conductores de comunicación telefónica.

f = Frecuencia nominal en el sistema de potencia (Hz.)

I = Corriente nominal en amperios del sistema.

D_{aX} y $D_{a'X}$ = Distancias desde los conductores de transmisión de energía hacia el conductor de comunicación X.

D_{aY} y $D_{a'Y}$ = Distancias desde los conductores de transmisión de energía hacia el conductor de comunicación Y.

La deducción matemática de estas formulas se enuncia en el Anexo NQ1.

De las ecuaciones escritas podemos comentar que, la magnitud de las tensiones inducidas V_X y V_Y , son función directa de la corriente nominal del circuito de transmisión de energía, como del paralelismo

y configuración que puede existir entre los dos sistemas. Las mencionadas tensiones inducidas tienen valores diferentes debido a la configuración de los dos sistemas, es decir, el conductor más cercano tendrá una tensión inducida mayor que el otro conductor de comunicación, esta diferencia de potencial causa en el circuito telefónico corrientes de ruido, y por consiguiente, ocasionará perturbaciones en la transmisión como en la recepción de señales.

Además cabe mencionar que dichas tensiones inducidas se manifiestan como fuentes de tensión colocadas en serie sobre cada conductor de comunicación telefónica.

En la lám. III- 2 se representa gráficamente valores de tensión inducida en función de la distancia que existe entre los dos sistemas para una determinada configuración y para valores diferentes de corrientes, anotándose que, se obtienen valores mayores de tensión inducida para distancias cercanas entre los dos sistemas.

Para la representación gráfica de esta función se ha considerado una tensión constante de 208 V., y una disposición de los dos sistemas más desfavorable, de lo cual se puede concluir que, dicha representación gráfica representa una función exponencial.

III.2.1.2 SISTEMA TRIFASICO.- La tensión inducida magnéticamente en los conductores de comunicación telefónica, como consecuencia de las corrientes que fluyen en el sistema de potencia, puede ser analizado mediante las siguientes ecuaciones y haciendo referencia a la fig. III-2.

Al igual que en el caso anterior la deducción matemática

de estas ecuaciones se enuncia en el Anexo N^o 1.

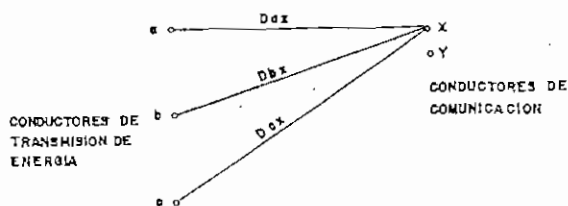


Fig. III-2 Sistema trifásico sin conexión a tierra, inducción magnética.

$$V_x = -j0.1736 \frac{f}{60} (I_a \log D_{ax} + I_b \log D_{bx} + I_c \log D_{cx}) \cdot 10^{-3} \text{ V/m. III-2}$$

V_X y V_Y = Tensión inducida en voltios / metro en los conductores de comunicación telefónica.

f = Frecuencia nominal en el sistema de potencia (Hz.)

I_a, I_b, I_c = Corrientes nominales en amperios las cuales fluyen por los conductores del sistema de potencia.

D_{aX}, D_{bX}, D_{cX} = Distancia de los conductores del sistema de potencia hacia el conductor de comunicación telefónica X.

D_{aY}, D_{bY}, D_{cY} = Distancia de los conductores del sistema de potencia hacia el conductor de comunicación telefónica Y.

Las ecuaciones en mención son válidas para sistemas trifásicos sin conexión del punto neutro del sistema como también bajo condiciones de carga equilibrada. De manera similar la magnitud de estas tensiones inducidas en la comunicación telefónica están en fun

ción directa de la corriente nominal que fluye en la transmisión de energía, del paralelismo, de la frecuencia nominal del sistema de potencia, como también de la configuración entre los mismos. Estas tensiones inducidas igual que en el caso anterior se diferenciarán en su magnitud.

En la lám.III-3 se representa graficamente la tensión inducida para un sistema trifásico en función de la distancia y para una determinada posición de conductores, el tipo de representación gráfica es similar que para el caso monofásico, desde luego, con valores más altos. Las condiciones para esta representación gráfica es una determinada capacidad (10.000 KVA) y para diferentes valores de tensión (13.8, 34.5, 69 KV.).

III.2.2 SISTEMAS CON RETORNO POR TIERRA.- Los circuitos con retorno por tierra representan la fuente más común de la inducción magnética a baja frecuencia, debido a que este representa un caso más general. La distribución de las corrientes en la tierra depende sobre todo de la resistividad de la tierra y de los electrodos conectados a la misma, en este tipo de sistemas este último factor es de mucha importancia.

III.2.2.1 SISTEMA MONOFASICO.- Las tensiones inducidas para circuitos con retorno por tierra, pueden ser estimados asumiendo que la corriente de retorno por tierra se halle concentrada a una distancia equivalente cuyo val. depende de la resistividad de la tierra como de la frecuencia que se transmite.

Las ecuaciones consideradas para este análisis se enuncian a continuación, y en las cuales se hace referencia a la --

fig. III-3.

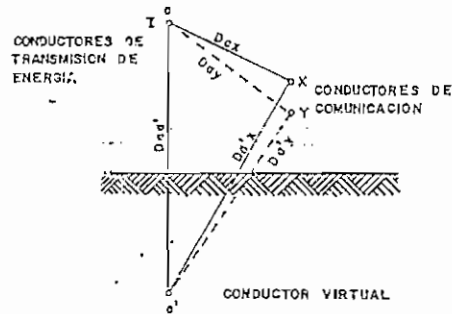


Fig. III-3 Sistema monofásico con conexión a tierra, inducción m.

$$V_x = I \frac{f}{60} (0.0593 + j0.1736 \log \frac{D_{aX}}{D_{aX}}) \cdot 10^{-3} \text{ V/m.} \quad \text{III-3}$$

V_X y V_Y = Tensión inducida en voltios / metro en los conductores de comunicación telefónica.

f = Frecuencia nominal en el sistema de potencia (Hz.).

D_{aX}, D_{aY} = Distancia entre el conductor de transmisión de energía y los conductores de comunicación telefónica.

$D_{a'X}, D_{a'Y}$ = Distancia entre el conductor virtual de transmisión de energía y los conductores de comunicación telefónica.

$D_{aa'}$ = Profundidad equivalente desde el conductor metálico hasta el conductor ficticio de retorno por tierra.

El valor de la profundidad equivalente $D_{aa'}$, puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$D_a a' = 692.738 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad m. \quad \text{III-4}$$

ρ = Resistividad de la tierra $\Omega\text{-m}$.

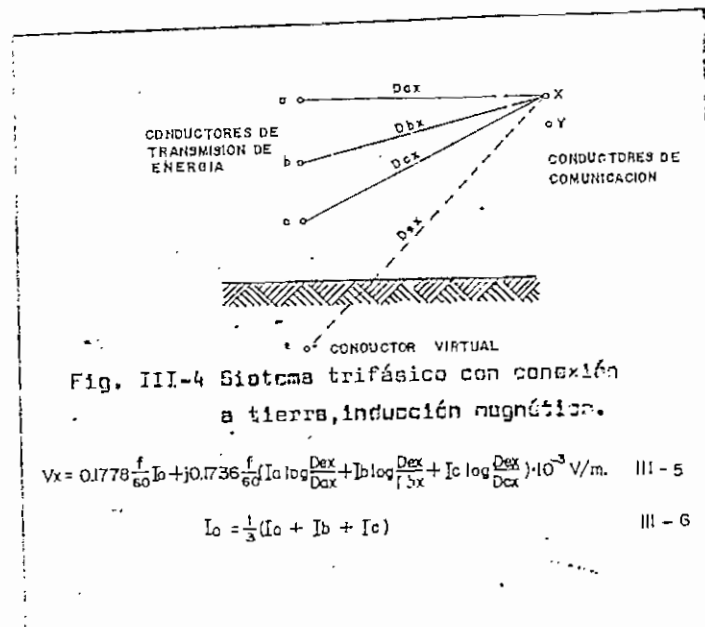
f = Frecuencia del sistema (Hz)

El valor de resistividad de la tierra puede variar desde 10, hasta 1.000 ohms-metro, quizá el valor más frecuente encontrado es de 100 ohms-metro, dependiendo desde luego de la calidad del terreno. Haciendo una comparación con el caso anterior para un sistema monofásico con sin retorno por tierra debemos notar que, estas últimas ecuaciones proporcionan una magnitud de tensión inducida mucho mayor, debido a que, existe un coeficiente adicional de acoplamiento por resistencia de tierra.

En la lám. Nº III-4 se representa las tensiones inducidas en función de la distancia entre los dos sistemas y considerando una determinada posición de los conductores. Su representación gráfica es similar a los casos anteriormente analizados, además se nota la influencia del valor de resistividad de tierra. Para el análisis de estos gráficos se tomaron valores diferentes de capacidades y un solo valor de nivel de tensión (208 V.).

La deducción matemática de estas ecuaciones se enuncia en el Anexo Nº 1.

III.2.2.2 SISTEMA TRIFASICO. - La tensión inducida en los conductores de comunicación telefónica causada por el campo magnético creado por las corrientes que fluyen en un circuito trifásico de potencia, caracterizado especialmente por su desbalanceamiento puede ser estimado mediante el uso de las siguientes ecuaciones y haciendo referencia a la fig. III-4.



La notación en L_0 que respecta a estas ecuaciones es la misma que para los casos anteriores.

En la lám. Nº III-5 se representa la variación de tensión inducida en función de la distancia entre los dos sistemas y para un grado de desequilibrio según se indica en dicha lámina, este tipo de funciones, desde luego, proporciona valores más altos que en los casos anteriores y su variación es mucho más lenta.

Para el trazado de estos gráficos se consideró una determinada capacidad (10.000 KVA) y valores diferentes de tensión (13.8, 34.5, 69 KV). Además podemos decir que dichas funciones para una distancia determinada representan una función casi constante.

III-3 FACTORES DE ACOPLAMIENTO POR INDUCCION ELECTRICA

Los factores de acoplamiento por inducción eléctrica a baja frecuencia es causado por el campo eléctrico creado por el sistema de potencia. Este fenómeno se manifiesta por un efecto capacitivo que existe entre estos circuitos y tierra. La tensión inducida en la línea de comunicación telefónica está determinada por la corriente transferida por el sistema de potencia y por el valor de admitancia total de esta línea respecto a tierra. Esta corriente de transferencia es proporcional al valor de capacitancia entre ambos sistemas mencionados.

III.3.1 DETERMINACION DE LAS TENSIONES INDUCIDAS .- La magnitud de las tensiones inducidas en los conductores de comunicación telefónica es dependiente de la capacitancia existente entre los dos sistemas, es decir, depende de la configuración de los mismos.

La variación de estas tensiones inducidas será de una manera similar a las analizadas en el campo magnético, debido a que en las fórmulas de capacitancia existe un término logarítmico.

En el anexo Nº 1 se desarrollan fórmulas para el cálculo de la capacidad entre conductores.

En la figura III.5 se representa una disposición general entre los conductores correspondientes a los dos sistemas. El conductor de potencia se representa por r_2 , el conductor de comunicación telefónica se representa por r_1 , D es la separación que existe entre los dos conductores y h representa la altura de montaje.

.....

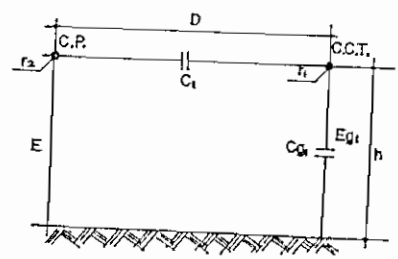


Fig. III-5 Tensión inducida debido a los campos eléctricos.

La capacidad entre los conductores mencionados pueden expresarse mediante las siguientes ecuaciones:

$$C_{l/1} = \frac{2 \pi \epsilon}{\ln \frac{r_2}{r_1} \frac{D^2 - r_2^2 + r_1^2 + \sqrt{(D^2 - r_2^2 + r_1^2)^2 - 4 D^2 r_1^2}}{D^2 - r_1^2 + r_2^2 - \sqrt{(D^2 - r_1^2 + r_2^2)^2 - 4 D^2 r_2^2}}}$$

$$C_{g1/l} = \frac{2 \pi \epsilon}{\ln \frac{2h}{r_1}}$$

$C_{l/1}$ Capacitancia por unidad de longitud Fard./m (III-7)

$C_{g1/l}$ Capacitancia por unidad de longitud Fard./m (III-8)

El valor de la tensión inducida E_{gl} si se considera E como la ten-

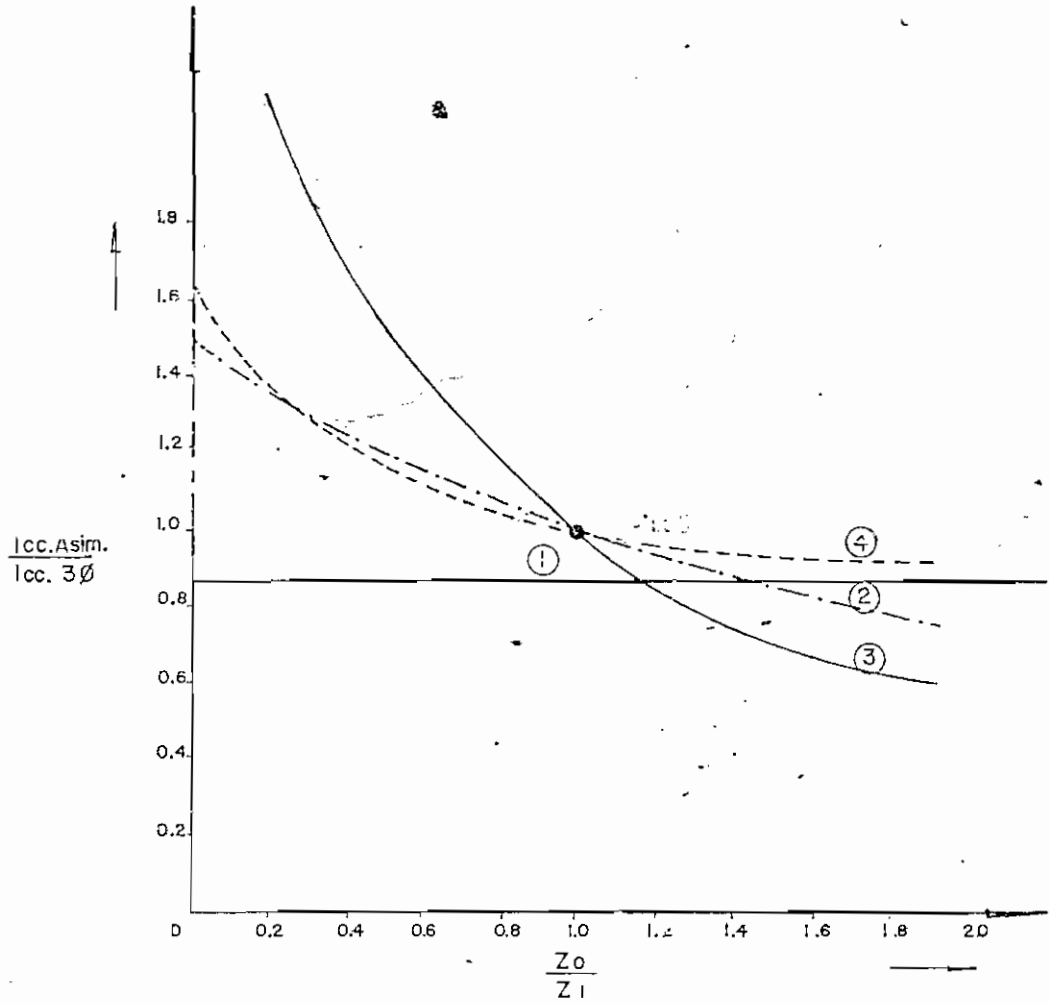
sión proveniente del sistema de potencia puede expresarse mediante la siguiente ecuación.

$$E_{g1} = E \frac{C1}{C1 + C_{g1}} = \frac{1}{1 + \frac{C_{g1}}{C1}} \text{ Voltios (1-1-9)}$$

Debe decirse que el denominador de la fracción representa una cantidad 1 por consiguiente, para encontrar la magnitud verdadera de la tensión inducida habrá que analizar los valores correspondientes que se tenga para cada caso en particular.

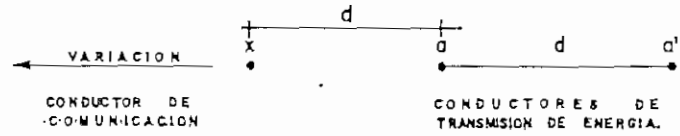
CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

- ① CORTOCIRCUITO BIPOLAR
- ② CORTOCIRCUITO BIPOLAR A TIERRA
- ③ CORTOCIRCUITO MONOPOLAR A TIERRA
- ④ CORTOCIRCUITO MONOPOLAR DOBLE A TIERRA



CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN EL CASO DE FALLAS ASIMETRICAS

MAGNITUD DE TENSIONES INDUCIDAS
 SISTEMA MONOFASICO CON RETORNO METALICO



$$V_x = \left[-j0,1736 I \left(\frac{1}{60} \right) \log \left(\frac{Dax}{Ddx} \right) \right] \times 10^{-3} \frac{\text{volts}}{\text{metro}}$$

CONDICION:
 PARA UN DETERMINADO NIVEL DE TENSION Y PARA DIFERENTES CAPACIDADES.

- 30 KVA
- 15 KVA
- 10 KVA

TENSION INDUCIDA (mv/m)

40
35
30
25
20
15
10
0.5

$I_3 = 82.5 \text{ A (30 KVA)}$

$I_2 = 41.2 \text{ A (15 KVA)}$

$I_1 = 27.5 \text{ A (10 KVA)}$

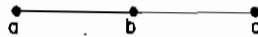
d 2d 3d 4d 5d 6d 7d 8d

D I S T A N C I A (mts.)

MAGNITUD DE TENSIONES INDUCIDAS
 SISTEMA TRIFASICO CON RETORNO METALICO

$$V_x = \left[-j0.1736 \left(\frac{1}{60} \right) (I_a \log D_{ax} + I_b \log D_{bx} + I_c \log D_{cx}) \right] \times 10^{-3} \frac{\text{voltios}}{\text{metro}}$$

CONDUCTORES DE POTENCIA



VARIACION →

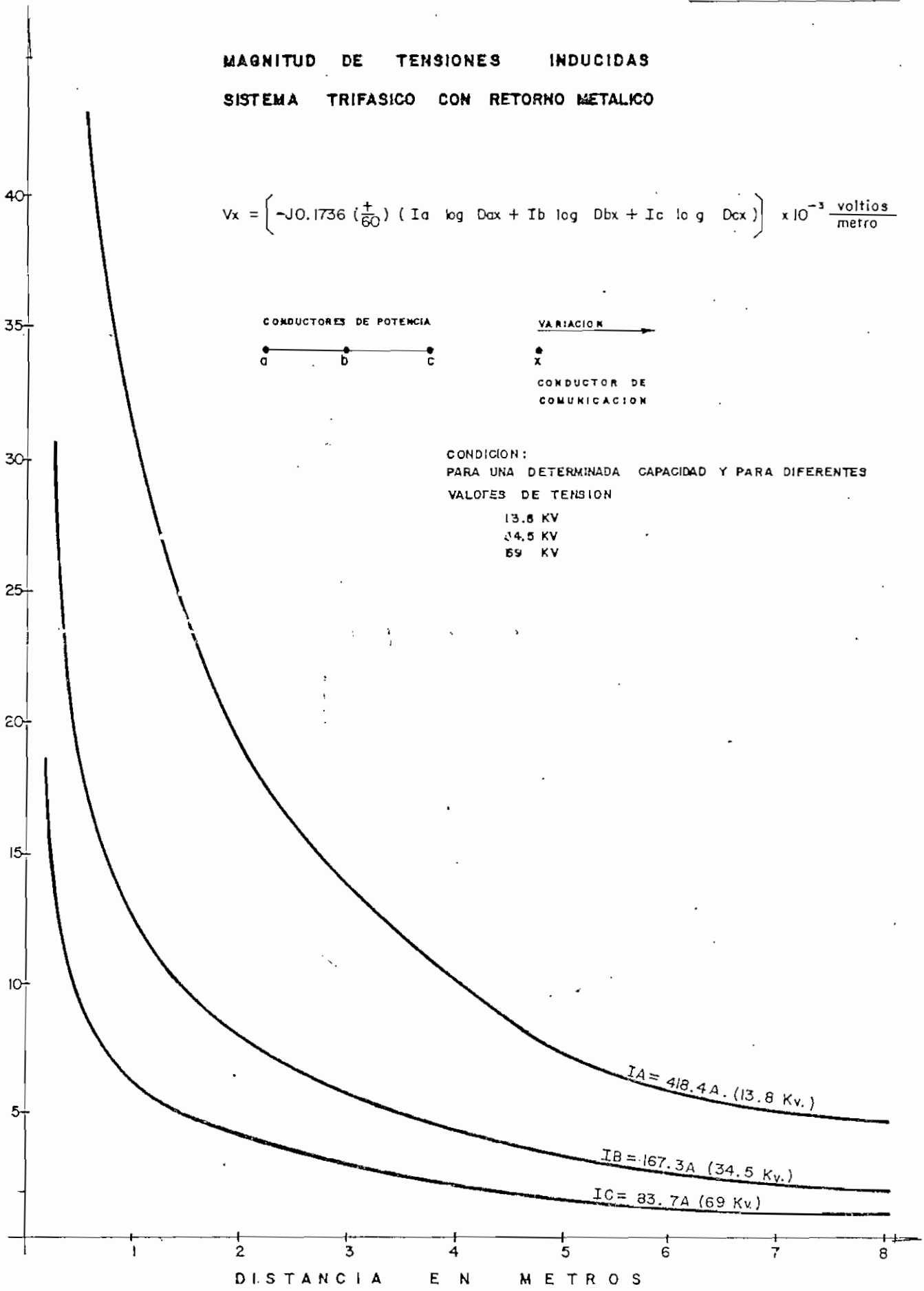


CONDUCTOR DE COMUNICACION

CONDICION:
 PARA UNA DETERMINADA CAPACIDAD Y PARA DIFERENTES
 VALORES DE TENSION

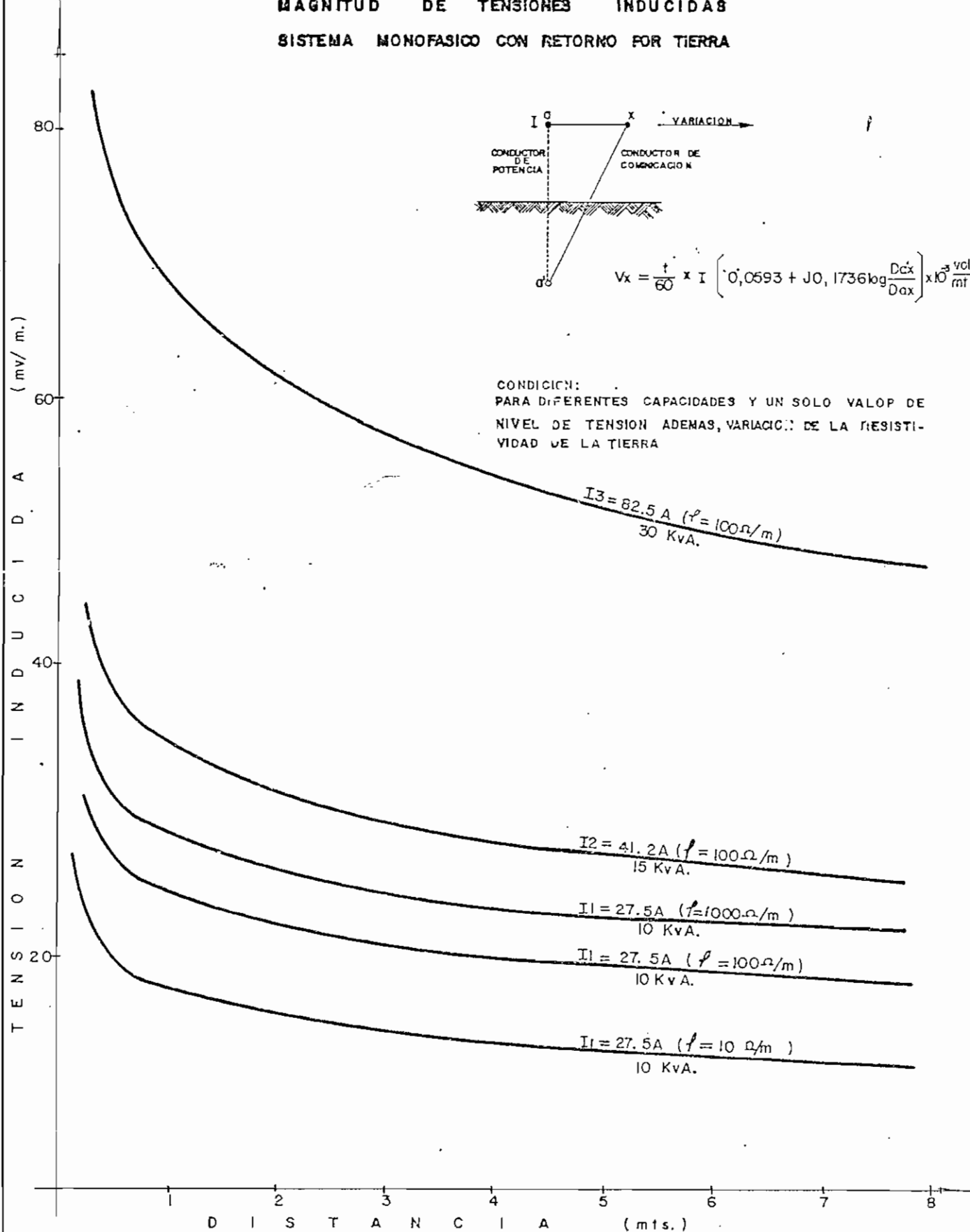
- 13.8 KV
- 34.5 KV
- 69 KV

TENSION INDUCIDA (mv/m).



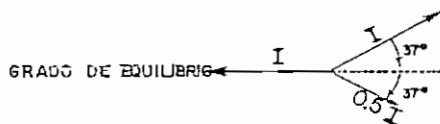
DISTANCIA EN METROS

MAGNITUD DE TENSIONES INDUCIDAS
SISTEMA MONOFASICO CON RETORNO POR TIERRA

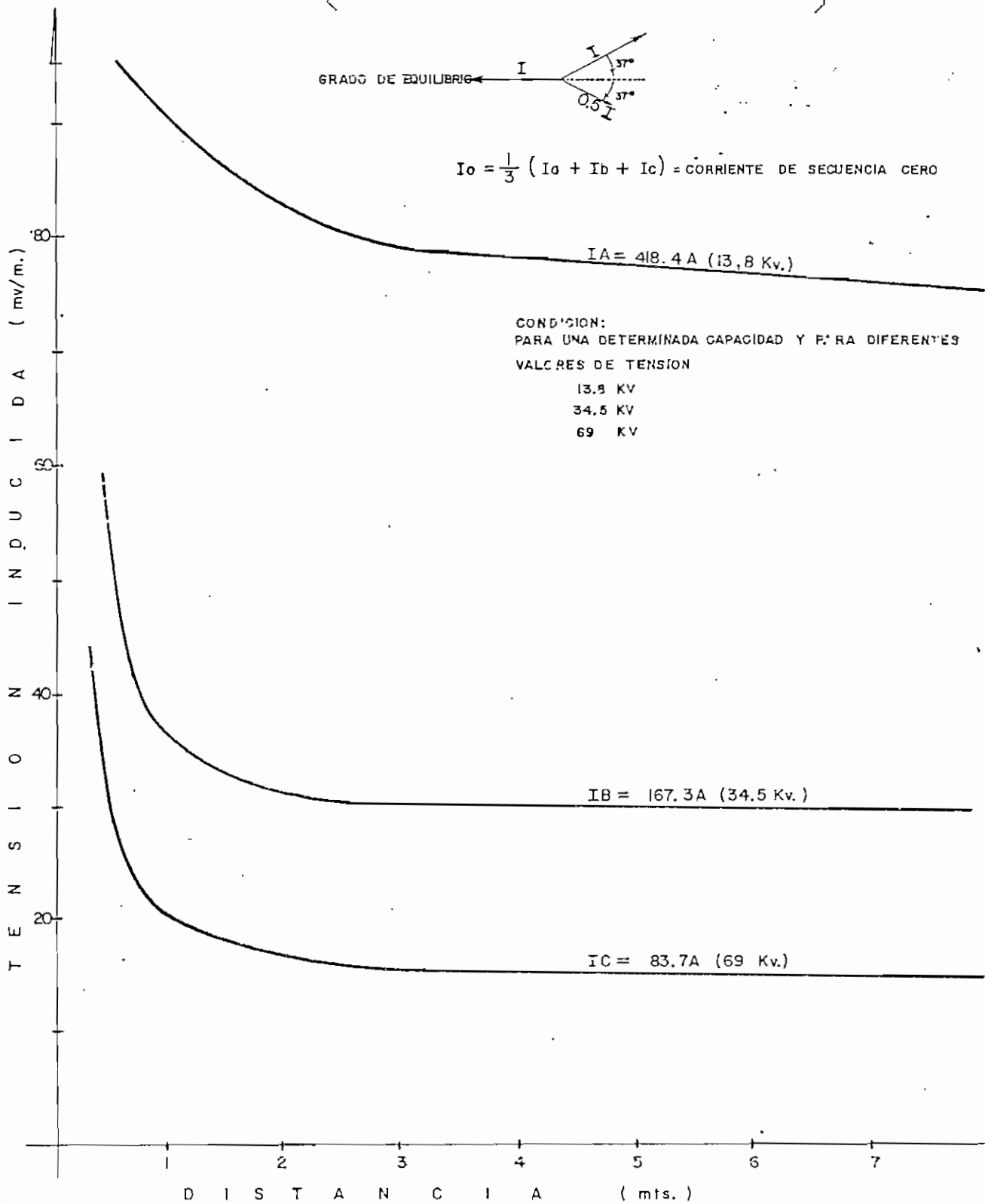


MAGNITUD DE TENSIONES INDUCIDAS
 SISTEMA TRIFASICO CON RETORNO POR TIERRA

$$V_x = \left[0.1778 \left(\frac{1}{60} \right) I_0 + J 0.1736 \left(I_a \log \frac{D_{ex}}{D_{ax}} + I_b \log \frac{D_{ex}}{D_{bx}} + I_c \log \frac{D_{ex}}{D_{cx}} \right) \right] \times 10^{-3} \frac{\text{volts}}{\text{metro}}$$



$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = \text{CORRIENTE DE SECUENCIA CERO}$$



C A P I T U L O I V

CAPITULO IV

INDUCCION A FRECUENCIAS DE RUIDO

Los campos eléctricos y magnéticos en general producen -- corrientes de ruido en un sistema telefónico. Estas extrañas -- corrientes interfieren la transmisión telefónica cuando las mismas se hallan en el rango de la frecuencia auditiva, siendo estas corrientes de una magnitud apreciable comparada con la corriente producida a voz normal.

Los problemas de Inducción a frecuencias de ruido con -- templan los mismos factores básicos que aquellos analizados para los problemas de inducción a baja frecuencia, es decir, influencia de las características del circuito de potencia, acoplamiento entre los dos circuitos y susceptibilidad del circuito de comunicación telefónica.

De modo general, las frecuencias en el problema de Induc-- ción a frecuencias que causan ruido son las frecuencias de las -- armónicas, las cuales operan en los sistemas de potencia. Estas armónicas son producidas en las máquinas rotativas (generadores), saturación en los circuitos magnéticos (transformadores) como -- también debido a las características de impedancia (transmisión).

* IV.1 FACTORES DE INFLUENCIA DEL SISTEMA DE POTENCIA

// Los dos principales factores de influencia del sistema de potencia sobre el sistema de comunicación telefónica son los si-

guientes:

- Forma de onda de las tensiones como de las corrientes - del sistema de potencia y del equipo conectado al mismo.
- Equilibrio de las líneas de potencia y características - de la carga conectada.

Las armónicas de las tensiones como de las corrientes producidas por estos factores se dividen en dos grupos generales que son: componentes triples y componentes no triples.

COMPONENTES TRIPLES

Son aquellas armónicas que tienen una frecuencia igual, a un múltiplo de tres de la frecuencia fundamental, es decir, frecuencias de 180, 360 Hz. etc., estas armónicas se hallan en fase con los componentes fundamentales de un sistema trifásico y se manifiestan en estas líneas como componentes residuales, entendiéndose como tales, a las componentes de las tensiones como de las - corrientes de un circuito de potencia cuya suma vectorial es diferente de cero.

COMPONENTES NO TRIPLES

Son aquellas armónicas que tienen como frecuencia valores que no son múltiplos de tres de la frecuencia fundamental, es decir, frecuencias como 300, 420, 660 Hz., etc., estas armónicas se hallan desfasadas 120 en el sistema trifásico y se manifiestan en estas líneas como componentes equilibradas, entendiéndose como tales, a aquellos componentes de las tensiones o corrientes

del circuito de potencia cuya suma vectorial es cero. Debido al desequilibrio entre líneas y equipos, pueden también manifestarse como componentes residuales.

IV.2 CARACTERISTICA DE FORMA DE ONDA DE LOS SISTEMAS DE POTENCIA.

Los sistemas de potencia normalmente operan con la frecuencia de 60 Hz. sin embargo, existen sistemas que operan a una frecuencia más baja como 50 Hz. Las características de forma de onda de un sistema de Potencia son influenciadas principalmente por las armónicas generales en las máquinas rotativas.

Las tensiones y corrientes de armónicas de un sistema de potencia pueden ser evaluadas como se mencionó anteriormente en función de las características de forma de onda de las máquinas rotantes, transformadores, rectificadores como de los parámetros propios del sistema.

En el cálculo de la impedancia característica del sistema de potencia a la frecuencia de armónicas se hace una representación aproximada de una malla II por medio de parámetros distribuidos como se indica en la fig. N^o IV - 1.

./.....

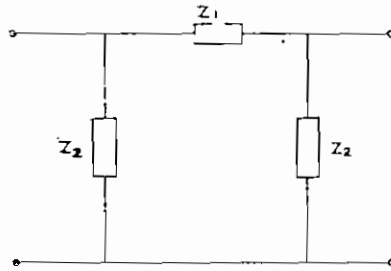


Fig. IV-1 Impedancia característica del sistema de potencia a frecuencias de armónicas.

$$Z_1 = \text{Impedancia en serie } jh X_s \frac{\sin \theta}{\theta} \quad \Omega_s. \quad (\text{IV-1})$$

$$Z_2 = \text{Impedancia en paralelo } -j \frac{X_c \theta}{h \tan \frac{\theta}{2}} \quad \Omega_s. \quad (\text{IV-2})$$

$$\theta = \text{Angulo de la línea calculada } hl \sqrt{\frac{X_s}{X_c}} \quad (\text{IV-3})$$

X_s = Reactancia inductiva en serie $\Omega/km.$

X_c = Reactancia capacitiva en paralelo $\Omega/km.$

h = Orden de la frecuencia de las armónicas

Con este circuito equivalente para las líneas más las características de inductancia y capacitancia a los aparatos, un nuevo circuito equivalente del sistema se obtendrá para cada frecuencia de armónica.

El efecto de las armónicas se manifiesta como tensiones internas e inductancias internas, por consiguiente, las condiciones de forma de onda sobre un problema particular de coordinación debe calcularse convenientemente.

El tipo de conexión del punto neutro del sistema es un factor determinante en la distribución de armónicas.

IV.3 FACTORES DE ACOPLAMIENTO POR INDUCCION A FRECUENCIA DE RUIDO.

Los factores de acoplamiento por inducción eléctrica y magnética a frecuencias de ruido son calculados con una ligera modificación de los métodos citados anteriormente para los factores de acoplamiento a baja frecuencia. Los factores de acoplamiento eléctrico pueden ser utilizados directamente, ya sea para circuitos que tienen retorno por tierra o para aquellos sistemas que no tienen conexión a tierra.

Los factores de acoplamiento magnético son proporcionales a la frecuencia, en lo referente a circuito con retorno por tierra, es necesario tomar en cuenta la profundidad equivalente de la corriente de retorno. El método más importante para la reducción de los efectos inductivos a frecuencia de ruido se obtienen por medio de las transposiciones, particularmente en los circuitos telefónicos.

./.....

IV.3.1 CURVAS DE PONDERACION DE FRECUENCIA.-

Resulta dificultoso el hacer una evaluación --- completa de magnitudes inducidas en el sistema telefónico en ; lo que respecta al problema de Inducción a frecuencias que cau san ruido, debido a que muchas de las frecuencias de las armó nicas se hallan presentes.

Es ventajoso encontrar un simple factor, el cual re presente los efectos de todas las frecuencias presentes, este propósito se logra mediante el uso de curvas de ponderación de frecuencias.

Para la determinación de tales curvas se han tomado en cuenta los siguientes factores:

1. Acoplamiento entre el circuito de potencia y el cir cuito telefónico.
2. Características de respuesta frecuencia del circui to telefónico particularmente en el receptor telefó nico.
3. Normas de combinación debido a efectos de algunas - frecuencias.
4. Características del oído humano por hallarse dentro de las percepciones del sonido (frecuencia auditi va).
5. Análisis del efecto del ruido telefónico, el cual - afecta a la recepción, ocasionando una señal no in teligible.

IV.4 FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD A LA FRECUENCIA DE RUIDO.

Los problemas de inducción a frecuencia de ruido como a baja frecuencia son simplificados si la relación de corrientes - inducidas a corrientes de señal a transmitirse son de magnitud reducida.

Uno de los métodos más comunes para controlar la relación anteriormente mencionada es aumentar el nivel de señal de audio - en el transmisor de tal manera que, se sitúe por encima del ruido producido en el circuito telefónico.

También pueden ser utilizados amplificadores para incrementar la señal a transmitirse, debe aclararse que éstos se caracterizarán por una relación más baja de ruido e niveles de audio.

Cualquiera de estas dos posibilidades pueden ser empleadas en el sistema telefónico dependiendo su selección tanto desde el punto de vista técnico como económico.

La simetría de los conductores en el circuito telefónico - tanto en sus características físicas como su configuración y disposición desempeñan un factor de gran importancia desde el punto de vista de inducción de tensiones inducidas.

En el circuito telefónico la máxima susceptibilidad hacia la inducción de tensiones provenientes de los circuitos de potencia, son aquellos circuitos que tienen retorno por tierra, en los circuitos con conductores metálicos se reduce un poco el problema,

dependiendo sobre todo de la separación entre los dos circuitos como también del paralelismo y el tipo de aislamiento que tenga el circuito telefónico.

La utilización de cables blindados simplifica el -- problema de inducción a frecuencia de ruido como a baja frecuencia.

C A P I T U L O V

C A P I T U L O V

E X P E R I M E N T A C I O N

V.1 OBJETO

Este experimento tiene por objeto ((visualizar y cuantificar la forma de onda aparecida en el sistema de comunicación telefónica como consecuencia de la inducción eléctrica proveniente de los sistemas de potencia; 2))

El experimento comprende también el análisis de armónicas contenidas en dichas formas de onda como también la magnitud de éstas, las cuales aumentan la magnitud de tensión inducida en la comunicación telefónica, manifestándose por consiguiente en ruido y diafonía.

Dicha experimentación se basa en la elaboración de un modelo reducido, y el fenómeno a considerar es el efecto corona ocasionado en las líneas de transmisión de energía.

Los resultados obtenidos serán favorables desde el punto de vista de protección de los sistemas de comunicación telefónica, ya que de este modo se evita el peligro de destrucción tanto del equipo, como del personal que tiene contacto con dichas instalaciones.

V.2 MODELO

La ventaja de hacer una investigación en un modelo reducido radica en que se permite simular el fenómeno en estudio para condiciones controladas. En el presente estudio las condiciones controladas son la variación de tensión y la variación de distancia del conductor de comunicación telefónica respecto al conductor

de potencia. El fenómeno a simular es el efecto corona el cual se produce en las líneas de transmisión de energía por una distorsión del campo eléctrico.

Para la elaboración de dicho modelo se tomo en cuenta las disponibilidades del laboratorio de alta tensión, del equipo y materiales disponibles. La línea de transmisión fue simulada por conductores de cobre de 2.5 mts. de longitud y de diferentes galgas. La línea de comunicación telefónica fue simulada por un conductor esmaltado de cobre de la misma longitud que en el caso anterior. y galga Nº 22.

puede realizarse
V.2.1 EQUIPO .- El montaje se realizó con el equipo disponible en el laboratorio de alta tensión, ^{un} (utilizándose para el efecto el tablero de control y medida, un transformador, dos cadenas de aisladores en suspensión para sujeción de la línea de potencia, dos bushings (conectores) exentos de corona, también dispositivos con sus respectivos terminales para la colocación del conductor de comunicación telefónica, un osciloscopio de rayos catódicos en el cual se observará la forma de onda como consecuencia de la inducción eléctrica de la línea de potencia, además se dispone de un filtro de banda el cual se intercala entre la línea de comunicación telefónica y el osciloscopio.) Lo descrito anteriormente se puede observar en la fotografía Nº 1 y en el esquema unifilar de disposición de equipos. *oído*

V.2.2 SELECCION DE CONDUCTORES .- Para determinar los conductores que representarán al sistema de potencia en al experimento, se hicieron algunos cálculos preliminares. En la fig. V-1 en la cual se representa un conductor en sentido paralelo al plano de tierra, - *73*

la altura de montaje del conductor es mucho mayor que el diámetro - del conductor, bajo estas condiciones de líneas aéreas se puede apli- car las siguientes fórmulas para el cálculo de tensión de corona.

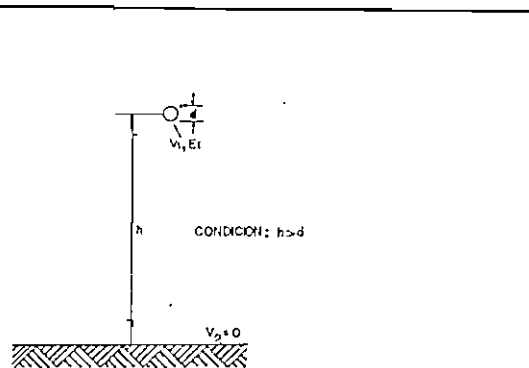


Fig. V-1 Disposición del conductor de potencia respecto a tierra.

$$E_0 = 30m\delta \left(1 + \frac{0.426}{\sqrt{\delta d}} \right) \text{ KV/cm} \quad \text{V-1}$$

$$V_0 = E_0 \left(\frac{d}{2} \right) \text{Ln} \left(\frac{4h}{d} \right) \text{ KV} \quad \text{V-2}$$

$$\delta = \frac{3.86b}{273+t} \quad \text{V-3}$$

E_0 = Gradiente de potencial crítico

m = Factor de rugosidad

δ = Densidad relativa del aire

d = Diámetro del conductor (mm.)

h = Altura de montaje de la línea (mm.)

V_0 = Tensión de inicio de corona

b = Presión a la cual se realiza el experimento ---
(548 mm. Hg)

t = Temperatura ambiental 23 °C

DATOS PARA EL EXPERIMENTO

Para el análisis de este caso particular se optaron los siguientes valores:

- Densidad relativa del aire bajo condiciones normales de operación ($\delta = 0.772$) Según fórmula (V-3).
- El factor de rugosidad m el cual se halla definido por la sección del conductor y el estado de superficie del mismo;
 $m = 0.8$ conductor salido
 $m = 0.68$ conductor cableado
- Altura de montaje de la línea $(h = 2.25 \text{ mts.})$

Manipulando las ecuaciones V-1 y V-2 se obtiene que los conductores a utilizarse en este experimento serán N^{os}. 6-4-2-1/0-2/0.

Los resultados se indican en la tabla N^o V-1 y lámina N^o V-1 (Disposición general del equipo foto N^o 2), pag. 72.

V.2.3 DISTANCIA MÍNIMA.- (Cuando el potencial aumenta suficientemente después de la aparición de la corona en los conductores de potencia, saltará una chispa (Descarga) entre éste último y el conductor de comunicación telefónica. Sin embargo hay una cierta separación crítica mínima de los conductores, por debajo de la cual se producirá la descarga entre ellos antes de que pueda formarse la corona.)

Peck menciona que la separación crítica por debajo de la cual se producirá la descarga sin que se inicie la corona, en conductores paralelos debe cumplir la siguiente relación $S/r = 5.65$. Donde $r =$ radio de los conductores y $S =$ separación entre sus centros.

Para este caso experimental se considera una distancia mínima de 15 cm.

V.2.4 FILTRO DE BANDA.- Su utilización tiene por objeto dejar pasar las frecuencias deseadas y atenuar las que no se desea transmitir, es decir, el filtro es transparente a las frecuencias de la banda de transmisión libre, pero es un espejo para frecuencias en la banda de atenuación. Se utiliza este filtro ya que se desea transmitir libremente frecuencias de corte inferior $F_1 = 300$ Hz. y frecuencia de corte superior $F_2 = 3.800$ Hz., mientras que las otras frecuencias tanto más altas como más bajas, se atenúan.

En la (fig. V-2) se representa esquemáticamente los parámetros del mencionado filtro.

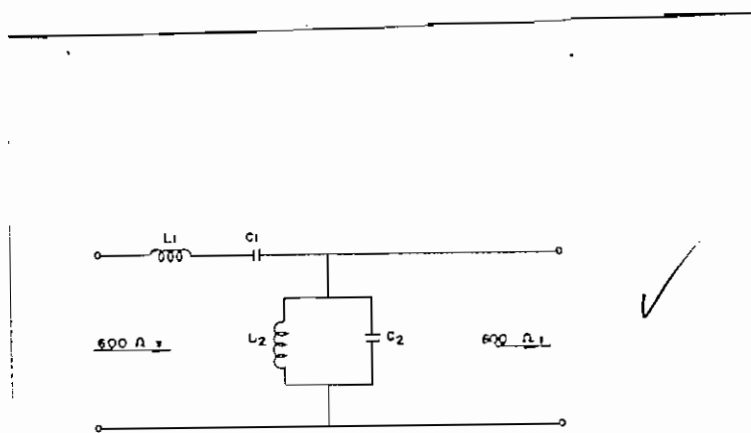


Fig. V-2 Filtro de banda de sección media T (300-3.800)Hz.

$$L_1 = \frac{R}{(f_2 - f_1)} = 54.567 \text{ m H.} \quad (V - 4)$$

$$L_2 = \frac{(f_2 - f_1) R}{4 \pi f_1 f_2} = 146.589 \text{ m H.} \quad (V - 5)$$

$$C_1 = \frac{(F_2 - F_1)}{4\pi R F_1 F_2} = 0.4071 F \quad (V - 6)$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi R (F_2 - F_1)} = 0.1515 F \quad (V - 7)$$

$$L \text{ (m H)} = n^2 \Delta L \quad (V - 8)$$

DATOS DE DISEÑO

R = Resistencia de carga 500 Ω s

F₁ = Frecuencia de corte inferior 300 Hz.

F₂ = Frecuencia de corte superior 3.800 Hz.

ΔL = Constante para bobinas cortas 400

n = Número de vueltas del enrollamiento

RESULTADOS

$$L_1 = 54.567 \text{ m H.} \quad n_1 = 369 \text{ vueltas}$$

$$L_2 = 146.589 \text{ m H.} \quad n_2 = 606 \text{ vueltas}$$

$$C_1 = 0.4071 F.$$

$$C_2 = 0.1515 F.$$

Con estos parámetros C₁, C₂, L₁, L₂ se ha diseñado el filtro de banda, el cual se intercalará entre la línea de comunicación y el osciloscopio de rayos catódicos.

En la foto N^o 3 se ilustra el filtro en mención, pag. 73.

V.2.4.1 PRUEBAS. (Una vez diseñado el filtro conviene hacer las pruebas de frecuencia, es decir, las frecuencias a las cuales el filtro debe operar. En la fig. ²⁾ ~~V-3~~ se representa un esquema general de conexiones.) (Incluir figura pag 58) //

El resultado de ésta prueba se indica en la tabla N^o V-2 y lámina N^o V-2 en la cual se observa que existe un cierto rizado, de

bido a fallas en la construcción y en la cual se observa la banda de frecuencia de operación. Con todos los resultados anteriores se empieza el experimento tomando en cuenta siempre que no exista fuga de la señal.

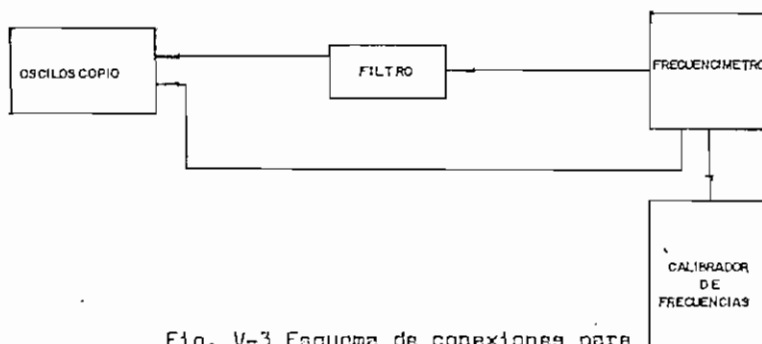


Fig. V-3 Esquema de conexiones para la prueba de frecuencias del filtro de banda.

V.3 ANÁLISIS DE LA FORMA DE ONDA

((Este análisis tiene por objeto visualizar la forma de onda aparecida en el osciloscopio para de este modo determinar la magnitud de las diferentes componentes de armónicas así como también el número de las mismas. La forma de onda cambia de acuerdo a la variación del nivel de tensión de suministro, distancia entre los dos sistemas y de acuerdo a las características de los conductores, es decir, que para cada valor de tensión, distancia y conductor existe

una onda diferente.

Debido a que estas funciones no pueden expresarse analíticamente, se considera la integración gráfica o numérica para el cálculo de los coeficientes de la serie de Fourier.

La forma de onda que aparece en el osciloscopio para cada caso particular puede decirse que tiene simetría de media onda, - por lo tanto aparecerá únicamente armónicas impares. Esta afirmación se fundamenta en que, el semiperíodo positivo es idéntico al semiperíodo negativo (Igual área y forma) //

~~ww~~ El método de Fisher Hiknen, constituye un método mucho más simple para el estudio de armónicas bajo estas condiciones, el mismo que consiste de muestreo de la onda en puntos específicos y ecuaciones matemáticas. //

V.3.1 MÉTODO DE FISHER HIKNEN. - Fue éste el método utilizado para el análisis de la forma de onda, sin embargo, se tubo una evaluación de este método con el de integración gráfica, dichos resultados no fueron totalmente idénticos pero se hallaban en un rango de ponderación $\pm 5\%$, lo cual se considera aceptable. (Como se menciona anteriormente este método es menos tedioso y se fundamenta en muestreo de la onda en puntos específicos y ecuaciones matemáticas.)

NO

$$A_n = \frac{1}{n} (Y_4 + Y_8 + Y_{12} + \dots + Y_{2n-2} - Y_2 - Y_6 - Y_{10} - \dots - Y_{2n-4}) \quad (V-9)$$

$$B_n = \frac{1}{n} (Y_1 + Y_5 + Y_9 + \dots + Y_{2n-1} - Y_3 - Y_7 - Y_{11} - \dots - Y_{2n-3}) \quad (V-10)$$

$$C_n^2 = A_n^2 + B_n^2 \quad (V-11)$$

$$A_1 = Y_0 - A_3 - A_5 - A_7 - \dots - A_n \quad (V-12)$$

$$B_1 = Y_3 + B_3 - B_5 + B_7 - \dots + B_n \quad (V-13)$$

$$C_1^2 = A_1^2 + B_1^2 \quad (V-14)$$

A_n y B_n = Ordenadas de las enésimas armónicas

A_1 y B_1 = Ordenadas correspondientes a la primera armónica fundamental

C_n = Ordenada máxima de la enésima armónica

C_1 = Ordenada máxima de la primera armónica fundamental.

Y_1, Y_2, \dots, Y_n = Ordenadas en puntos específicos a lo largo de un semiperíodo de la forma de onda

Y_0 = Ordenada en el punto de origen

PROCEDIMIENTO

A manera de ejemplo se describe a continuación el procedimiento de cálculo seguido para este análisis.

La onda aparecida en la lámina N^o V-3 se ha dividido en 2n partes iguales para analizar cada tipo de armónicas, a continuación se miden las ordenadas correspondientes dando como resultado el siguiente:

Cabe mencionar que el análisis se hace para un conductor de potencia N^o 1/0 AWG., para una tensión de suministro al sistema de 60 KV., variación vertical y una distancia de 60 cm. entre los dos sistemas.

Además se ha dividido el un semiperíodo de la onda en estudio en tal forma que nos de unicamente armónicas impares.

MAGNITUD DE LAS GRDENADAS DE LA CNDA EN ESTUDIO

Ref.: lámina Nº V-3

N = 3	N = 5	N = 7	N = 9
$Y_0 = 0.00$	$Y_0 = 0.00$	$Y_0 = 0.00$	$Y_0 = 0.00$
$Y_1 = 0.42$	$Y_1 = 0.39$	$Y_1 = 0.30$	$Y_1 = 0.23$
$Y_2 = 0.43$	$Y_2 = 0.48$	$Y_2 = 0.42$	$Y_2 = 0.38$
$Y_3 = 0.69$	$Y_3 = 0.47$	$Y_3 = 0.45$	$Y_3 = 0.42$
$Y_4 = 1.13$	$Y_4 = 0.48$	$Y_4 = 0.47$	$Y_4 = 0.43$
$Y_5 = 0.45$	$Y_5 = 0.70$	$Y_5 = 0.46$	$Y_5 = 0.42$
$Y_6 = 0.00$	$Y_6 = 0.97$	$Y_6 = 0.52$	$Y_6 = 0.43$
	$Y_7 = 1.18$	$Y_7 = 0.70$	$Y_7 = 0.46$
	$Y_8 = 0.75$	$Y_8 = 0.80$	$Y_8 = 0.54$
	$Y_9 = 0.18$	$Y_9 = 1.08$	$Y_9 = 0.70$
	$Y_{10} = 0.00$	$Y_{10} = 1.15$	$Y_{10} = 0.84$
		$Y_{11} = 0.82$	$Y_{11} = 1.00$
		$Y_{12} = 0.33$	$Y_{12} = 1.15$
		$Y_{13} = 0.12$	$Y_{13} = 1.16$
		$Y_{14} = 0.00$	$Y_{14} = 0.92$
			$Y_{15} = 0.65$
			$Y_{16} = 0.32$
			$Y_{17} = 0.11$
			$Y_{18} = 0.00$

RESULTADOS

$A_3 = 0.2333$	$A_5 = -0.044$	$A_7 = -0.0557$	$A_9 = -0.0144$
$B_3 = 0.06$	$B_5 = 0.076$	$B_7 = -0.0014$	$B_9 = 0.0122$
$C_3 = 0.2408$	$C_5 = 0.0878$	$C_7 = 0.0557$	$C_9 = 0.0169$
$A_1 = -0.1192$	$B_1 = 0.8124$	$C_1 = 0.8211$	

% de armónicas referidas a la fundamental

(V-15)

$$\text{Valor eficaz de la onda (RMS)} = \sqrt{\frac{1}{2}(C_1)^2 + \frac{1}{2}(C_3)^2 + \frac{1}{2}(C_5)^2 + \frac{1}{2}(C_7)^2 + \frac{1}{2}(C_9)^2}$$

$$C_3/C_1 \times 100 = 29.3 \%$$

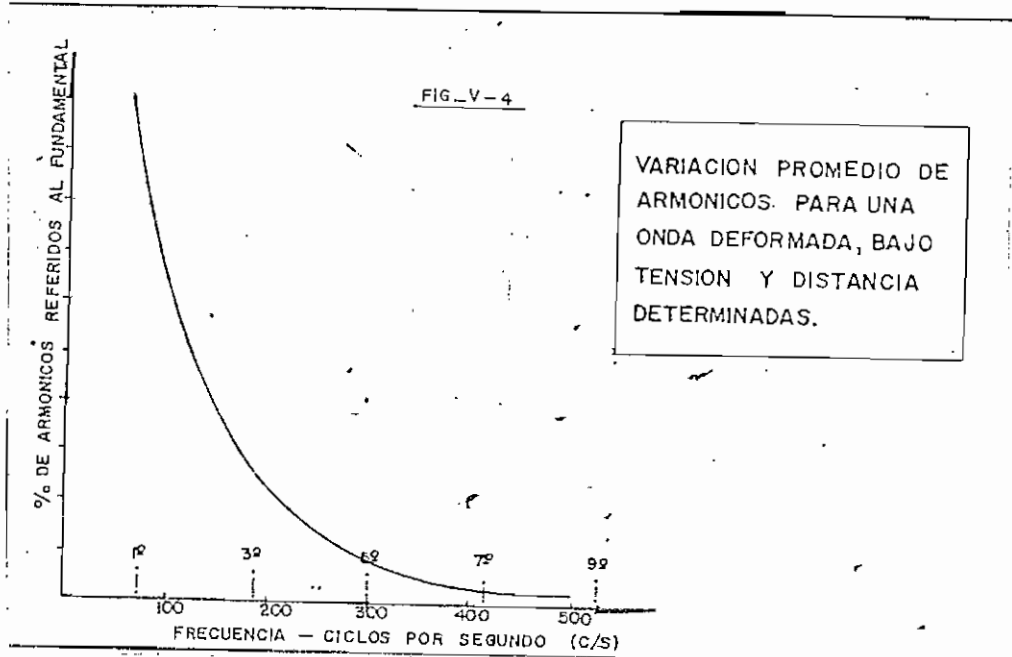
$$C_5/C_1 \times 100 = 10.7 \%$$

$$C_7/C_1 \times 100 = 6.8 \%$$

$$C_9/C_1 \times 100 = 2.3 \%$$

Si siguiendo el mismo procedimiento se ha calculado para diferentes tipos de onda cuyos resultados se dan en las tablas Nos.V-3 y 4.

En la fig. V-4 se representa una variación promedio de armónicas para una onda deformada cualquiera, bajo tensión y distancia determinada.



V.4 MAGNITUD DE TENSIONES INDUCIDAS

((Utilizando la misma disposición de equipo que en el estudio anterior, se realiza las respectivas mediciones de tensión inducida en el conductor de comunicación telefónica a través de un osciloscopio de rayos catódicos.)) Las magnitudes obtenidas se han multiplicado por un factor de reducción de 0.9, para de este modo tomar en cuenta la cantidad de armónicas presentes en la onda. (V-15)

El experimento se ha llevado a cabo para una variación del conductor de comunicación telefónica tanto horizontal como vertical, conservando siempre el sentido de paralelismo.

V.4.1 VARIACION HORIZONTAL.- La variación del conductor de comunicación telefónica para esta posición, ha empezado desde 30 cm. hasta 80 cm., en intervalos de 15 cm.. En cuanto a la variación de la tensión desde el tablero de control y medida se realizó en intervalos de 10 KV., hasta obtener la tensión de inicio de corona y algunas veces sobrepasar este valor para cada uno de los conductores empleados en el experimento (6,4,2,1/0,2/0,AWG.).

Para cada galga del conductor de potencia, es decir, el conductor cableado que se utiliza en el experimento; se ha cambiado con otros tipos de conductores como son los conductores sólidos y huecos para analizar la variación de los efectos correspondientes .

^{EN}
((Las formas de onda aparecidas en el osciloscopio se detallan en las láminas N^{os}.V-4,5,6, donde se puede apreciar la deformación de dicha onda sinusoidal que resulta ser más pronunciada cuando, la tensión de suministro al sistema aumenta y a medida que el conductor de comunicación se acerca al conductor de potencia, es decir, habrá

mayor tensión inducida para conductores de secciones menores y distancias cortas entre los conductores para una tensión determinada. - Además en estas láminas se refleja el objeto de intercalar un filtro de banda para dejar pasar las frecuencias deseadas.

Los resultados obtenidos bajo estas condiciones se registran en la tabla NR V-5 y en la lámina NR V-7, dichas gráficas se han trazado en función de la tensión inducida, de la magnitud de tensión de suministro desde el tablero de control y medida al sistema y en función de la distancia entre el conductor de potencia y el conductor de comunicación telefónica.

En la lámina NR V-8 se realizó una comparación entre dos conductores de diferente forma y para una misma galga, los conductores en mención son el NR 6 sólido (NR 6 cableado) y 1/0 cableado (1/0 hueco). De manera similar que en el caso anterior dicho trazado se realizó en función de la tensión inducida, de la tensión proporcionada al sistema así como también de la distancia entre los dos sistemas.

V.4.2 VARIACION VERTICAL.- La variación del conductor de comunicación para esta posición empezó desde 15 cm. hasta 60 cm., en intervalos de 15 cm., conservando siempre el paralelismo. En cuanto a la variación de tensión desde el tablero de control y medida se realizó en intervalos de 10 KV., hasta obtener la tensión de inicio de corona y en algunos casos sobrepasarlo, para cada uno de los conductores empleados en el experimento (6,4,2,1/0,2/0,AWG.). De manera similar a la variación horizontal, en la variación vertical se cambió de conductores de potencia. Los resultados obtenidos se observan en -

la tabla Nº V-6 y en la lámina Nº V-9.

V.5 ANÁLISIS DE LAS REPRESENTACIONES GRÁFICAS

El objetivo de este análisis es de obtener la forma de variación de la tensión inducida en función de la tensión de suministro al sistema o con relación a la distancia entre ambos sistemas, es decir, encontrar una ecuación en la cual se ligue estas magnitudes, desde luego existirá una curva para cada conductor y para condiciones de terminadas.

De las gráficas proporcionadas por las láminas Nos.V-7,8 y 9 se observa la similitud que existe entre éstas. Desde luego diferenciándose para cada tipo de conductor como de las condiciones --- impuestas para cada caso.

Se intentó primeramente representar los resultados obtenidos en papel semi-log, pero se determinó que el papel log-log era el más conveniente por representar puntos más uniformes y de esta -- forma poder trazar una línea recta según lámina Nº V-10, en la cual - se representa para varias condiciones. Del análisis anterior se deduce que la ecuación será del tipo exponencial.

$$V_i = KE^n \quad (V-16)$$

V_i = Tensión inducida en el conductor de comunicación telefónica

E = Tensión de suministro desde el tablero de control y medida hacia el sistema

n = Coeficiente determinado por la pendiente de la - recta

K = Coeficiente determinado por un punto de la recta

V.5.1 RECTA DE MINIMOS CUADRADOS.- Para evitar el juicio individual en la construcción de rectas en su ajuste de datos, es necesario obtener una definición de la mejor recta de ajuste (recta de mínimos cuadrados).

La recta de aproximación por mínimos cuadrados del conjunto de puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ tiene la ecuación ---
 $Y = a_0 + a_1 X$ (V-17) donde los constantes a_0 y a_1 , se determinen mediante el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\Sigma Y = a_0 N + a_1 \Sigma X \quad (V-18)$$

$$\Sigma X = a_0 \Sigma X + a_1 \Sigma X^2 \quad (V-19)$$

$$a_0 = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (V-20)$$

$$a_1 = \frac{N \Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (V-21)$$

CALCULOS

Como un ejemplo citaremos el siguiente:

Conductor 1/0 cableado AWG.

Distancia 30 cm.- variación horizontal.

Variación de tensión de suministro de 10 a 70 KV.

Variación de tensión inducida desde 2.9 a 108 V/m.

Las relaciones no lineales pueden reducirse a veces a relaciones lineales mediante una adecuada transformación de los variables, como se menciono anteriormente la ecuación es de forma exponencial del tipo

$$V_i = KE^n$$

$$\log V_i = \log K + n \log E \quad (Y = a_0 + a_1 X) \quad (V-22)$$

Cambio de variables :

$$Y = \log V_i \quad X = \log E \quad a_0 = \log K \quad n = a_1 \quad ;$$

Los resultados de este proceso se indican en las páginas siguientes como resumen de cálculos.

V.6 CONCLUSIONES

El análisis efectuado en este estudio es para tensiones cercanas a la tensión de corona y para diferentes conductores bajo determinadas condiciones. La forma de onda se deforma cada vez más - conforme se acerca la tensión de corona, pasada esta tensión la onda sigue deformándose aún más y por lo tanto, la cantidad de armónicas contenidas aumenta.

Como resultado del estudio anterior podemos concluir lo siguiente:

- 1).- La variación de la magnitud de tensión inducida en el conductor de comunicación telefónica adquiere - valores mayores para la posición horizontal que para la posición vertical.
- 2).- Matemáticamente puede decirse que la variación de tensión inducida tiene la forma de una ecuación exponencial del tipo $V_i = KE^n$.
- 3).- La magnitud de tensión inducida en el conductor de comunicación telefónica es independiente de su --- sección.
- 4).- Las armónicas presentes en la forma de onda apare-

cida en el osciloscopio, varían de acuerdo a la magnitud de la tensión de suministro, es decir, menor tensión inducida menos cantidad de armónicas presentes. /

- 5).- La tercera armónica es la más representativa ya que constituye del 25 al 30 % de la magnitud de la onda fundamental.
- 6).- El paralelismo entre el conductor de potencia y el conductor de comunicación telefónica es un factor que afecta directamente a la magnitud de las tensiones inducidas.
- 7).- La magnitud de la tensión inducida depende de la sección del conductor de potencia, obteniéndose valores altos para secciones menores.
- 8).- Para una misma galga de conductor de potencia, la magnitud de tensión inducida es menor para conductores huecos que para conductores cableados.
- 9).- Existe mayor zumbido al inicio de corona en el conductor cableado que en el conductor sólido bajo las condiciones de una misma distancia y un determinado nivel de tensión de suministro.
- 10).- La variación de tensión inducida en el conductor de comunicación telefónica es función de la distancia que existe entre los dos sistemas, es decir, para posiciones cercanas se adquiere los mayores valores.
- 11).- La variación de tensión inducida depende de la tensión de suministro al sistema.

12).- El fenómeno de corona origina perturbaciones no solamente a la comunicación telefónica sino también a la comunicación de alta frecuencia siendo este último el más afectado.

13).- La inserción del filtro de banda tiene por objeto - dejar pasar las frecuencias deseadas y atenuar las otras, la aparición de una gran gama en el osciloscopio depende de la posición del conductor de comunicación, de la tensión de operación, de la sección y forma del conductor de potencia.

DE ECUACIONES No. V-20 y V-21

$$a_0 = -1,36097$$

$$a_1 = 1,68623$$

$$Y = -1.36 + 1.69X$$

SEGUN ECUACION No. (V-22)

$\log K = a_0 \implies K = 0,04355$ POR CONSIGUIENTE LA ECUACION SERA $V_i = 0,044E^{1.69}$

PARA UN CONDUCTOR HUECO BAJO LAS MISMAS CONDICIONES ANTERIORES $V_i = 0,07E^{1.54}$

RESUMEN DE CALCULOS

REF: LAMINA No.10

CONDUCTOR A W G	FORMA TIPO	VARIACION	DISTANCIA (cm)	COEFICIENTES			ECUACION
				a_1	a_0	K	
6	SOLIDO	HORIZONTAL	45	1,70002	1,50953	0,03094	$V_i = 0,031E^{1.70}$
6	CABLEADO	HORIZONTAL	45	2,00375	1,73328	0,01848	$V_i = 0,018E^{2.00}$
6	SOLIDO	VERTICAL	60	1,56991	1,54245	0,02868	$V_i = 0,029E^{1.57}$
6	CABLEADO	VERTICAL	60	1,79143	1,73954	0,01822	$V_i = 0,018E^{1.79}$
1/0	CABLEADO	HORIZONTAL	30	1,68623	1,36097	0,04355	$V_i = 0,044E^{1.69}$
1/0	HUECO	HORIZONTAL	30	1,54378	1,15527	0,06994	$V_i = 0,070E^{1.54}$

RESUMEN DE CALCULOS

RECTA DE MINIMOS CUADRADOS

Referencia Tabla No.V-5

X (KV)	10	20	30	40	50	60	70
Y (v/m)	2.9	5.4	9.2	19.5	33.5	65.0	108.0

X = log E	Y = log Vi.	X ²	XY
1,00000	0,46240	1,00000	0,46240
1,30103	0,73239	1,69268	0,95236
1,47712	0,96379	2,18188	1,42363
1,60206	1,29003	2,56660	2,06671
1,69897	1,52504	2,88650	2,59100
1,78815	1,81291	3,19748	3,24176
$\sum X = 8,86733$	$\sum Y = 6,78656$	$\sum X^2 = 13,52514$	$\sum XY = 10,73836$

EXPERIMENTACION

FOTO N° 1

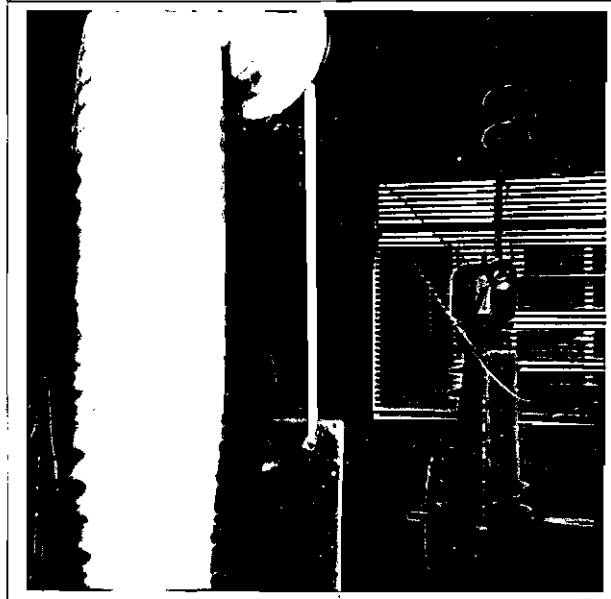
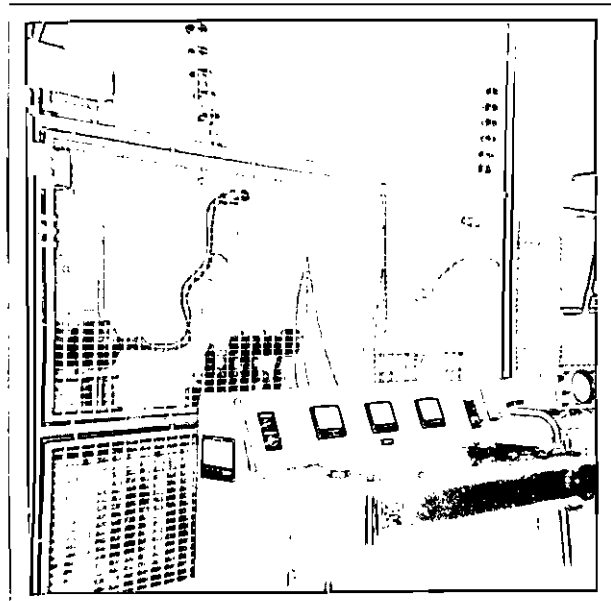
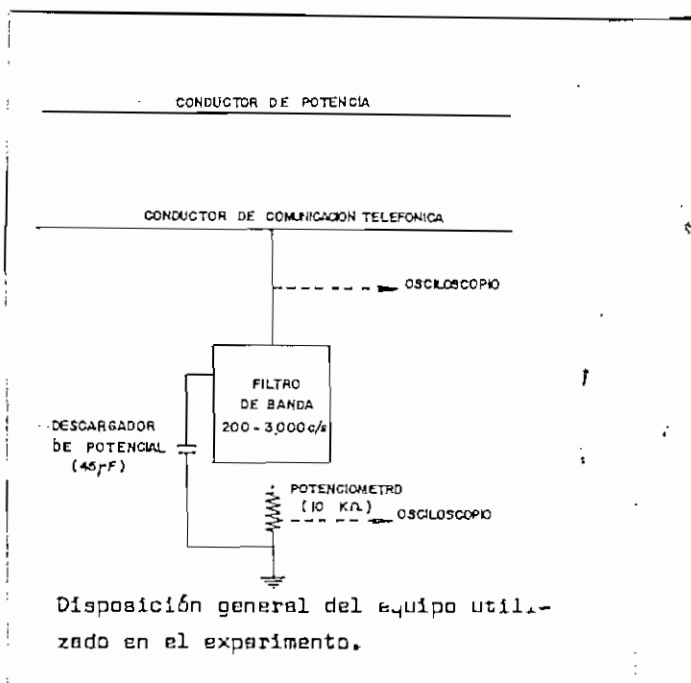
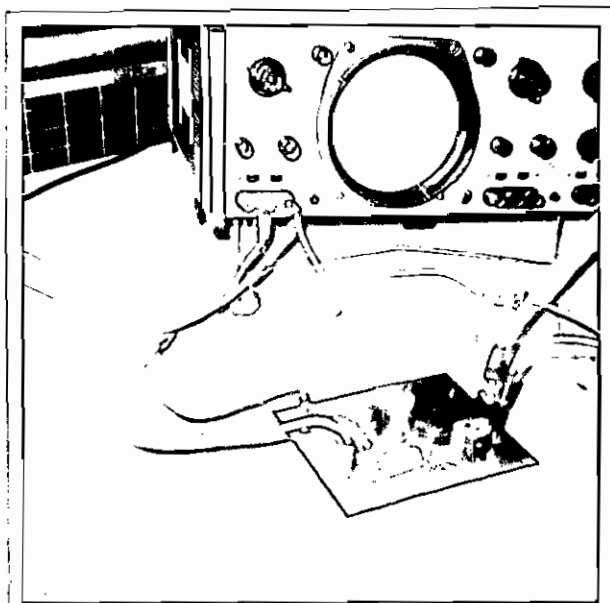


FOTO N° 2



EXPERIMENTACION

FOTO Nº 3



T A B L A N O V-1

VALORES DE GRADIENTE DE POTENCIAL Y TENSION DE CORONA PARA DIFERENTES CONDUCTORES

CONDUCTOR AWG	d (mm)	E_d KV/cm	V_0 KV
10	2.95	29.81	35.25
8	3.71	28.28	40.85
* 6	4.67	26.92	47.50
* 4	5.89	25.70	55.43
* 2	7.42	24.61	64.76
* 1/0	9.47	23.59	76.52
* 2/0	10.64	23.15	82.92
3/0	11.94	22.74	89.83
4/0	13.41	22.34	97.40

* CONDUCTORES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO

T A B L A N^o V-2VOLTAJE DE SALIDA EN P.U. EN FUNCION DE LA FRECUENCIA

FRCA. (Hz)	V. SLDA. (pu)	FRCA. (Hz)	V. SLDA. (pu)	FRCA. (Hz)	V. SLDA. (pu)	FRCA. (Hz)	V. SLDA. (pu)
200	0.14	1.200	0.96	2.200	0.92	3.200	0.51
300	0.34	1.300	0.97	2.300	0.88	3.300	0.48
400	0.60	1.400	0.98	2.400	0.84	3.400	0.44
500	0.86	1.500	0.98	2.500	0.80	3.500	0.42
600	0.97	1.600	0.99	2.600	0.76	3.600	0.39
700	0.98	1.700	0.99	2.700	0.70	3.700	0.37
800	0.97	1.800	0.99	2.800	0.66	3.800	0.35
900	0.96	1.900	0.98	2.900	0.62	3.900	0.33
1.000	0.96	2.000	0.97	3.000	0.58	4.000	0.32
1.100	0.96	2.100	0.95	3.100	0.54		

T A B L A N º V-3

VARIACION DEL % DE ARMONICAS PARA TENSION Y DISTANCIA DETERMINADAS

VARIACION HORIZONTAL

METODO: FISCHER-HIKKEN

CONDUCTOR AWG	TENSION E (KV)	VARIACION H (cm)	% DE ARMONICAS REFERIDAS A LA FUNDAMENTAL			
			3ª	5ª	7ª	9ª
6	30	45	20.5	7.9	4.2	1.2
4	50	30	24.7	12.1	5.2	1.5
2	60	60	30.1	9.3	4.1	1.2
1/0	70	60	26.5	7.3	4.9	1.4
2/0	80	80	23.2	6.9	3.9	0.9

T A B L A N O V-4

VARIACION DEL % DE ARMONICAS PARA TENSION Y DISTANCIA DETERMINADAS

VARIACION VERTICAL

METODO: FISCHER-HIKKEN

CONDUCTOR AWG	TENSION E (KV)	VARIACION V (cm)	% DE ARMONICAS REFERIDAS A LA FUNDAMENTAL			
			3º	5º	7º	9º
6	50	30	27.3	7.9	4.9	1.4
4	40	30	24.1	7.1	4.3	1.1
2	35	45	20.1	8.6	4.1	2.1
1/0	60	30	29.3	10.7	6.8	2.3
2/0	70	60	25.2	8.3	5.2	2.6

T A B L A No. V-5

MAGNITUD DE TENSIONES INDUCIDAS EN EL CONDUCTOR DE COMUNICACION TELEFONICA v/m.

VARIACION HORIZONTAL

CONDUCTOR A W G	DISTANCIA (cm)	TENSION DE SUMINISTRO AL SISTEMA (KV)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
6	30	3.4	6.6	13.0	47.4	80.5			
	45	2.8	5.2	9.6	32.0	58.0	90		
	60	2.4	4.8	8.2	28.0	46.1	83.5		
	80	1.8	3.6	6.6	25.6	35.3	67.0		
4	30	3.2	6.4	12.0	31.1	60.0			
	45	2.6	4.6	8.5	23.0	43.2	68.4		
	60	3.2	3.4	7.5	16.4	33.2	53.6		
	80	1.7	3.2	6.0	13.3	25.3	40.6	61.4	
2	30	3.0	6.0	11.1	25.2	42.6	83.0		
	45	2.5	4.2	6.4	14.1	28.5	50.2	74.2	
	60	3.0	5.6	11.0	20.9	36.4	55.2		
	80	1.6	2.9	4.6	7.8	14.3	25.8	38.7	54.2
1/0	30	2.9	5.4	9.2	19.5	33.5	65.0	108.0	
	45	2.2	4.0	6.0	8.8	17.2	34.5	54.0	115.6
	60	1.6	3.2	4.9	6.9	10.4	25.0	40.0	54.0
	80	1.4	2.6	4.0	5.5	6.8	14.4	25.5	36.0
2/0	30	2.8	4.9	8.3	14.6	25.1	43.5		
	45	2.1	3.5	4.2	5.4	9.8	20.1	34.8	
	60	1.6	2.5	3.7	4.6	7.2	15.3	25.1	37.2
	80	1.3	2.4	3.6	4.1	4.9	7.1	13.2	21.2

T A B L A No.V - 6

MAGNITUD DE TENSIONES INDUCIDAS EN EL CONDUCTOR DE COMUNICACION TELEFONICA v/m

VARIACION VERTICAL

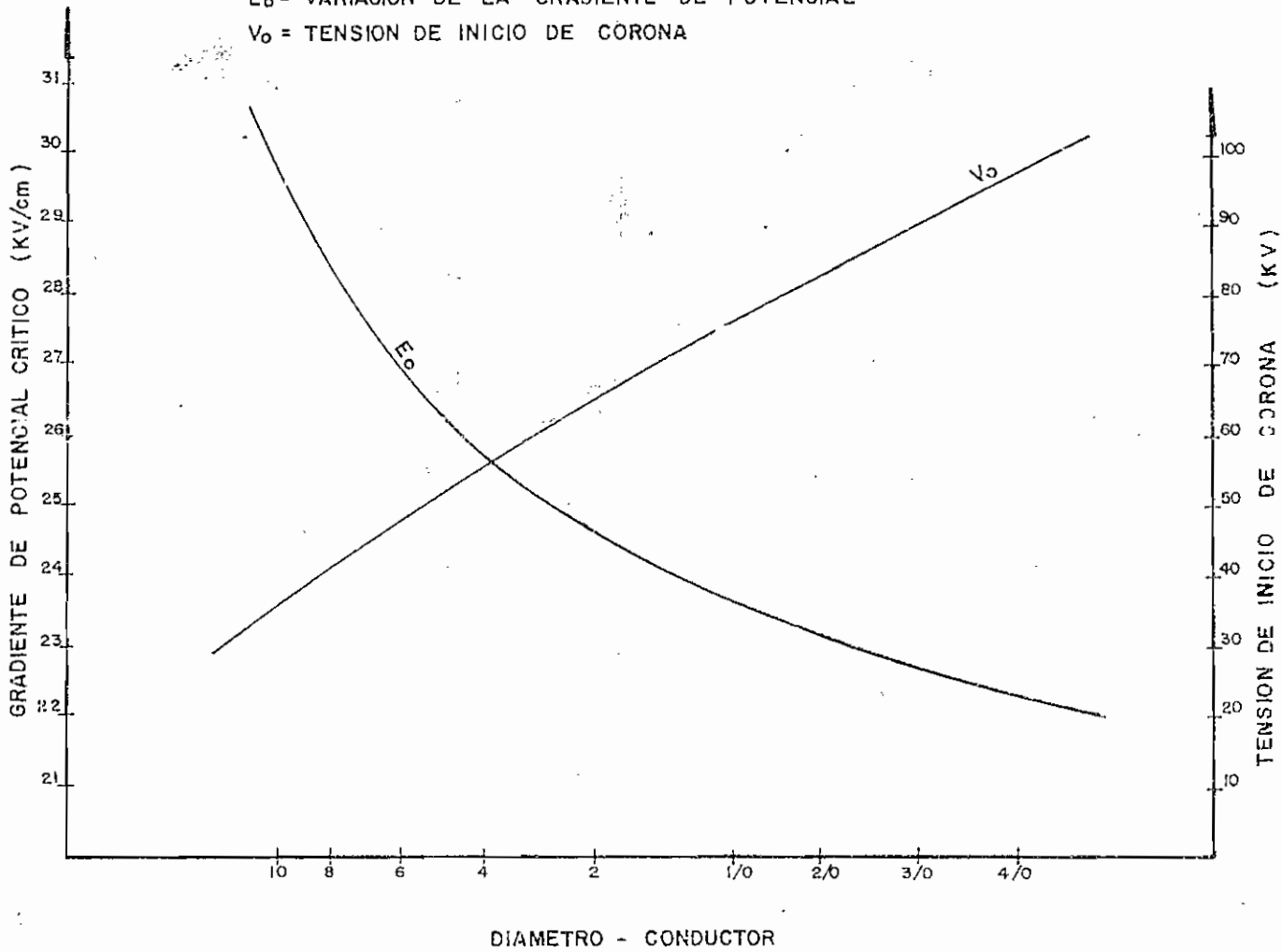
i

CONDUCTOR A W G	DISTANCIA (cm)	TENSION DE SUMINISTRO AL SISTEMA (KV)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
6	15	3.6	8.6	28.0	64.5				
	30	2.6	4.6	11.4	27.3	57.5	103.0		
	45	2.0	3.8	5.8	14.0	34.5	59.0	84.0	114.0
	60	1.6	3.2	5.0	10.4	24.5	43.0	62.0	82.0
4	15	3.4	8.1	23.2	56.1				
	30	2.5	4.5	11.0	24.0	46.4	78.1		
	45	1.9	3.6	5.4	13.2	33.5	50.4	73.2	
	60	1.5	3.0	4.7	8.4	19.1	35.1	52.2	73.0
2	15	3.3	7.2	17.7	45.6				
	30	2.4	4.4	9.6	20.7	39.9	67.1		
	45	1.8	3.4	5.1	10.5	24.2	43.0	63.5	
	60	1.4	2.8	4.4	7.1	13.2	29.1	42.9	60.0
1/0	15	3.2	6.0	15.6	38.0	85.0			
	30	2.4	4.4	7.2	17.6	33.0	58.1		
	45	1.8	3.2	4.8	8.4	16.0	31.0	50.0	70.0
	60	1.4	2.6	4.0	5.7	8.3	21.5	35.0	50.0
2/0	15	3.0	4.9	12.6	29.8	60.1			
	30	2.3	4.3	6.1	13.6	24.1	39.8		
	45	2.2	3.0	3.9	5.2	9.4	19.0	33.1	53.4
	60	1.3	2.7	3.4	4.2	6.0	11.8	21.8	31.9

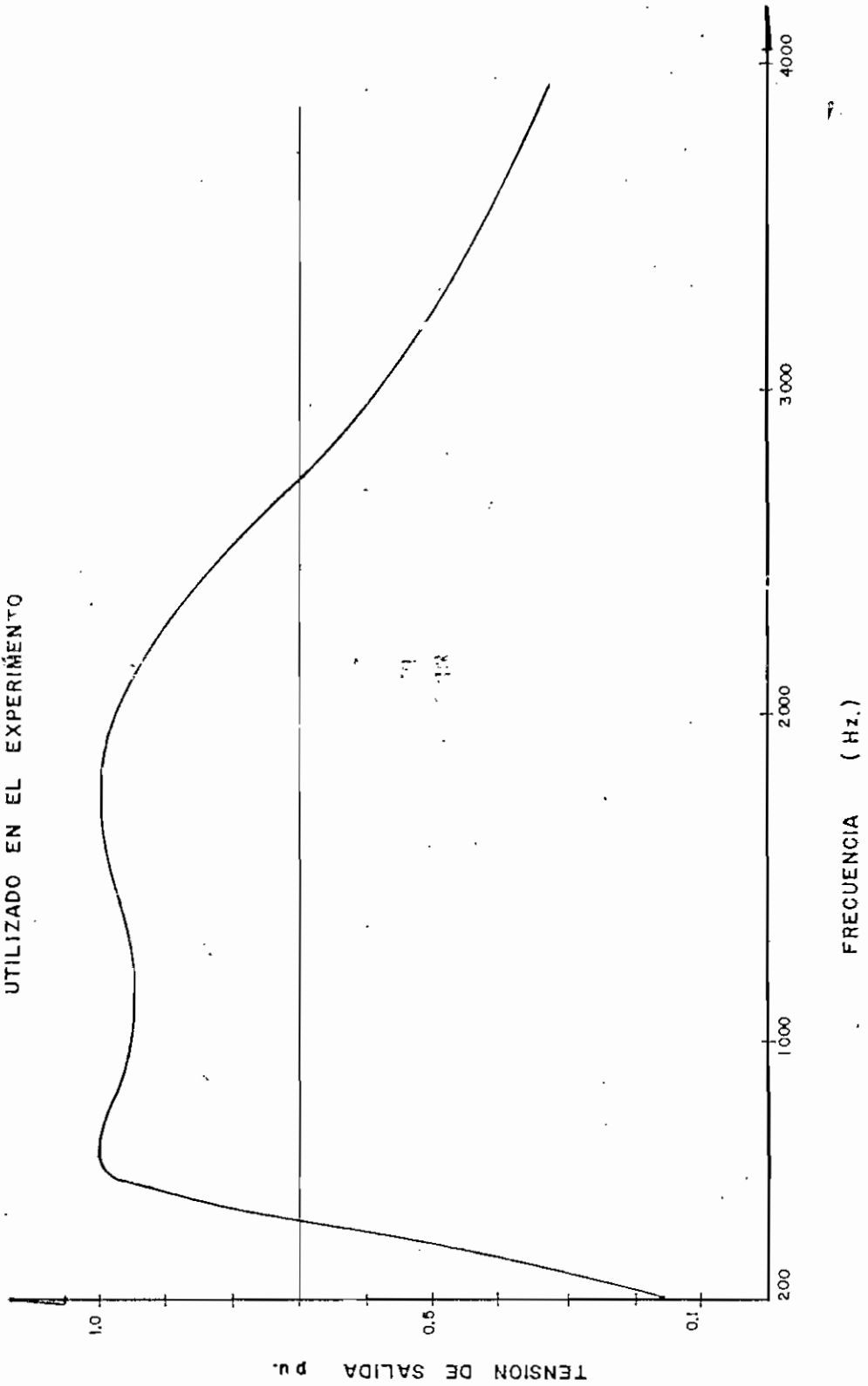
LAMINA Nº V-1

f

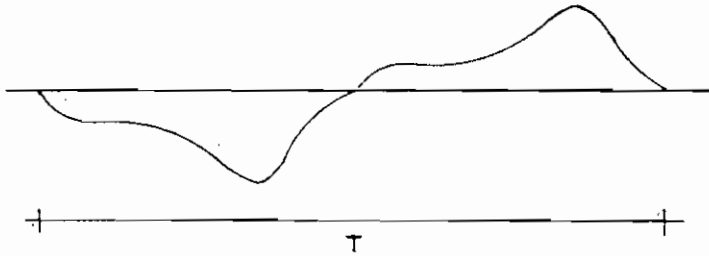
E_0 = VARIACION DE LA GRADIENTE DE POTENCIAL
 V_0 = TENSION DE INICIO DE CORONA



FORMA DE ONDA DEL FILTRO DE BANDA
UTILIZADO EN EL EXPERIMENTO



ANALISIS DE ONDA DE TENSIONES INDUCIDAS
ESTUDIO DE ARMONICOS



OSCILOGRAMA DE UNA ONDA DE TENSION
INDUCIDA, VARIACION VERTICAL.

CONDUCTOR 1/0

KV= 60

DISTANCIA = 60 cm.

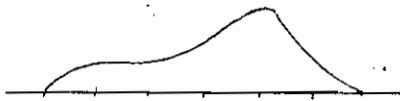
ESCALAS:

HORIZONTAL 2 m s/cm.

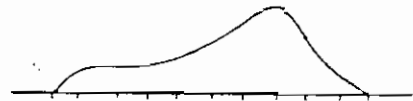
VERTICAL 10 V/cm.

METODO FISCHER - HIKKEN

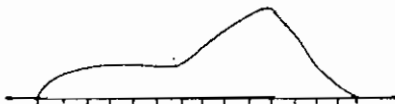
N=3



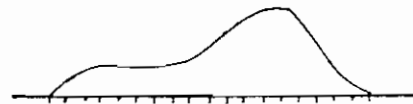
N=5



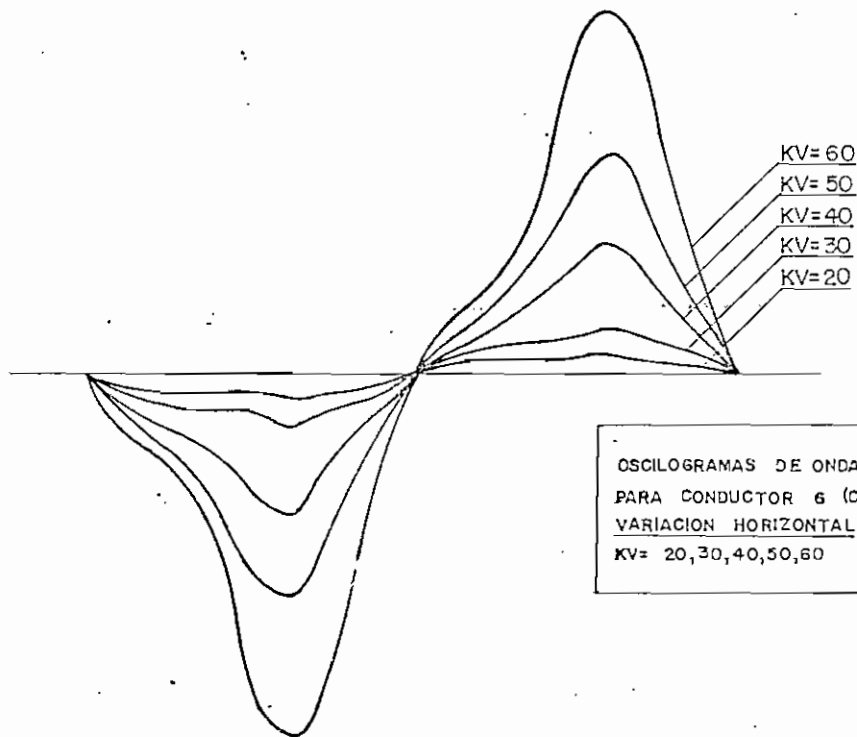
N=7



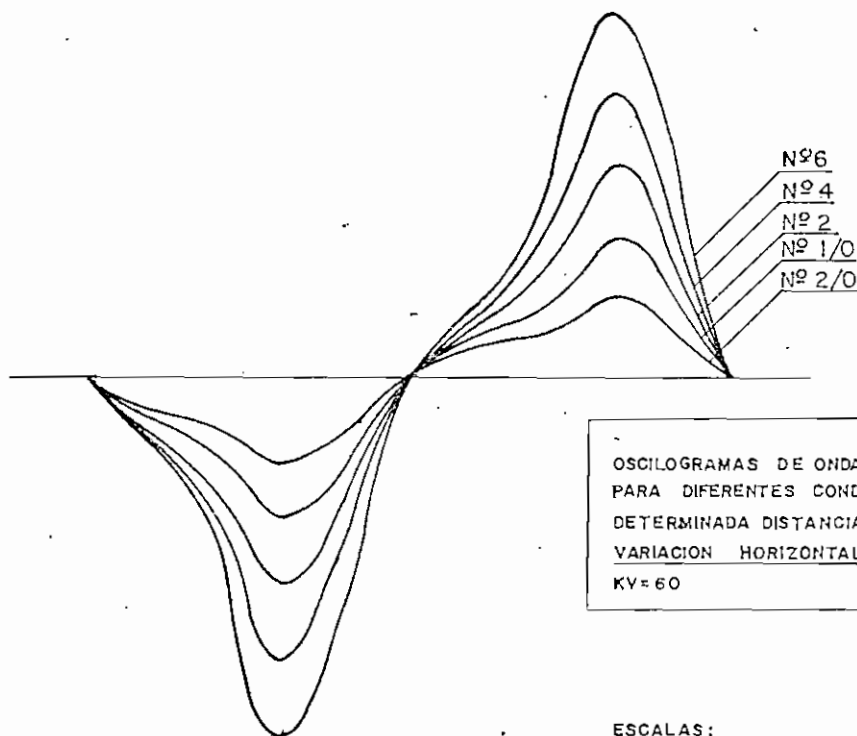
N=9



FORMAS DE ONDA APARECIDAS
EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO



OSCILOGRAMAS DE ONDAS DE TENSION
PARA CONDUCTOR 6 (CABLEADO)
VARIACION HORIZONTAL 15 cm
KV= 20,30,40,50,60

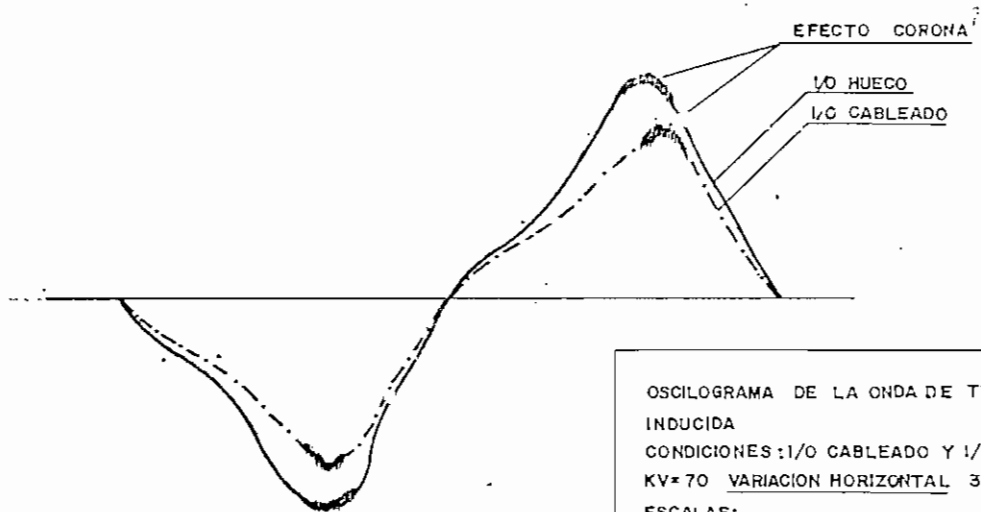


OSCILOGRAMAS DE ONDAS DE TENSION
PARA DIFERENTES CONDUCTORES, A UNA
DETERMINADA DISTANCIA Y TENSION.
VARIACION HORIZONTAL 45 cm.
KV= 60

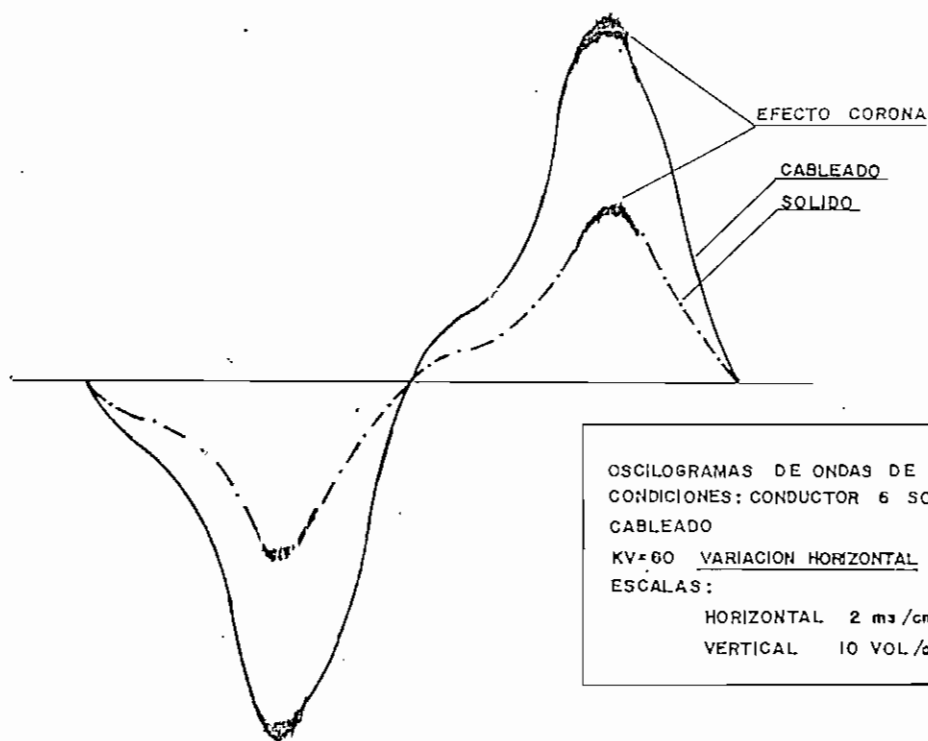
ESCALAS:

HORIZONTAL 2 ms/cm
VERTICAL 10 V/cm

VARIACION DE CARACTERISTICAS DE CONDUCTORES

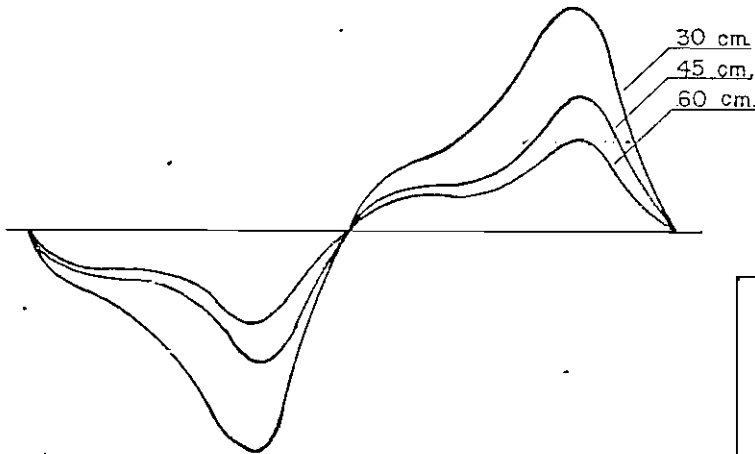


OSCILOGRAMA DE LA ONDA DE TENSION
INDUCIDA
CONDICIONES: 1/0 CABLEADO Y 1/0 HUECO
KV=70 VARIACION HORIZONTAL 30 cm.
ESCALAS:
HORIZONTAL 2 ms/cm.
VERTICAL 20 VOL/cm.

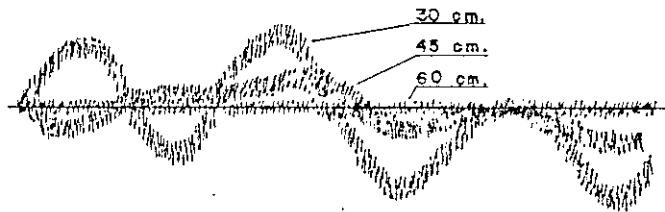


OSCILOGRAMAS DE ONDAS DE TENSION
CONDICIONES: CONDUCTOR 6 SOLIDO Y
CABLEADO
KV=60 VARIACION HORIZONTAL 45 cm.
ESCALAS:
HORIZONTAL 2 ms/cm.
VERTICAL 10 VOL/cm.

CONDICIONES VARIAS

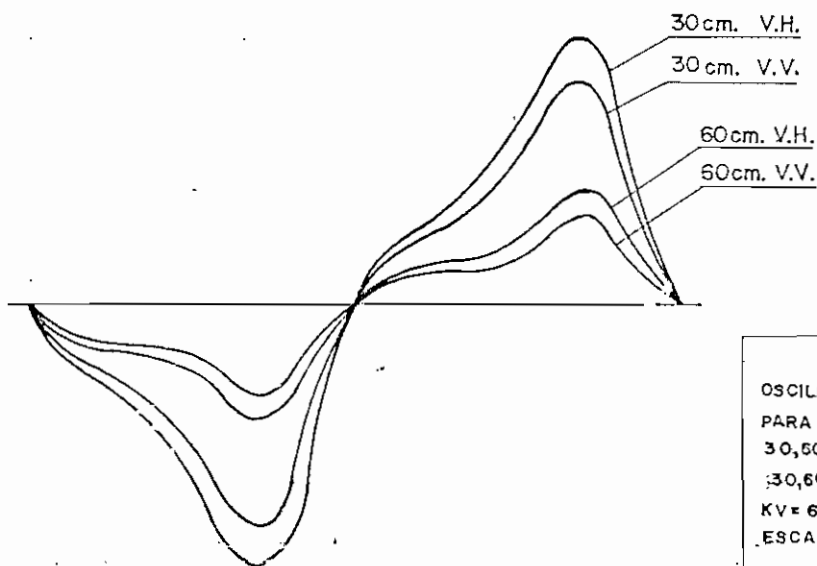


OSCILOGRAMA DE LA ONDA DE TENSION INDUCIDA— CONDICIONES:
 1/0 VARIACION VERTICAL 30,45,60 cm.
 KV= 60
 ESCALAS:
 HORIZONTAL 2ms/cm.
 VERTICAL 10 V/cm.



OSCILOGRAMA DE LA ONDA DE TENSION INDUCIDA, COLOCADO FILTRO DE BANDA. PARA LAS CONDICIONES ANTERIORES
 ESCALAS:
 HORIZONTAL 2 ms/cm.
 VERTICAL 5 mV/cm.

CONDICIONES VARIAS



OSCILOGRAMA DE LA ONDA DE TENSION
PARA CONDUCTOR : 1/0

30,60 cm VARIACION HORIZONTAL

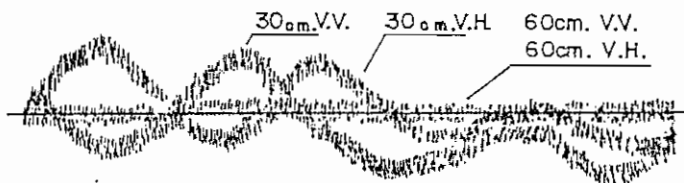
30,60 cm VARIACION VERTICAL

KV= 60

ESCALAS :

HORIZONTAL 2 ms/cm.

VERTICAL 10 V/cm.



OSCILOGRAMA DE LA ONDA DE TENSION
INDUCIDA, COLOCADO FILTRO DE BANDA.
PARA LAS CONDICIONES ANTERIORES

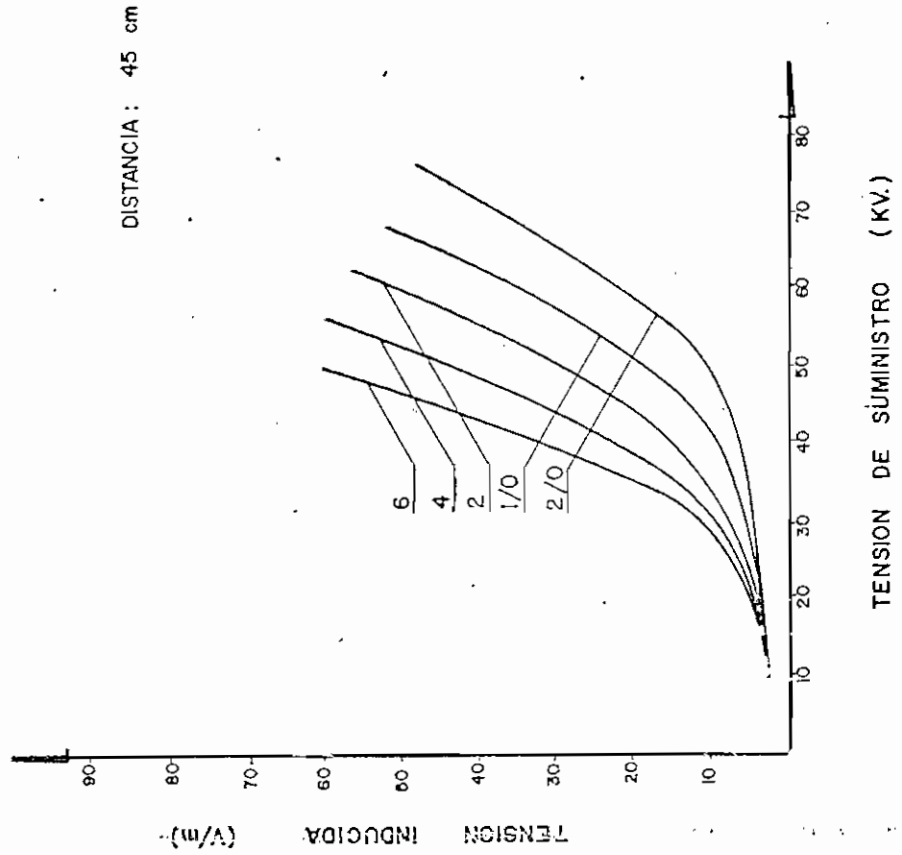
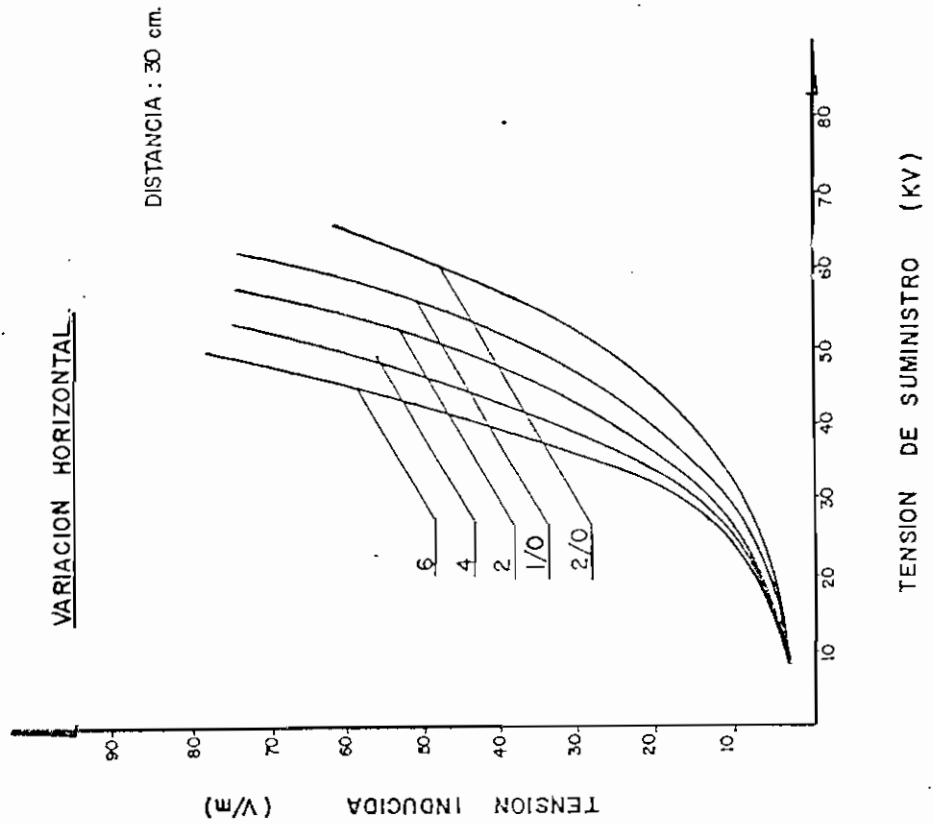
ESCALAS :

HORIZONTAL 2 ms/cm.

VERTICAL 5 mv/cm.

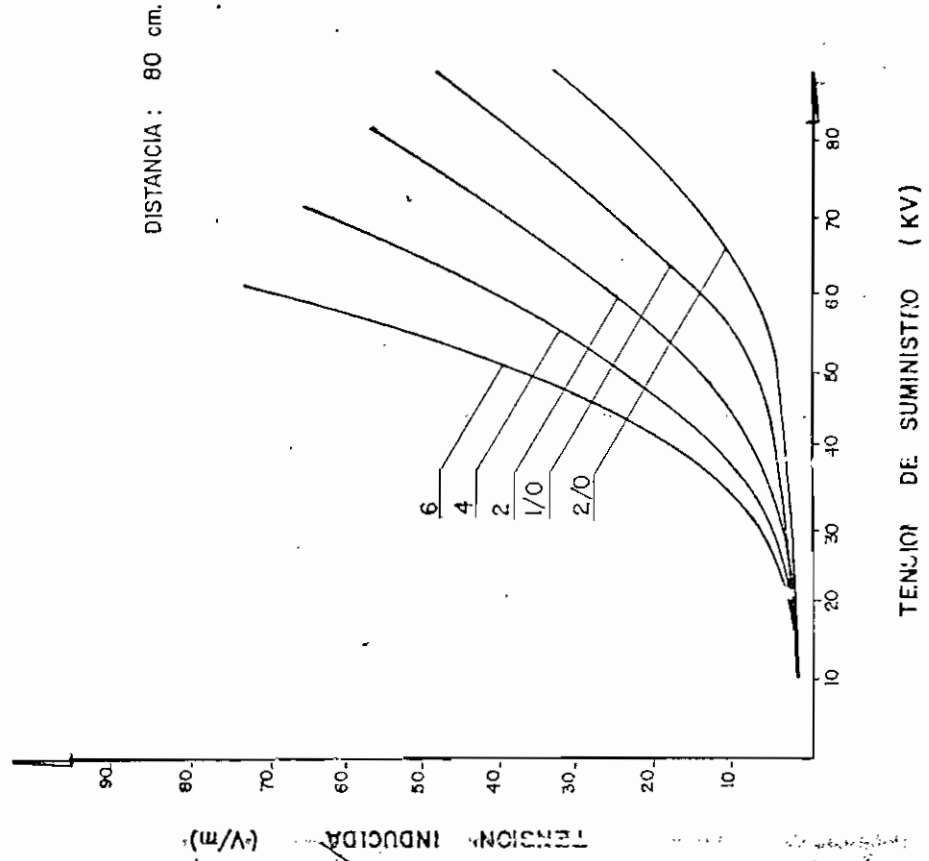
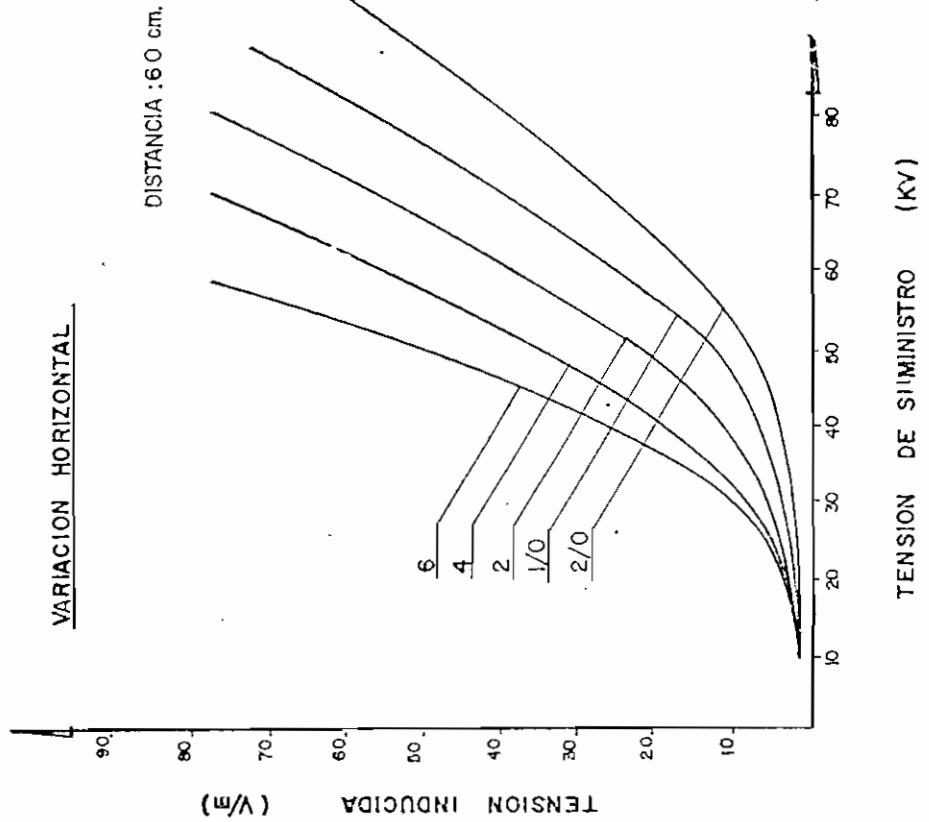
VARIACION DE LA MAGNITUD DE TENSION INDUCIDA
EN EL CONDUCTOR DE COMUNICACION

VARIACION HORIZONTAL

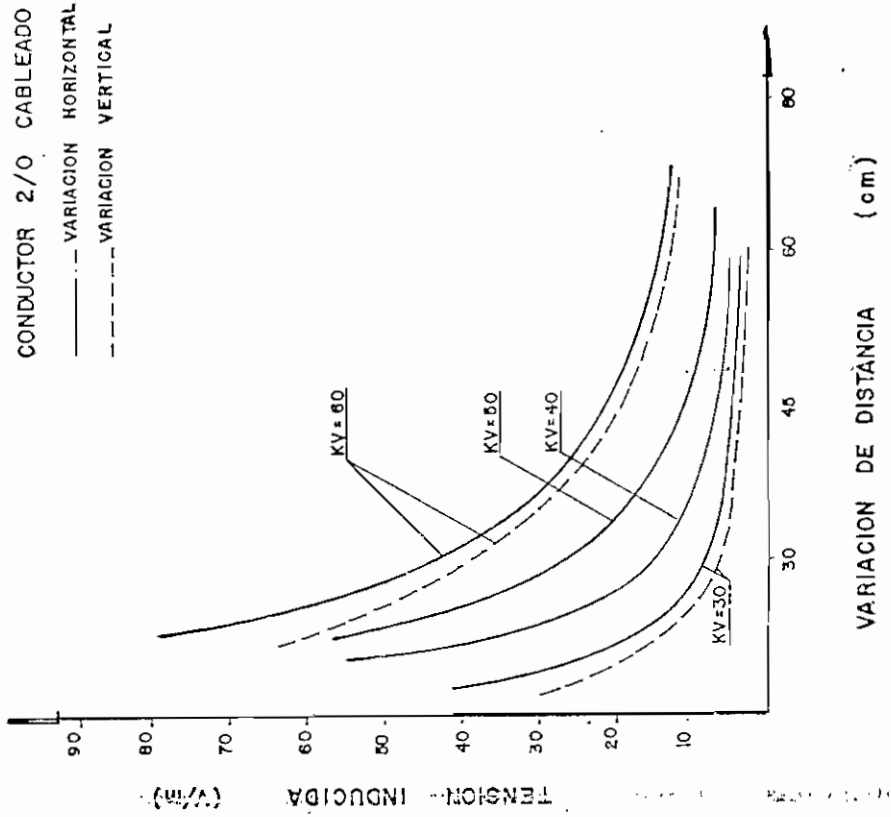
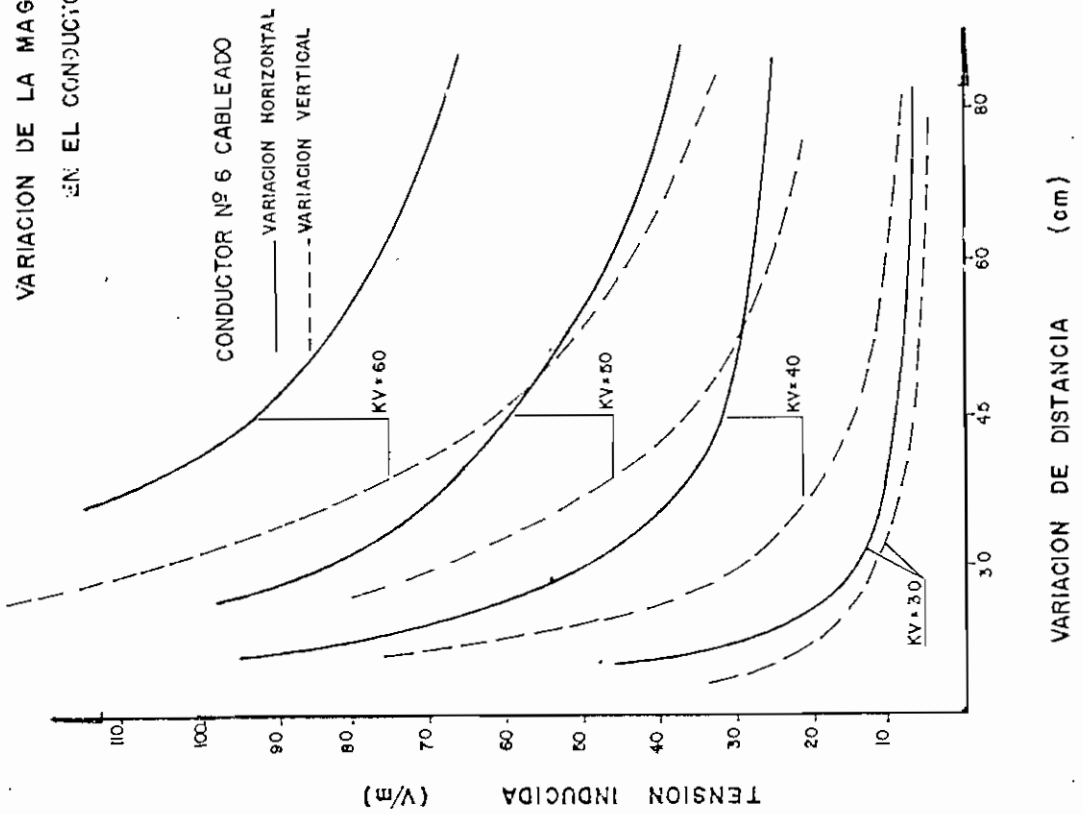


VARIACION DE LA MAGNITUD DE TENSION INDUCIDA
EN EL CONDUCTOR DE COMUNICACION

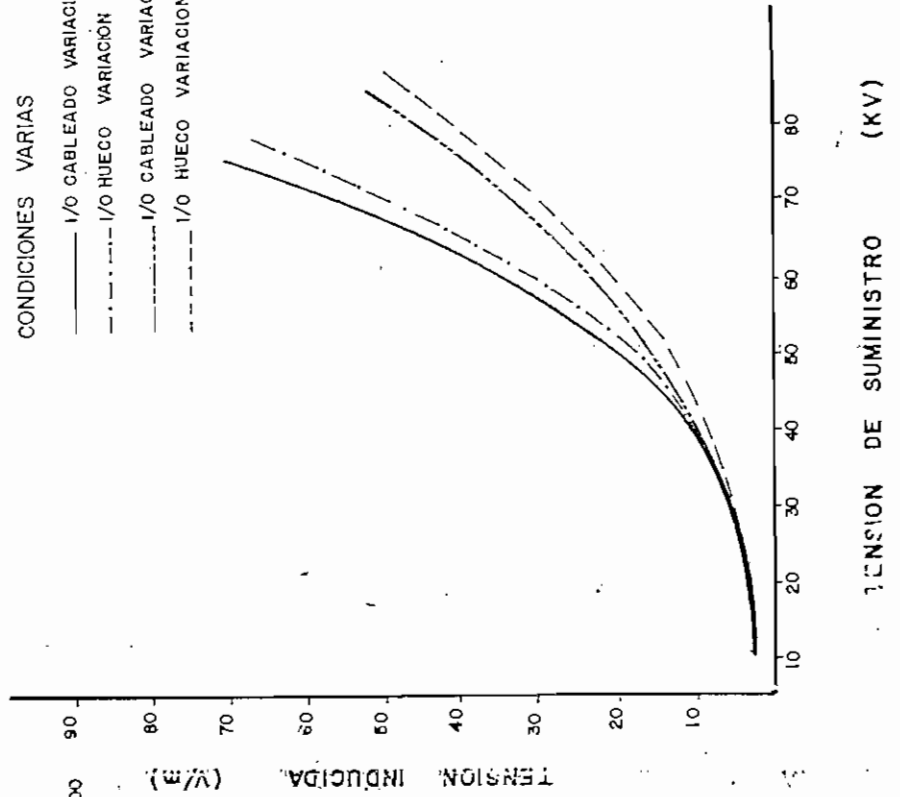
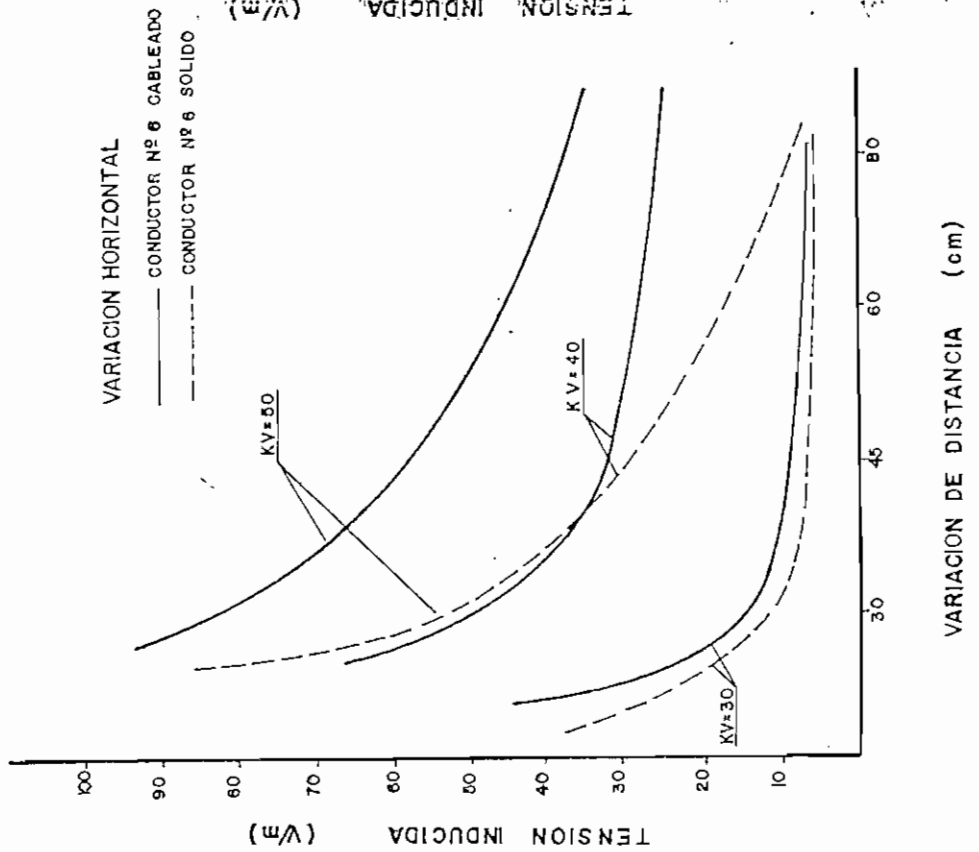
VARIACION HORIZONTAL



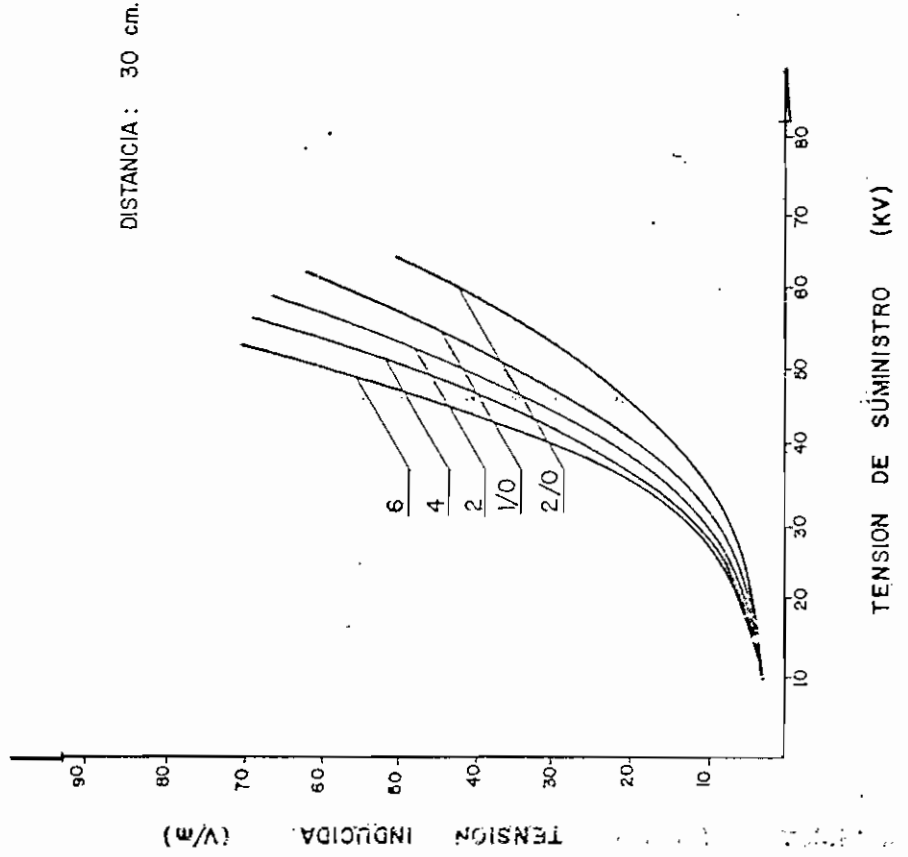
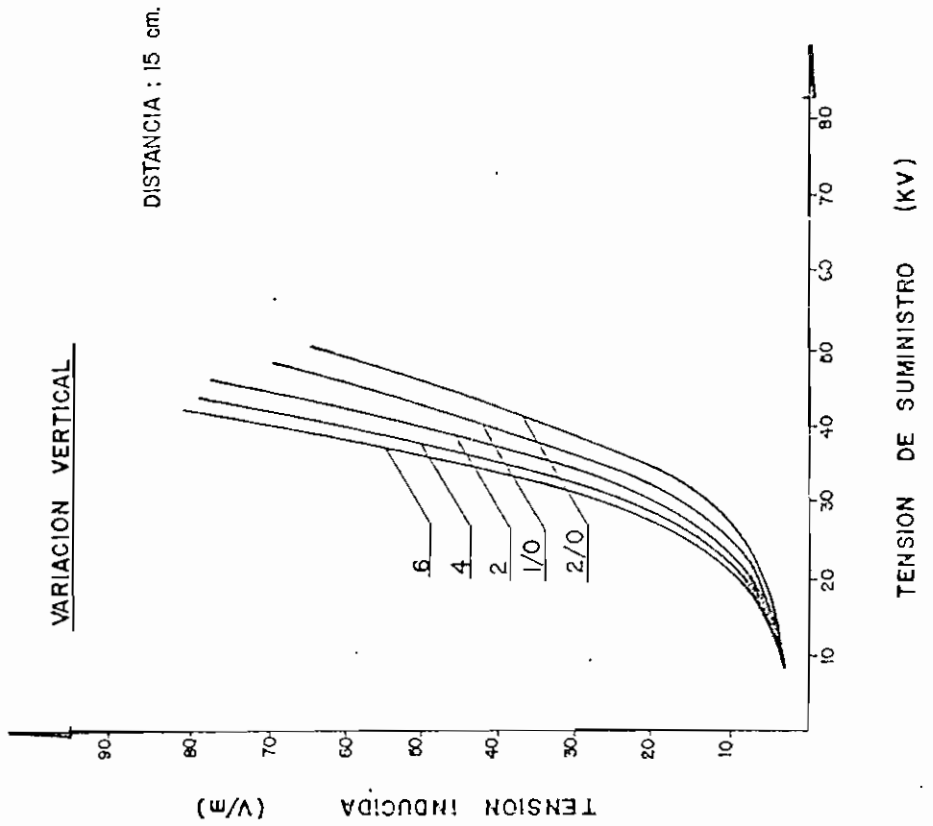
VARIACION DE LA MAGNITUD DE TENSION INDUCIDA
EN EL CONDUCTOR DE COMUNICACION



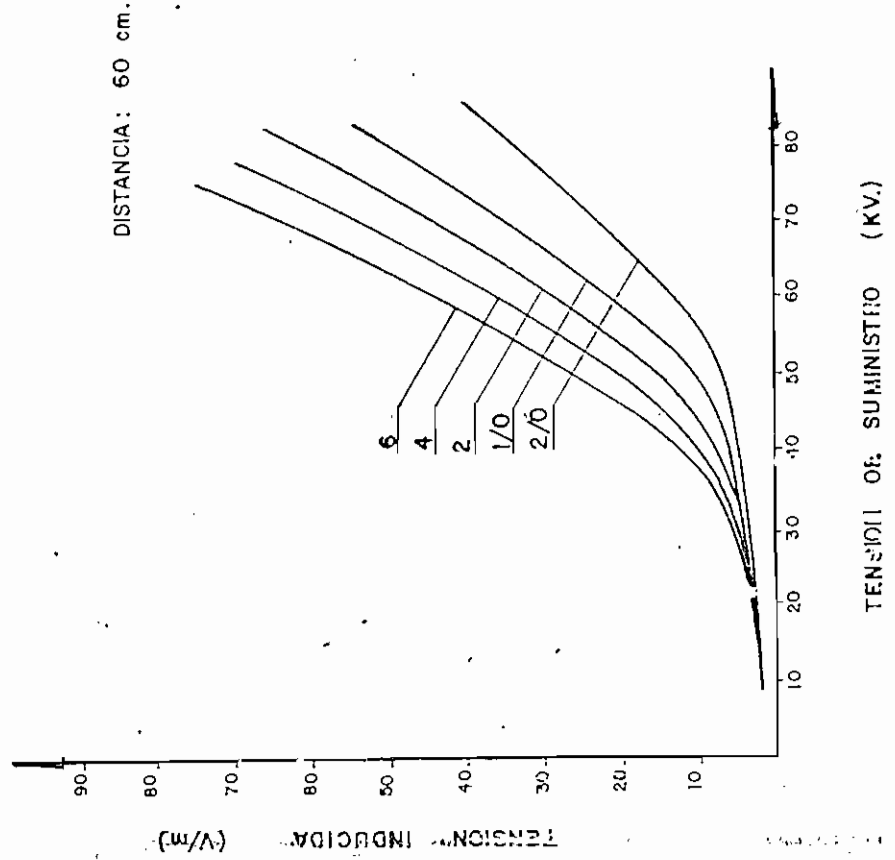
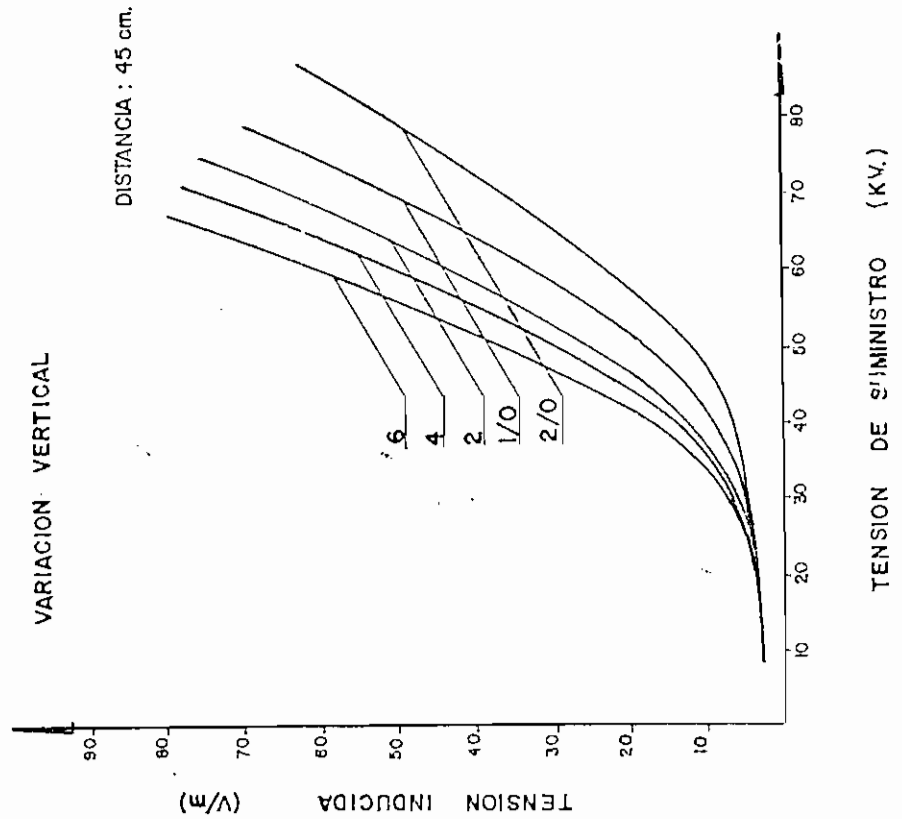
VARIACION DE LA MAGNITUD DE TENSION INDUCIDA
EN EL CONDUCTOR DE COMUNICACION

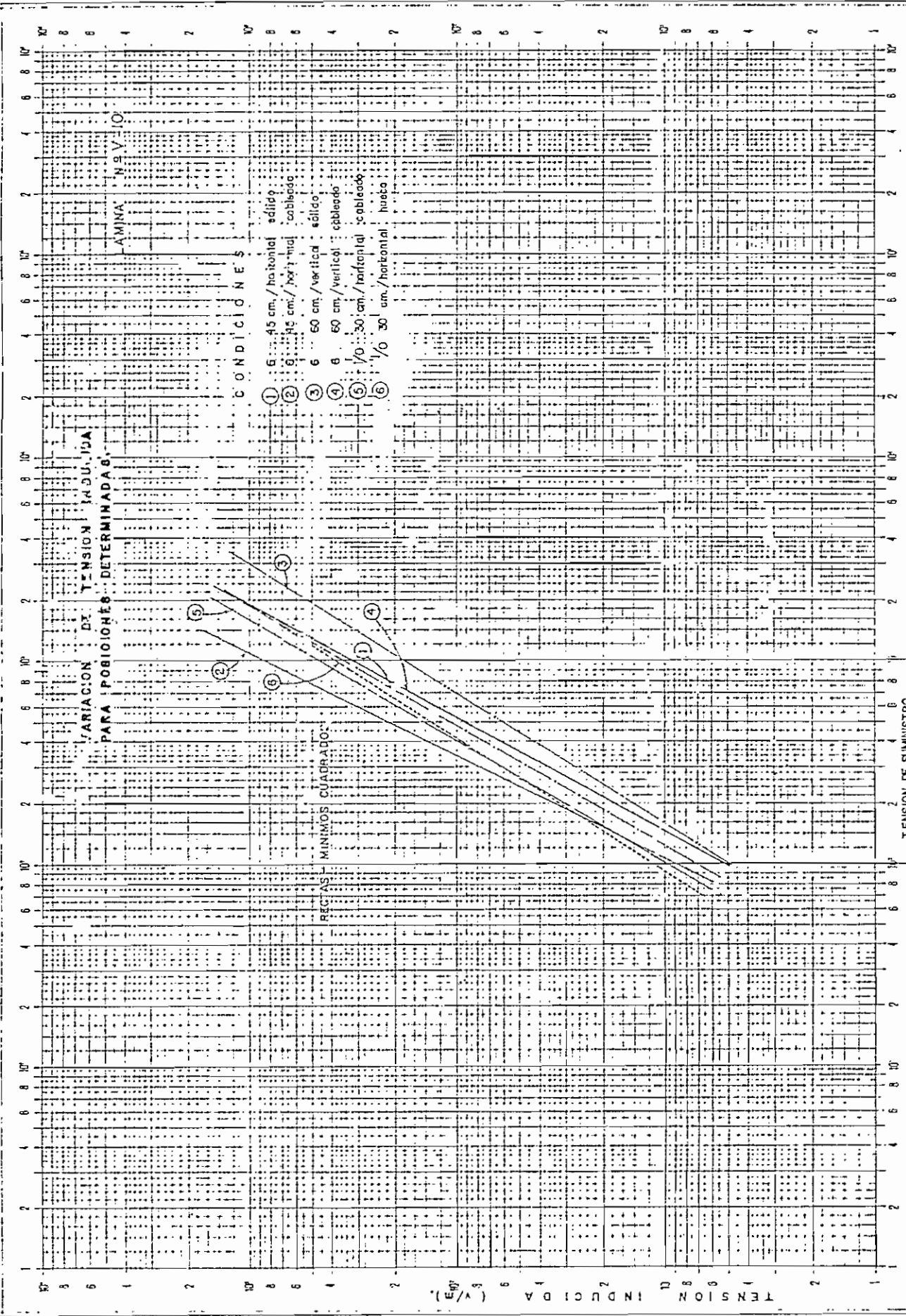


VARIACION DE LA MAGNITUD DE TENSION INDUCIDA
EN EL CONDUCTOR DE COMUNICACION



VARIACION DE LA MAGNITUD DE TENSION INDUCIDA
EN EL CONDUCTOR DE COMUNICACION





VARIACION DE TENSION INDUCCION PARA POBACIONES DETERMINADAS.

ALMENA N.º V. 10

CONDICIONES

- ① 6 ... 45 cm. / horizontal ... edido
- ② 9 ... 45 cm. / hor. / mid. cableado
- ③ 6 ... 60 cm. / vertical ... edido
- ④ 8 ... 60 cm. / vertical ... cableado
- ⑤ 10 ... 30 cm. / horizontal ... cableado
- ⑥ 10 ... 30 cm. / horizontal ... hueco

RECTAS MINIMOS CUADRADO

TENSION INDUCCION (E_g)

TENSION DE SUMINISTRO

CENTUM 11-204

C A P I T U L O VI

C A P I T U L O V I

PROTECCION CONTRA LAS PERTURBACIONES

VI.1 FINALIDAD DE LA PROTECCION

Podría decirse en términos generales que los dispositivos de protección deben cumplir tres propósitos fundamentales:

- 1.- Asegurar la protección de los seres humanos, es decir, prever los peligros o daños a los abonados, hombres de reparación y el público.
- 2.- Reducir la probabilidad de peligro o daño a la propiedad del usuario.
- 3.- Limitar el peligro o daño a la planta telefónica y reducir al mínimo las interrupciones de servicio.

De estas consideraciones la protección de la vida humana es la de principal importancia.

El principio fundamental de todas las protecciones de sobretensión es conectar todas las partes conductoras a tierra. Protectores de sobretensión han sido diseñados para conservar el circuito abierto en la ausencia de tensiones anormales para cerrar luego el circuito cuando tales tensiones se hallan presentes.

VI.2 PERTURBACIONES EN EL SISTEMA TELEFONICO

Las líneas aéreas telefónicas reciben perturbaciones dentro de la gama de frecuencia de audio provenientes del sistema de potencia, el cual constituye una de las principales fuentes de la perturbación.

Dicho fenómeno se manifiesta por un zumbido el cual consti-

tuye un factor de debilitamiento para la transmisión de la señal.

Las perturbaciones determinan el nivel más bajo de recepción. En sistemas de líneas aéreas se acostumbra normalmente, debido al citado fenómeno, no descender a niveles de recepción más bajos de -3 a -4 néper (- 26 - 35 db.). En el sistema de cables se puede descender a niveles de recepción de -6 a -7 néper (-52 a -61 db.).

El límite inferior queda determinado frecuentemente por el ruido térmico.

Los fenómenos ocasionados en la comunicación telefónica se manifiestan como ruido y diafonía.

VI.2.1 DIAFONIA.- La diafonía entre 2 líneas proviene de los acoplamientos inductivos y capacitivos, dicho fenómeno consiste en oír sobre una línea telefónica la señal de audio de otro circuito telefónico. Cuando este fenómeno ocurre en el extremo próximo se denomina paradiafonía y en el otro caso cuando dicha perturbación ocurre en el extremo lejano se denomina telediafonía. Se considera los fenómenos anotados anteriormente como una magnitud de atenuación, es decir, la señal será menos inteligible.

En los aparatos se produce la diafonía particularmente en los dispositivos cuyas características no son lineales.

VI.2.2. RUIDO.- El ruido se manifiesta en los sistemas telefónicos por un zumbido característico el cual en primer lugar interfiere en la conversación telefónica debido a una dispersión del sonido alrededor del auricular; en segundo lugar el ruido ocasiona una señal ininteligible en la transmisión telefónica.

La principal fuente de ruido constituye la inducción de campos eléctricos y magnéticos creados por el sistema

de potencia y las sobretensiones de origen atmosférico. Al ruido se le pueda definir como todo tipo de perturbación que tiende a interferir la correcta percepción de la señal transmitida.

VI.2.3 RUIDO TÉRMICO.- El movimiento de los electrones, que es solo un movimiento térmico y que por lo tanto aumenta con la temperatura, da una tensión que está distribuida en forma regular sobre el espectro de frecuencias.

El valor efectivo de la tensión viene dado por la ecuación Nº VI-1.

$$V = \sqrt{4 KTR (F_2 - F_1)} \quad (VI-1)$$

V = Valor efectivo de la tensión en voltios

K = Constante de Boltzmann = 1.37×10^{-23}

T = Temperatura absoluta (273 + t °C)

R = Resistencia efectiva de carga ohms.

$F_2 - F_1$ = Banda de frecuencia en Hz.

La potencia de ruido viene dado por la ecuación Nº VI-2 en la cual el valor de la potencia es independiente de la resistencia de carga.

$$P = \frac{V^2}{R} = 4 KT (F_2 - F_1) \quad (VI-2)$$

V = Valor efectivo de la tensión en voltios

P = Potencia de ruido en vatios.

VI.3 CAUSAS QUE ORIGINAN LAS PERTURBACIONES

Los campos electromagnéticos producidos por los sistemas de potencia constituyen la fuente principal de tensiones inducidas las cuales causan perturbación en el sistema telefónico. Un detalle más extenso sobre los mencionados campos electromagnéticos se

tiene en el anexo Nº 1.

De un modo general mencionaremos algunos factores que inciden en el origen de las perturbaciones ocasionadas en el sistema telefónico, cuando las mismas se hallan situadas dentro de los campos electromagnéticos desarrollados por el sistema de potencia.

Citándose por consiguiente los siguientes numerales:

- 1.- Magnitud de la corriente que fluye en el conductor perturbador (conductor de potencia)
- 2.- Distancia entre los dos sistemas, es decir, mientras más cerca se encuentre el sistema telefónico al sistema de potencia, la magnitud de estas tensiones inducidas será mayor.
- 3.- Disposición de los conductores los cuales pueden manifestarse por un cierto paralelismo.
- 4.- Grado de desequilibrio de los sistemas respecto a tierra.
- 5.- Magnitud de las corrientes de cortocircuito a tierra ocasionados por los sistemas de potencia para la condición de funcionamiento anormal. En este caso de falla el potencial del sistema de tierra se aumenta considerablemente, esto hace que se vuelvan peligrosos los circuitos o conductores que llegan a una distancia apartada de la red de tierras en mención, ya que entre el extremo próximo a la red y el extremo opuesto pueden aparecer tensiones de varios miles de voltios.

VI.4 PROTECCIONES

Las protecciones que enunciaremos a continuación son de tipo general ya que para cada caso particular se necesitará de un estudio especial.

VI.4.1 PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES ATMOSFERICAS.- En un sistema de comunicación telefónica de líneas abiertas son las más expuestas a dichas sobretensiones, pero al mismo tiempo dicha disposición constituye también la parte menos crítica de una planta telefónica.

El fenómeno puede considerarse ligeramente como una descarga eléctrica de extremadamente corta duración proveniente de una nube cargada negativamente. El promedio de duración de dicha descarga es del orden de 50 μ s. y la corriente resultante a tierra para este corto período es por encima de 100.000 A. La máxima tensión de una descarga es posiblemente en el orden de 2.5 millones de voltios. Es importante recordar que la variación de tensión de esta forma de onda es muy rápida debido a su alta tensión inestable y un muy corto tiempo de implicación, esta variación puede ser del orden de -----
1.000 KV./ μ seg.

Desde el punto de vista de potencia del sistema telefónico, los daños o peligros deben ocurrir como consecuencia de valores extremadamente altos de corriente y/o falla de la aislación en el punto donde la descarga ha ocurrido, su dispositivo de protección será el pararrayos cuyas características dependerá de la coordinación entre los varios dispositivos del sistema.

VI.4.2 PROTECCION CONTRA CONTACTO DIRECTO ENTRE LOS SISTEMAS

Para evitar dicho contacto se diría que, el espaciamiento entre las líneas debería ser tal que, no haya la probabilidad de contacto entre los dos sistemas. En sitios de cruce ya sea de los sistemas de potencia como del sistema telefónico debería considerarse una instalación subterránea.

En construcciones subterráneas estrictas medidas de seguridad deben ser cumplidas para mantener cierta distancia mínima entre cables de los dos sistemas y en sitios donde dicha separación mínima no es posible, pilares de concreto deben ser colocados para evitar la posibilidad de dicho contacto.

Desde el punto de vista de la construcción debe tomarse en cuenta que exista un espaciamiento adecuado entre ambos sistemas para evitar cualquier contacto metálico; en el Esp. VII se menciona algunas recomendaciones.

Como dispositivo de protección se utilizará un fusible, cuyas características dependerá de la magnitud del cortocircuito como del nivel de tensión.

VI.4.3 PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES PROVENIENTES DEL SISTEMA

DE POTENCIA.- Las sobretensiones inducidas provenientes de las líneas de potencia son de fácil cálculo comparadas con las sobretensiones atmosféricas, por consiguiente los dispositivos de protección para el primer caso son más fáciles de decidir.

Cuando un sistema telefónico ha sido instalado sobre la misma estructura del sistema de potencia, medidas de protección deben ser tomadas en cuenta ya que a más de las sobretensiones inducidas existe la posibilidad de un contacto directo entre las líneas.

La mejor solución desde el punto de vista de transmisión como de protección es utilizar cables especiales para el sistema telefónico y/o colocar un hilo de guardia sobre dicho sistema, el mismo que tendrá conexión a tierra. El sistema telefónico se halla bien protegido contra descargas atmosféricas por el sistema de potencia situado arriba.

En instalaciones subterráneas con cables armados, como medida de protección se emplean conductores de cobre, los mismos que se hallan colocados por encima y a lo largo y ancho del cable con una perfecta conexión a tierra.

Un cable debería ser utilizado si la magnitud de sobretensión inducida llega a ser tan alta de manera que exista un desbalanceamiento sobre los conductores de las líneas.

Las recomendaciones dadas por el C.C.I.T.T. durante operación normal del sistema de potencia, la magnitud de tensión inducida longitudinalmente sobre el sistema telefónico no debería exceder de 60 voltios. En el caso de un cortocircuito en el sistema de potencia, la tensión inducida longitudinalmente sobre el sistema telefónico no debería exceder de 430 voltios. En sistemas > 2 110 KV. se permite hasta 650 voltios.

Si las líneas no pueden ser construídas de tal forma que cumplan dichas recomendaciones o si la potencia transmitida sobre una línea de potencia existente proporciona valores que se hallan fuera de estos límites recomendados, medidas de protección deben ser tomadas en cuenta.

Protectores de sobretensión deben ser instalados sobre líneas

aéreas, los intervalos entre protectores no deben ser menores que - 500 metros.

Para el caso de un sistema telefónico con cables, el --- forro de protección del cable debe ser mejorado y los protectores - contra estas sobretensiones se colocarán en los puntos terminales de ser necesario.

Los factores que afectan para seleccionar el sistema de protección difieren de región a región y son dependientes de un estudio técnico y económico.

El C.C.I.T.T. no tiene todavía realizado recomendaciones en lo concerniente a la selección de protectores y su localización, cada país tiene por consiguiente sus propias regulaciones y recomendaciones.

VI.5 PRECAUCIONES PARA REDUCIR LAS PERTURBACIONES →

En el caso de líneas aéreas la reducción de las perturbaciones causadas en el sistema telefónico se pueden resumir a los siguientes factores:

Resistencia balanceada, espaciamiento entre los conductores, transposiciones, utilización de cables blindados, sistemas de tierra.

VI.5.1 RESISTENCIA BALANCEADA .- La resistencia eléctrica de cada uno de los conductores que forman un par telefónico deben ser iguales tanto como sea posible, por consiguiente es necesario tener en cuenta las siguientes precauciones:

- 1.- Los conductores que forman el par telefónico deben ser de las mismas características, es decir, de la misma -

galga y calidad de material.

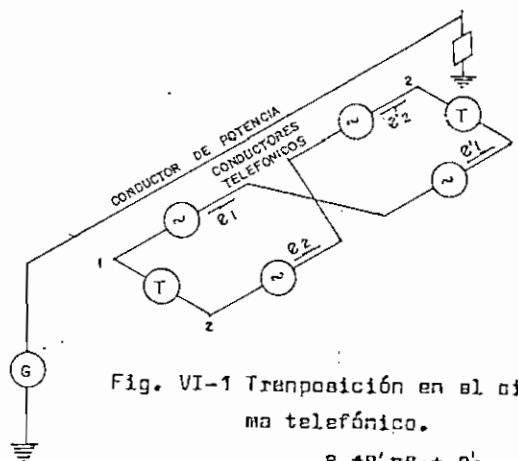
- 2.- Las conexiones entre conductores deben realizarse por medio de uniones apropiadas a fin de ofrecer homogeneidad en la impedancia de la línea.
- 3.- Los conductores del sistema telefónico deben ser apartados de ciertos obstáculos, es decir, impedir toda clase de contacto, lo cual pondría el sistema a tierra.
- 4.- Los aisladores que pueden presentarse agrietados, como consecuencia de algún contacto directo deben ser cambiados para evitar escape de la energía.

VI.5.2 ESPACIAMIENTO ENTRE CONDUCTORES.- Como se ha concluido en los capítulos anteriores ya sea de una manera teórica como práctica, la magnitud de la tensión inducida en el sistema telefónico varía de acuerdo a la separación y longitud de paralelismo con el sistema de potencia.

Con el debido espaciamento se evitará disminuir las perturbaciones ocasionadas entre los mismos, en el capítulo VII se recomienda algunos valores de distancias entre los dos sistemas, desde luego tomando en cuenta las recomendaciones dadas por el C.C.I.T.T.

VI.5.3 TRANSPOSICIONES.- Con el objeto de reducir la tensión transversal en el sistema telefónico es necesario efectuar transposiciones, que en principio consisten en invertir la posición de los conductores a fin de que, la fuerza electromotriz inducida en los conductores del sistema telefónico sean de igual magnitud y de sentido contrario.

En la fig. VI-1 bajo las condiciones de transposición en la comunicación telefónica se cumple la siguiente relación (VI-1)
 $e_1 + e_1' = e_2 + e_2'$. Notándose el principio fundamental de las transposiciones, las cuales consisten en igualar las tensiones inducidas en serie.



Las transposiciones en el sistema telefónico pueden efectuarse de dos maneras, por rotación de los conductores o por un sistema por puntos.

En la rotación de los conductores por un sistema de cuatro conductores de un cuadro cambian de posición los conductores constantemente.

En la transposición del sistema por puntos el cambio de posición de los conductores se efectúa entre conductores de par contiguo y se localizan a la misma altura sobre el suelo. Los pares ad-

yacentes deben ser transpuestos en diferentes intervalos para evitar todo paralelismo.

VI.5.4 CABLES BLINDADOS.- Bajo condiciones normales de operación, es decir, cuando el sistema de potencia no sufre fallas en su funcionamiento, la utilización de cables blindados es la mejor solución para protección contra las sobre tensiones inducidas; sin embargo, --- cuando existen fallas en el sistema de potencia, como una conexión a tierra, se induce en estos cables sobre tensiones de magnitud apreciable, lo cual hace pensar en protegerlos.

Una de las formas de protección es la utilización de protectores para cada par de conductores o un diseño de cable especial, la deducción más conveniente por consiguiente será después de un análisis técnico como económico. Estos cables especiales se diferencian por los materiales utilizados en su construcción, tanto en su cubierta como en el aislamiento.

Entre los diferentes tipos podemos mencionar los siguientes: Cable con aislamiento de papel y cubierta de plomo, cable con aislamiento y cubierta de polietileno, cable con aislamiento y cubierta de plástico. En sitios donde se asume descargas eléctricas (redes subterráneas) la forma de protección más efectiva es usar cables con cubierta de plomo; se puede utilizar también cables coaxiales para atravesar areas donde la resistencia a tierra sea alta.

El factor de protección depende por consiguiente del tipo de aislamiento, de experiencias se puede decir, que para cables no armados con cubierta de plomo la protección mejorará en un 10 %, para -

cables armados con cubierta de plomo, la protección se incrementa en un 50 % y para cables armados con cubierta de aluminio el factor de protección se incrementa en un 80 %.

VI.5.5 SISTEMAS DE TIERRAS.- Los protectores de sobretensión tienen la función de desviar dichas sobretensiones y enviarlas a tierra. En el caso de sobretensiones inducidas de origen atmosférico el frente de onda es muy pronunciado, por consiguiente, las corrientes originadas son de corta duración, pero también de magnitud muy grande.

Desde el punto de vista de protección conviene que la resistencia de tierra sea por consiguiente de una magnitud muy reducida. En el caso de sobretensiones provenientes de las líneas de potencia, los frentes de onda no son generalmente de pendiente brusca, pero las corrientes originadas son de larga duración y magnitud apreciable. Conviene que la trayectoria a tierra sea baja para no tener perturbaciones en la comunicación. Sobre un contacto directo entre ambos sistemas la corriente a tierra sería de magnitud considerable.

De este análisis previo puede decirse que la tierra es el elemento más importante en la protección de los sistemas, la función de los otros elementos son más o menos dependientes. Es dificultoso dar cualquier nivel mínimo de resistencia a tierra, pero puede recomendarse que tomas bajo 10Ω s. son deseables. En sectores rocosos y de arena seca es imposible obtener valores bajos de resistencia por lo que se necesitan medidas adicionales para disminuir esta resistencia.

Mallas de tierra son generalmente instaladas en sitios donde se requiere una impedancia baja de tierra y/o donde se instalan e-

quijos y se requiere que exista protección adecuada sobre estas sobretensiones. Esta protección puede mejorarse también en los sistemas de potencia de tal manera que, cuando existan sobretensiones originadas por fallas a tierra, éstas no son de una magnitud considerable.

En el caso de sobretensiones atmosféricas la colocación del hilo de guarda en los sistemas de potencia es de mucha importancia, si el hilo de guardia está puesto a tierra y conectado a la malla de tierra, el mayor peligro en el caso de fallas, se originará en lugares remotos, es decir en las torres de la línea.

C A P I T U L O VII

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1 CONCLUSIONES

Del estudio realizado en los capítulos anteriores podemos concluir lo siguiente:

- 1).- La magnitud de tensión inducida en el conductor de comunicación telefónica es independiente de su sección transversal.
- 2).- El paralelismo entre el conductor de potencia y el conductor de comunicación telefónica representa un factor determinante en la magnitud de tensiones inducidas.
- 3).- La magnitud de tensiones inducidas en el conductor de comunicación telefónica es dependiente del nivel de tensión, acercamiento y paralelismo con el sistema de potencia.
- 4).- La variación de la magnitud de tensión inducida en el conductor de comunicación telefónica representa una función exponencial de la forma $V_i = KE^n$.
- 5).- La variación de tensión inducida en el conductor de comunicación telefónica en función de la separación que existe entre los dos sistemas, se puede decir que, representa una función asintótica para posiciones cercanas y para posiciones alejadas se tendrá una variación amortiguada.
- 6).- Cuando los dos sistemas se hallan próximos la frecuencia

de 60 Hz., en la comunicación de audio causa perturbaciones en la transmisión y recepción de señales.

- 7).- En el fenómeno de corona producido en los conductores de potencia la tercera armónica es la más representativa.
- 8).- Conforme se acerca el fenómeno de corona en los conductores de potencia la onda de tensión cada vez va deformándose paulatinamente, conteniendo cada vez un número más alto de armónicas.
- 9).- El subido característico del fenómeno de corona en los conductores de potencia representa un factor gravitante en la inteligibilidad del sistema de comunicación telefónica.
- 10).- El fenómeno de corona origina perturbaciones no solamente a la comunicación telefónica, sino también, a la comunicación de alta frecuencia.
- 11).- La inserción de un filtro de banda en el conductor de comunicación telefónica representa un dispositivo seleccionador de frecuencias.

VII.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones enunciadas a continuación son de un modo muy general, ya que se tendrá que hacerse un estudio más detenido para el análisis de un caso particular.

Con el objeto de disminuir las perturbaciones causadas en las líneas de comunicación telefónica debido a la proximidad y paralelismo con los sistemas de potencia, conviene tomar en cuenta los siguien

tes numerales:

- 1).- Evitar en lo posible cierto paralelismo así como también cruces indebidos entre los sistemas mencionados.
- 2).- Dependiendo de la magnitud de tensión inducida en el conductor de comunicación telefónica, es recomendable hacer transposiciones en el sistema de potencia.
- 3).- Bajo cualquier condición es imprescindible mantener la simetría del sistema de comunicación telefónica tanto entre los conductores como con respecto a tierra.
- 4).- Utilización adecuada de los accesorios en el sistema de comunicación telefónica ya sea en el montaje como en su mantenimiento.
- 5).- Debe haber una coordinación adecuada entre ambos sistemas, en tal forma que operen los dispositivos de protección correspondientes.
- 6).- Elección adecuada para las tomas de tierra de los circuitos telefónicos, de modo que, se hallen alejados de los conductores del sistema de potencia como también de los electrodos de puesta a tierra de dicho sistema.
- 7).- Conviene que tanto la Empresa Eléctrica como la - Empresa de Teléfonos realicen una programación y planificación conjunta de un determinado proyecto.

- 8).- Conviene que la Empresa Eléctrica como la Empresa de -
Teléfonos tengan un Departamento de Electrónica y Eléc-
trica respectivamente, para que de este modo, se pueda
solucionar cualquier dificultad que exista en la opera-
ción y mantenimiento de los dos sistemas.
- 9).- Para reducir la magnitud de tensiones inducidas en el
sistema de comunicación telefónica, es recomendable uti-
lizar cables blindados.
- 10).- Establecer un Reglamento de instalación entre los dos
sistemas.

VII.3 NORMAS.-

Las Normas enunciadas a continuación tienen por finalidad con-
seguir una guía para el establecimiento de un Reglamento de instala-
ción entre los dos sistemas. Como consulta se han tomado las Normas
del Comité Consultivo Internacional Telefónico (C.C.I.T.T.) y las Nor-
mas Alemanas VDE (0210-5.62).

- 1).- En redes sin conexión del neutro del sistema, debe exis-
tir una distancia mínima de 5m., entre las fundaciones de
los soportes de los dos sistemas en mención.
- 2).- En redes con conexión del neutro del sistema a tierra, de-
be existir una distancia mínima de 20m. entre las funda-
ciones de los soprtes de los dos sistemas en mención.
- 3).- En cruces entre los conductores de comunicación telefóni-
ca y los conductores del sistema de potencia debe conser-
varse una distancia mínima de 1.2m.
- 4).- Cuando los conductores del sistema de potencia y los con-

ductores de comunicación telefónica vayan a tener un cierto paralelismo se recomienda una distancia mínima de 10m.

- 5).- En soportes donde existe una utilización común para los dos sistemas debe existir una distancia mínima de 1m., y el sistema de potencia debe hallarse generalmente por encima del sistema de comunicación.
- 6).- En operación normal la magnitud de tensión inducida longitudinalmente sobre el sistema telefónico no debe exceder de 60 V.
- 7).- En el caso de un cortocircuito en el sistema de potencia, la tensión inducida longitudinalmente sobre el sistema telefónico no debe exceder de 430 V.
- 8).- En sistemas superiores a los 110 KV. para el caso de cortocircuito, se permite una tensión inducida longitudinalmente de 650 V.
- 9).- Como distancias mínimas (cruces) entre los sistemas de potencia y comunicación telefónica pueden mencionarse las siguientes:

<u>Tensión KV.</u>	<u>Distancia m.</u>
0 - 0.6	1.2
7.6 -13.2	1.5
34.5 -44	1.8
66	2.1

A N E X O N º 1

A N E X O N º 1

C A M P O S E L E C T R O M A G N E T I C C SA.1 CAMPOS MAGNETICOS

Al circular una corriente por un conductor se producirá un campo magnético el mismo que es función directa de la magnitud de corriente.

Al encontrarse dentro de este campo magnético conductores del sistema telefónico se producirá una tensión inducida cuya magnitud depende del paralelismo existente entre ambos sistemas como de su configuración. La variación de estas tensiones inducidas representa una función logarítmica en la cual para distancias cercanas se obtienen valores mayores y conforme esta distancia aumenta los valores de tensión inducida adquieren valores pequeños.

En la lámina Nº A-1 se ilustra el campo magnético producido por el conductor del sistema de potencia y las tensiones inducidas e_1 y e_2 en los conductores del sistema telefónico. La tensión inducida e_1 es mayor que e_2 por hallarse más cercano el conductor de potencia. Esta diferencia de potencial causará perturbaciones en la comunicación telefónica manifestándose como un ruido.

Puede distinguirse dos tipos de tensión inducida, la tensión transversal la misma que se manifiesta por una diferencia de potencial entre los conductores del sistema telefónico y la tensión longitudinal que se caracteriza por una tensión existente entre el con-

ductor telefónico y tierra.

A.1.1 INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO PRODUCIDO POR UN CONDUCTOR.- En la lámina N^o A-2 se representa un esquema general de un conductor que transporta corriente, el mismo que producirá el campo magnético correspondiente, tomando en cuenta este gráfico se deduce las fórmulas.

Según Ley de Biot Savart

$$d\vec{H} = \frac{I d\vec{L} \times \vec{a}_R}{4 R^2}$$

Por simetria se tendrá unicamente una componente en el eje Z, se utilizan para estas deducciones; coordenadas cilíndricas.

$$d\vec{L} = dr \vec{a}_r + r d\phi \vec{a}_\phi + dz \vec{a}_z$$

$$d\vec{L} = dz \vec{a}_z$$

$$\vec{a}_R = \frac{r\vec{a}_r - z\vec{a}_z}{(r^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$d\vec{H} = \frac{I(dz \vec{a}_z) \times (r \vec{a}_r - z \vec{a}_z)}{4\pi (r^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$\vec{H} = \frac{I}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{r dz \vec{a}_\phi}{(r^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$\vec{H} = \frac{I}{2\pi r} \vec{a}_\phi \text{ Amp./m. (A-1)}$$

2πr

Lámina N^o A-3

DENSIDAD DE FLUJO MAGNETICO.- Por definición se tiene -

que la densidad de flujo magnético (\bar{B}) es proporcional a la intensidad de campo magnético.

$$\bar{B} = \mu_i \bar{H} \quad \text{Weber / m}^2 \quad (A-2)$$

μ_i = Permeabilidad magnética $4\pi \times 10^{-7}$ Weber/Amp.m.

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad (A-3)$$

μ_0 = Permeabilidad del vacío = $4\pi \times 10^{-7}$ Henrios/m.

μ_r = Permeabilidad relativa la misma que depende del medio de propagación.

FLUJO MAGNETICO.- El flujo magnético se halla definido por la siguiente ecuación.

$$\phi = \int_{sup} \bar{B} \cdot d\bar{s} \quad \text{Weber} \quad (A-4)$$

FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA.- La fuerza electromotriz inducida para campos magnéticos de la forma $e^{j\omega t}$ se expresa con la ecuación A-5

$$\oint \bar{E} \cdot d\bar{L} = - \int_{sup} \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \cdot d\bar{s} \quad (A-5)$$

El signo menos (-) se debe a la ley de Lenz, por la cual se expresa que la corriente inducida debido a un campo magnético variable con el tiempo siempre tiene un sentido tal que, produce un flujo que se opone a la variación del campo magnético.

En la ecuación A-5 se puede reemplazar la densidad de flujo magnético mediante la siguiente expresión $B = B_{max} e^{j\omega t}$; obteniéndose:

$$\text{fem inducida} = - \int_{sup} \frac{\partial B}{\partial t} \cdot d\bar{s} = - j\omega \int_{sup} \bar{B} \cdot d\bar{s} = - j\omega \phi \quad (A-6)$$

A.1.2 DEDUCCION DE FORMULAS.- A continuación se desarrollen fórmulas para el cálculo de la tensión inducida en los conductores de comunicación telefónica, desde luego tomando en cuenta las ecuaciones anotadas anteriormente.

SISTEMA TRIFASICO SIN CONEXION DEL PUNTO NEUTRO

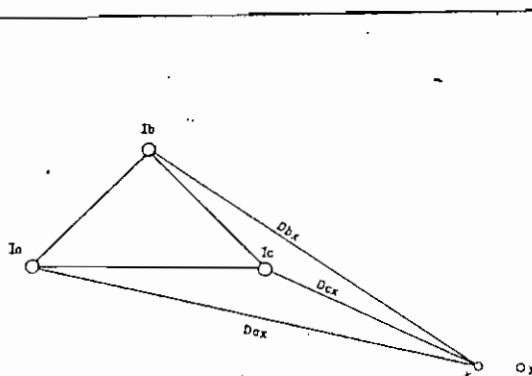


Fig. A-1 Disposición general de los dos sistemas.

Haciendo referencia a la fig. Nº A-1 se puede deducir la fórmula correspondiente.

$V_x = - j\omega\phi$ Tensión inducida en voltios/ m.

$\phi_x = \phi_A + \phi_B + \phi_C$

$\bar{B} = B_{max} e^{j\omega t}$

$B_{max} = \frac{I_{max} \mu}{2\pi r}$ Según A-1

$\phi = \int_{sup} \bar{B} \cdot d\bar{s}$ Según A-4

$$d\vec{s} = dr dz \vec{a}_\phi$$

$$\phi = \iint_{\sigma} B_{\max} e^{j\omega t} dr dz \quad \text{Según A-4}$$

$$V = -j\omega \iint_{\sigma} \frac{\mu I}{2\pi r} dr dz = -j\omega \frac{\mu I}{2\pi} \ln r \quad \text{Voltios/m.} \quad (\text{A-7})$$

μ = Permeabilidad Según A-3

I = Valor eficaz de corriente

r = Distancia existente entre los dos sistemas.

De manera similar se puede calcular las demás contribuciones de flujo magnético creado por los conductores del sistema de potencia, bajo estas consideraciones se obtienen los siguientes resultados:

$$\phi_A = 2 \times 10^7 I_a \ln D_{ax}$$

$$\phi_B = 2 \times 10^7 I_b \ln D_{bx}$$

$$\phi_C = 2 \times 10^7 I_c \ln D_{cx}$$

La tensión inducida bajo estas condiciones será:

$$V_x = -j\omega(\phi_A + \phi_B + \phi_C) \quad \text{Según A-6}$$

$$V_x = -j\omega 2 \times 10^7 (I_a \ln D_{ax} + I_b \ln D_{bx} + I_c \ln D_{cx})$$

Reemplazando el valor correspondiente a la velocidad angular (ω) tendremos:

$$V_x = -j0.1736 (I_a \log D_{ax} + I_b \log D_{bx} + I_c \log D_{cx}) \times 10^{-3} \quad (\text{f/60}) \quad \text{Voltios/m.} \quad (\text{A-8})$$

D_{ax}, D_{bx}, D_{cx} = Distancia entre el conductor a y el conductor de comunicación x.

f = Frecuencia del sistema Hz.

Se llegará al mismo resultado por medio del coeficiente

de inducción mutua.

$$M = \frac{\Phi_{12}}{I_1} \quad (A-9)$$

Φ_{12} = Flujo producido por el conductor 1 cuando el conductor 2 se halla dentro de este campo.

SISTEMA TRIFASICO CON CONEXION DEL PUNTO NEUTRO

Para este tipo de sistemas se considera que la corriente de retorno por tierra puede ser representada por un conductor ficticio el cual se encuentra a una profundidad determinada.

$$D_t = 658.82 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ metros} \quad (A-10)$$

ρ = Resistividad del terreno en $\Omega\text{-m}$

f = Frecuencia del sistema Hz.

Además para este tipo de sistemas debe considerarse la resistencia de tierra cuyo valor es el siguiente:

$$0.0593 (f/60)^{-2} \text{ m.} \quad (A-11)$$

Siguiendo el mismo procedimiento que en el caso anterior se puede escribir las siguientes ecuaciones:

$$\text{Sistema 1 } \Phi V_x = I (f/60) (0.0593 + j0.1736 \log D_{ax}/D_{ax}) \times 10^{-3} \text{ voltios/metro.} \quad (A-12)$$

$$\text{Sistema 3 } \Phi V_x = 0.1778 (f/60) I_0 + j0.1736 (f/60) (I_a \log D_{ex}/D_{ax} + I_b \log D_{ex}/D_{bx} + I_c \log D_{ex}/D_{cx}) \times 10^{-3} \text{ Voltios/metros} \quad (A-13)$$

I_a, I_b, I_c = Corriente eficaz en cada uno de los conductores del sistema de potencia.

D_{ax}, D_{bx}, D_{cx} = Distancia entre el conductor de potencia y el conductor de comunicación.

D_{ex} = Distancia desde el conductor virtual al conductor de comunicación telefónica.

f = Frecuencia del sistema Hz.

A.2 CAMPO ELECTRICO

Los conductores de un sistema de potencia pueden considerarse como líneas de carga de longitud infinita, los mismos que producen un campo eléctrico, manifestándose dicho fenómeno como efecto capacitivo distribuido a los largo de las líneas.

Los conductores de comunicación telefónica los cuales se hallan ubicados dentro de este campo eléctrico tendrán su capacitancia distribuida correspondiente.

Las perturbaciones causadas por este fenómeno se manifiestan en la comunicación telefónica como ruido, causando la debida inteligibilidad a la señal. Las tensiones inducidas pueden representarse como generadores conectados entre el conductor telefónico y tierra, desde luego la magnitud de estas tensiones serán desiguales debido a la configuración de los sistemas, ver lámina Nº A-3.

A.2.1 INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO PRODUCIDO POR UNA LINEA

DE CARGA INFINITA.- Haciendo referencia a la lámina Nº A-4 se hacen algunas consideraciones para la deducción de las fórmulas correspondientes.

La línea tiene una carga lineal (L_1), se encierra a la misma por medio de un cilindro Gaussiano de radio r en el cual el eje del cilindro coincide con la línea de carga y el eje z de coordenadas

cilíndricas.

Según Ley de Gaus:

$$\int \bar{D} \cdot d\bar{s} = \text{Carga encerrada} \quad \text{Coulb} \quad (A-14)$$

$$\bar{D} = \text{Densidad de flujo eléctrico} \quad \text{Coulb/m}^2$$

$d\bar{s}$ = Elemento diferencial de superficie

$$\int D_r \bar{a}_r \cdot ds \bar{a}_r + \int D_r \bar{a}_r \cdot ds \bar{a}_z = \rho L$$

$$\int D_r ds = \rho L$$

$$D_r \int_0^{2\pi} \int_0^L r d\phi dz = \rho L$$

$$D_r 2\pi r L = \rho L \quad \implies \quad D_r = \frac{\rho}{2\pi r}$$

Por definición:

$$\bar{D} = \epsilon \bar{E} \quad (A-15)$$

$$D_r = \epsilon E_r$$

$$\epsilon = \text{Permitividad eléctrica} \quad \frac{10^{-9}}{36\pi} \frac{\text{Coulb}}{\text{Neut.m}^2}$$

$$E_r = \frac{\rho}{2\pi \epsilon r}$$

$$E = \frac{\rho}{2\pi \epsilon r} \bar{a}_r \quad \text{Neut/Coulb} \quad (A-16)$$

Se puede concluir que la variación de intensidad de campo eléctrico es inversamente proporcional a la distancia a la cual se desea evaluar dicha intensidad.

A.2.2 POTENCIAL ALREDEDOR DE UNA LINEA DE CARGA INFINITA.

Por definición:

$$V = - \int \bar{E} \cdot d\bar{L} + K$$

Considerando un sistema de coordenadas cilíndricas

$$d\bar{L} = dr \bar{a}_r + r d\phi \bar{a}_\phi + dz \bar{a}_z$$

$$\begin{aligned} \vec{E} &= -\frac{\lambda_1}{2\pi\epsilon r} \vec{a}_r && \text{Según A-16} \\ V &= -\int \frac{\lambda_1}{2\pi\epsilon r} \vec{a}_r \cdot (dr \vec{a}_r + r d\phi \vec{a}_\phi + dz \vec{a}_z) + K \\ V &= -\frac{\lambda_1}{2\pi\epsilon} \int \frac{dr}{r} + K \\ V &= -\frac{\lambda_1}{2\pi\epsilon} \ln r + K && \text{Voltios (A-17)} \end{aligned}$$

Para evaluar la constante K hacemos la siguiente consideración, a una distancia r_0 el potencial será igual a cero, siendo en esta oportunidad un caso particular más no un caso general.

$$V = \frac{\lambda_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_0}{r} \quad \text{Voltios} \quad (\text{ A-18 })$$

A.2.3 REPRESENTACION DEL CAMPO ELECTRICO DEBIDO A DOS LINEAS DE CARGA PARALELAS

Consideramos un sistema de coordenadas cartesianas, en el eje X se han colocado dos cargas lineales de signos opuestos y separados equidistantemente, la intensidad del campo eléctrico en el punto P se evaluará según la ecuación (A - 16).

Haciendo referencia la figura de la lámina Nº A-5 y después de una serie de manipulaciones se puede decir que:

Para cualquier posición del punto P la diferencia de ángulos ($\alpha_2 - \alpha_1$) es siempre igual a una constante, de lo que se deduce que la representación gráfica corresponde a una familia de círculos cuyos centros se hallan sobre el eje Y.

$$\alpha_2 - \alpha_1 = K \quad (\text{ A-19 })$$

ECUACIONES ANALITICAS DE DICHS CIRCULOS

$$\text{tg} (\alpha_2 - \alpha_1) = \text{tg } C = K$$

$$\text{tg} (\alpha_2 - \alpha_1) = \frac{\text{tg}\alpha_2 - \text{tg}\alpha_1}{1 + \text{tg}\alpha_1 \text{tg}\alpha_2}; \text{tg}\alpha_2 = \frac{y}{x-a}, \text{tg}\alpha_1 = \frac{y}{x+a}$$

Reemplazando valores se puede escribir:

$$K = \frac{2 a y}{x^2 + y^2 - a^2} \iff x^2 + y^2 - a^2 = \frac{2 a y}{K}$$

$$\left(y - \frac{a}{K}\right)^2 + (x-0)^2 = \left(\sqrt{a^2 + \frac{a^2}{K^2}}\right)^2 \quad (\text{A-20})$$

Imagén analítica circulo C \iff $\left(0, \frac{a}{K}\right) \quad r = \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{K^2}}$

A.2.4 REPRESENTACION DEL POTENCIAL ELECTRICO DEBIDO A DOS LINEAS DE CARGA.

Referencia lámina Nº A-6

El Potencial en P según la carga lineal positiva

$$V (+) = \frac{q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{1}{R_1} + K_1 \quad \text{Según A-19}$$

El Potencial en P según la carga lineal negativa

$$V (-) = -\frac{q_2}{2\pi\epsilon} \ln \frac{1}{R_2} + K_2 \quad \text{Según A-19}$$

Potencial total

$$V (T) = \frac{q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1} + (K_1 + K_2) \quad \text{A-21}$$

Considerando que el potencial en el punto G = 0

$$K_1 + K_2 = 0 \quad \text{De acuerdo con A-21}$$

Para hacer la representación gráfica del campo consideramos - una superficie equipotencial, es decir, $V(\varphi) = V_1 = \text{constante } (K)$

$$R2 = \sqrt{(x+a)^2 + y^2} \quad R1 = \sqrt{(x-a)^2 + y^2}$$

$$K = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R2}{R1} \quad \text{Según A-21}$$

$$\frac{2\pi\epsilon K}{q} = \ln \frac{\sqrt{(x+a)^2 + y^2}}{\sqrt{(x-a)^2 + y^2}} \quad \leftrightarrow \quad \frac{4\pi\epsilon K}{q} = \ln \frac{(x+a)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2}$$

$$\text{O} \quad \frac{4\pi\epsilon K}{q} = \frac{(x+a)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2} = K_1 \quad (\text{A-22})$$

Desarrollando la última ecuación encontramos una familia de círculos, los cuales representan cilindros equipotenciales, cuyos centros se hallan en el eje de las X.

$$\left(x - a \frac{K_1 + 1}{K_1 - 1} \right)^2 + y^2 = \left(\frac{2a \sqrt{K_1}}{K_1 - 1} \right)^2 \quad (\text{A-23})$$

$$\text{Imagen analítica } C \leftrightarrow \left(a \frac{K_1 + 1}{K_1 - 1}, 0 \right) \quad r = \frac{2a \sqrt{K_1}}{K_1 - 1}$$

A.2.5 CAPACIDAD DEBIDO AL CAMPO ELECTRICO

CAPACIDAD ENTRE UN CONDUCTOR Y UN PLANO DE POTENCIAL CERO

Referencia lámina A-7:

$$h = a \frac{(K_1 + 1)}{K_1 - 1} \Rightarrow K_1 = \frac{h + a}{h - a}, \text{ reemplazando este último valor en A-23}$$

$$r = \frac{2a \sqrt{K_1}}{K_1 - 1} \Rightarrow r^2 = h^2 - a^2$$

$$K_1 = \epsilon \frac{2\pi\epsilon V_1}{q} = \frac{h + \sqrt{h^2 - r^2}}{r} \Rightarrow V_1 = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{h + \sqrt{h^2 - r^2}}{r}$$

$$\text{Capacidad } C = \frac{q_1}{V_1} = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln \frac{(h + \sqrt{h^2 - r^2})}{r}} \text{ Faradios (A-24)}$$

Condición:

Si $h > r$

$$C/l = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{2h}{r}} \text{ Faradios/m (A-25)}$$

$$C/l = \frac{\pi\epsilon}{\ln \frac{2h}{r}} \text{ Faradios/m (A-26)}$$

Capacidad entre dos líneas

CAPACITANCIA ENTRE DOS CONDUCTORES DE RADIO DIFERENTE

Haciendo referencia a la línea Nº A-7 se puede hacer los cálculos correspondientes

$$V_1 = \frac{q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_1}{R_2} = \frac{q_1}{2\pi\epsilon} \ln \left(\frac{d_1}{r_1} \right) \text{ Según A-20}$$

$$V_2 = \frac{-q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_1'}{R_2'} = \frac{-q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_2'}{R_1'} = \frac{-q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{d_2}{r_2} \text{ Según A-20}$$

Definición $C = \frac{Q}{V_1 - V_2}$

$$C/l = \frac{q_1}{V_1 - V_2}$$

$$C/l = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{d_1}{r_1} - \ln \frac{d_2}{r_2}}$$

Consideraciones:

Según Teorema del punto inverso $\sigma_1 d_1 = r_1^2$

$$\sigma_2 d_2 = r_2^2$$

Según gráfico lámina Nº A-7 $D = d_2 + \sigma_1$

$$D = d_1 + \sigma_2$$

Haciendo las manipulaciones correspondientes se llega a establecer lo siguiente:

$$\frac{d_1}{r_1} = \frac{D^2 - r_2^2 + r_1^2 + \sqrt{(D^2 - r_2^2 + r_1^2)^2 - 4 D^2 r_1^2}}{2 D r_1}$$

$$\frac{d_2}{r_2} = \frac{D^2 - r_1^2 + r_2^2 - \sqrt{(D^2 - r_1^2 + r_2^2)^2 - 4 D^2 r_2^2}}{2 D r_2}$$

Por consiguiente la capacitancia por unidad de longitud para este caso será:

$$C/l = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{r_2}{r_1} \frac{D^2 - r_2^2 + r_1^2 + \sqrt{(D^2 - r_2^2 + r_1^2)^2 - 4 D^2 r_1^2}}{D^2 - r_1^2 + r_2^2 - \sqrt{(D^2 - r_1^2 + r_2^2)^2 - 4 D^2 r_2^2}}} \quad (A-27)$$

Si en esta última ecuación se considera un caso particular, es decir, si $r_1 = r_2 = r$...

Se llegará a una ecuación (A-26) ya deducida anteriormente

$$= C/l \frac{\pi\epsilon}{\ln \frac{D}{2r} + \sqrt{(\frac{D}{2r})^2 - 1}} \quad \text{FAB/m.}$$

que es la capacitancia entre dos líneas cargadas.

D = Separación existente entre los centros de los dos conductores.

ϵ = Permitividad eléctrica.

r = Radio del conductor.

A.3 CONFIGURACION DE LOS SISTEMAS

Del estudio realizado en este Anexo se demuestra que la magnitud de tensiones inducidas en los conductores de comunicación telefónica dependen de la configuración y separación que tengan ambos siste

mas.

DISPOSICION DE LOS CONDUCTORES EN EL SISTEMA DE POTENCIA

La disposición de los conductores en el sistema de Potencia depende de la distancia entre fases $d = K \sqrt{f+l}k + \frac{VN}{150}$ (metros)

d = Distancia entre fases metros.

f = Flecha en la mitad del vano metros.

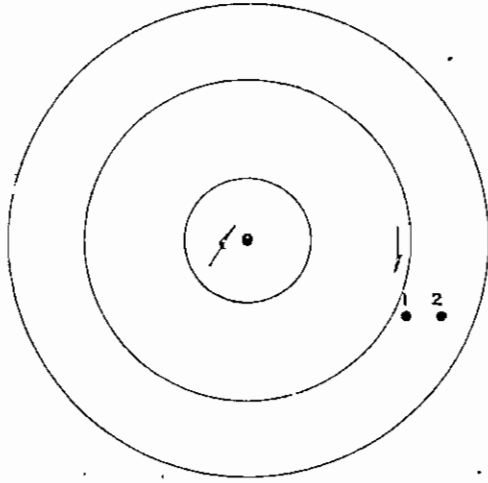
lK = Longitud de la cadena de aisladores metros.

K = Constante que depende de la sección del conductor.

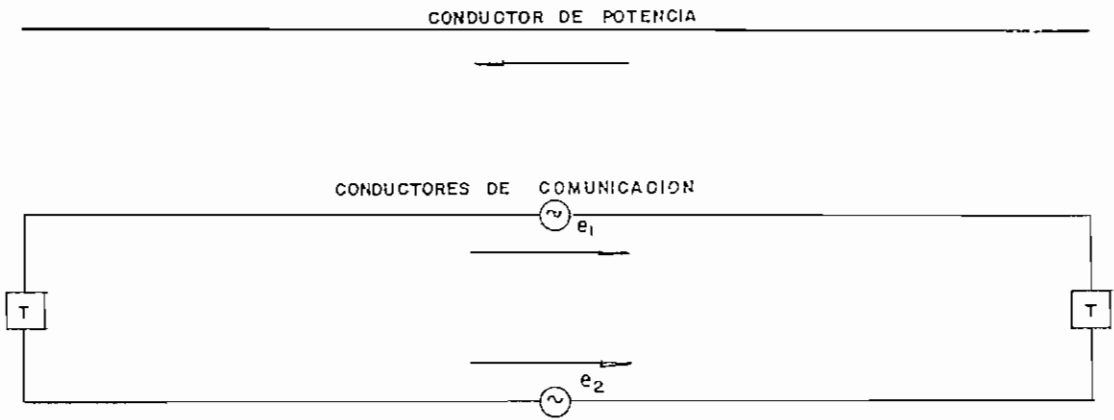
VN = Tensión del sistema en KV.

DISPOSICION DE LOS CONDUCTORES EN EL SISTEMA DE COMUNICACION TELEFONICA

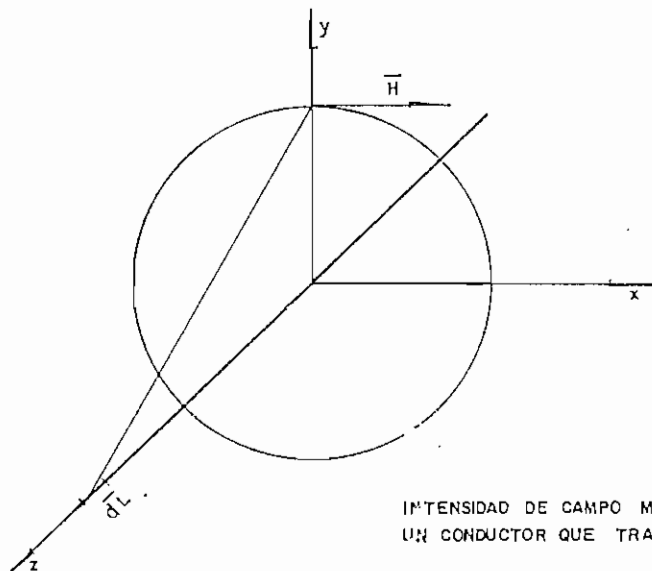
Como se definió en el primer capítulo el sistema de comunicación telefónica se halla definido por un bajo nivel de tensión como de corriente, por consiguiente, la disposición de los conductores será unicamente con el fin de evitar cualquier cortocircuito entre los mismos.



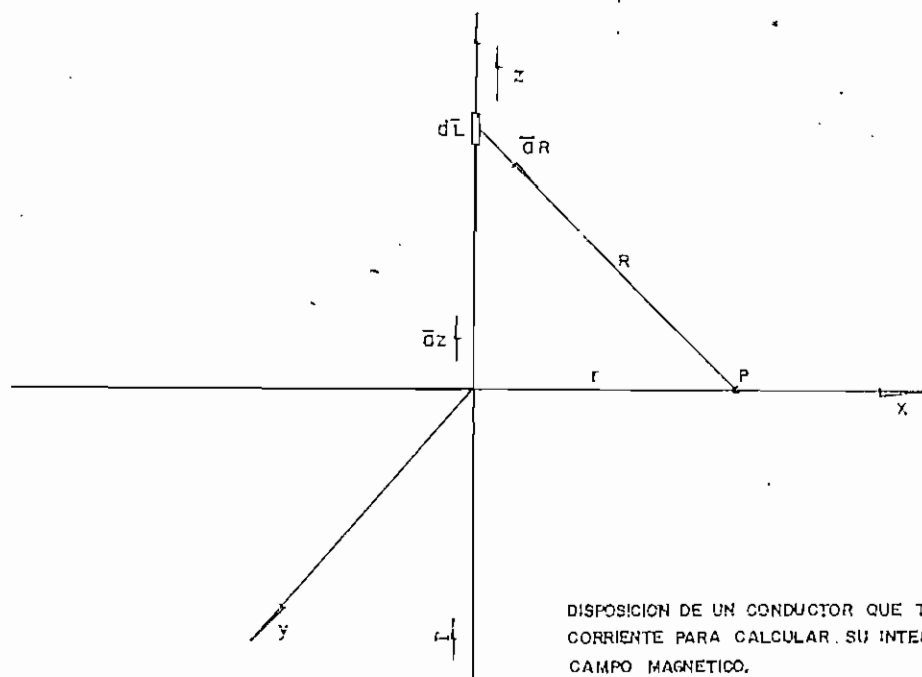
CAMPO MAGNETICO PRODUCIDO POR UN CONDUCTOR DE POTENCIA, EL CUAL CONCATENA A LOS CONDUCTORES DE COMUNICACION TELEFONICA 1 Y 2



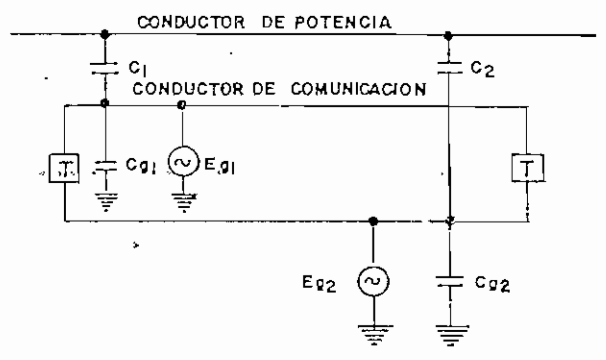
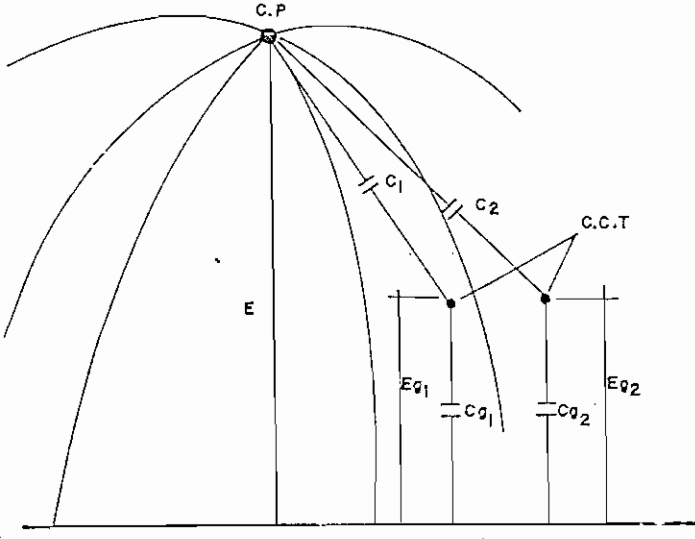
TENSIONES INDUCIDAS DESIGUALES e_1 Y e_2 PRODUCIDAS POR UN CAMPO MAGNETICO QUE SE DESARROLLA EN EL SISTEMA DE POTENCIA.



INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO PRODUCIDO POR UN CONDUCTOR QUE TRANSPORTA CORRIENTE



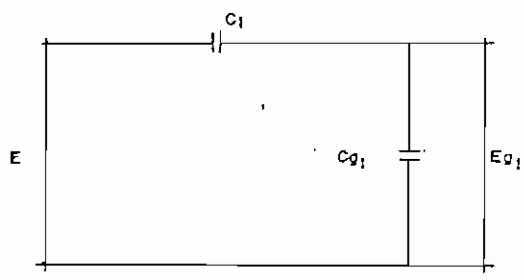
DISPOSICION DE UN CONDUCTOR QUE TRANSPORTA CORRIENTE PARA CALCULAR SU INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO.



CAMPO ELECTRICO PRODUCIDO POR UN CONDUCTOR DE POTENCIA, EL CUAL CONCATENA A LOS CONDUCTORES DE COMUNICACION TELEFONICA 1 Y 2

TENSIONES INDUCIDAS DESIGUALES E_{g1} Y E_{g2} PRODUCIDAS POR UN CAMPO ELECTRICO QUE SE DESARROLLA EN EL SISTEMA DE POTENCIA.

TENSIONES INDUCIDAS



$$E_{g1} = E \frac{C_1}{C_1 + C_{g1}}$$

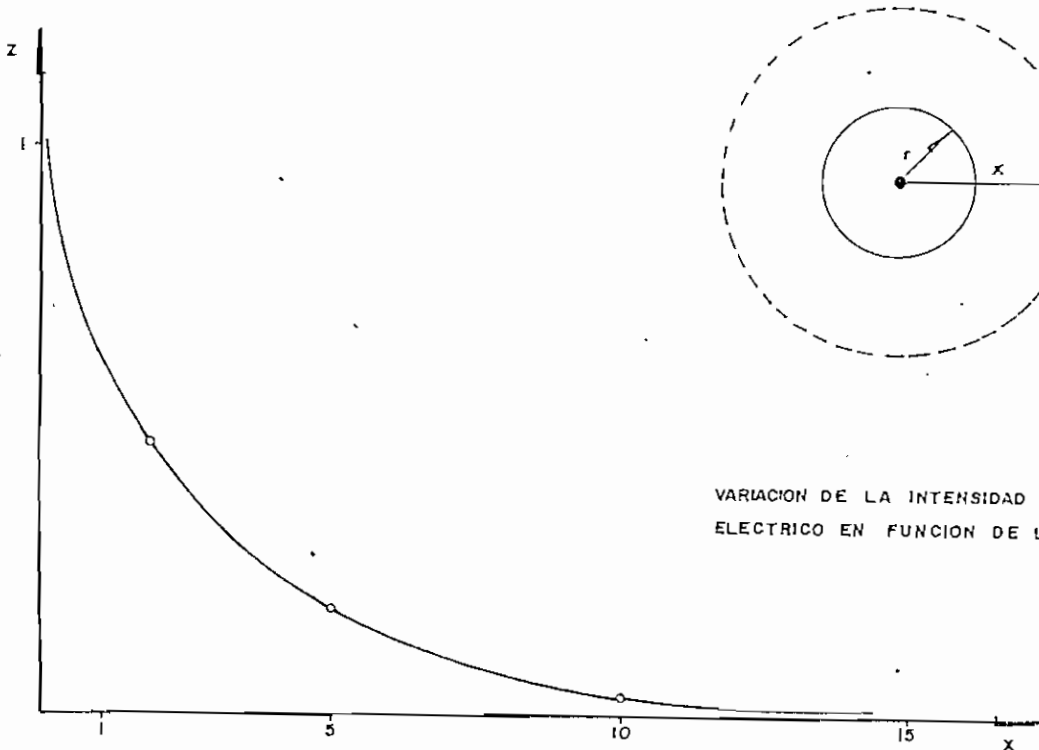
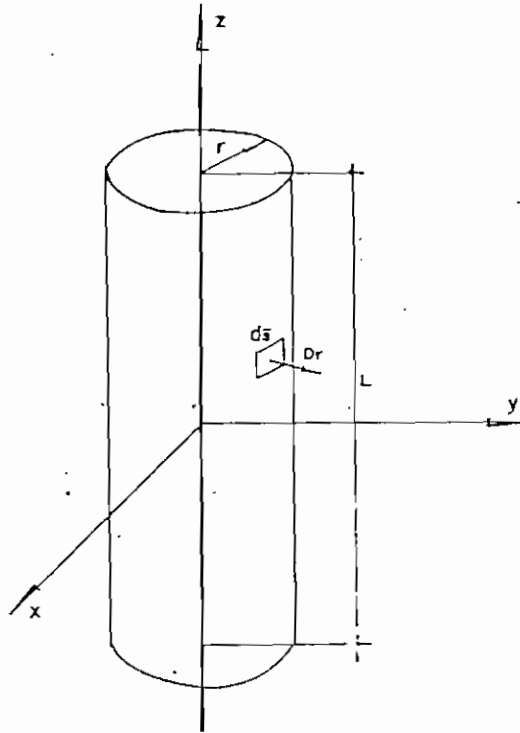
$$E_{g2} = E \frac{C_2}{C_2 + C_{g2}}$$

C_1 Y C_{g1} = UNIDADES DE CAPACITANCIA POR METRO LINEAL

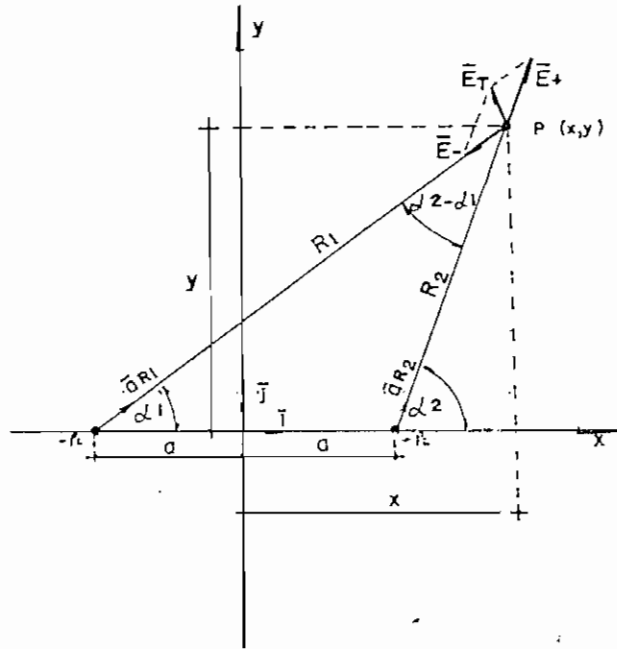
E = NIVEL DE TENSION DEL SISTEMA DE POTENCIA (VOLTIOS)

E_{g1} Y E_{g2} = TENSION INDUCIDA EN VOLTIOS

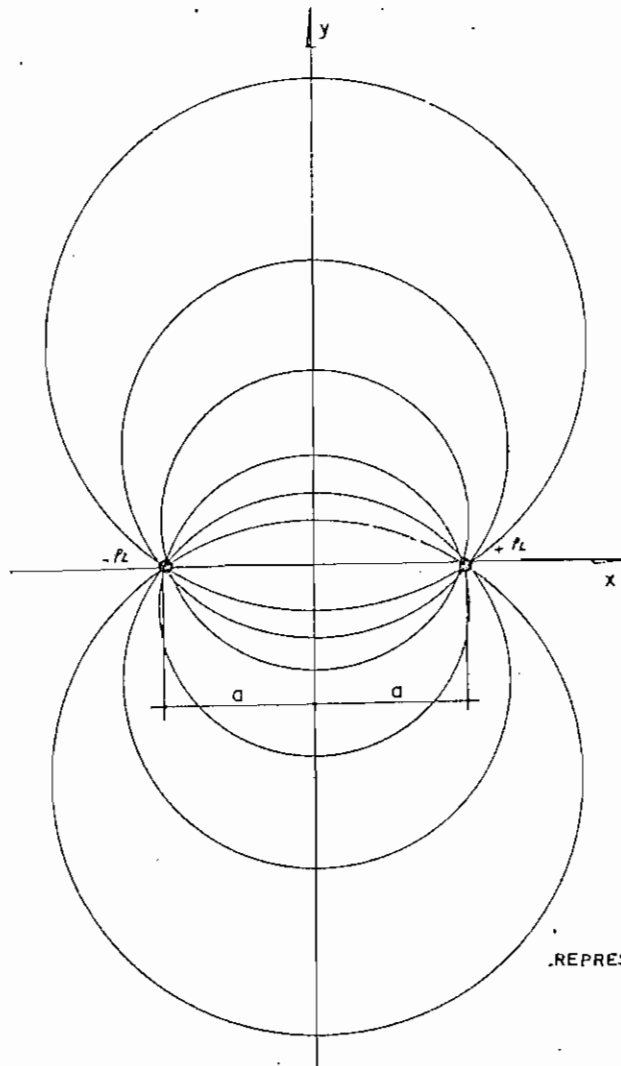
CAMPO ELECTRICO PRODUCIDO POR UNA LINEA DE CARGA INFINITA



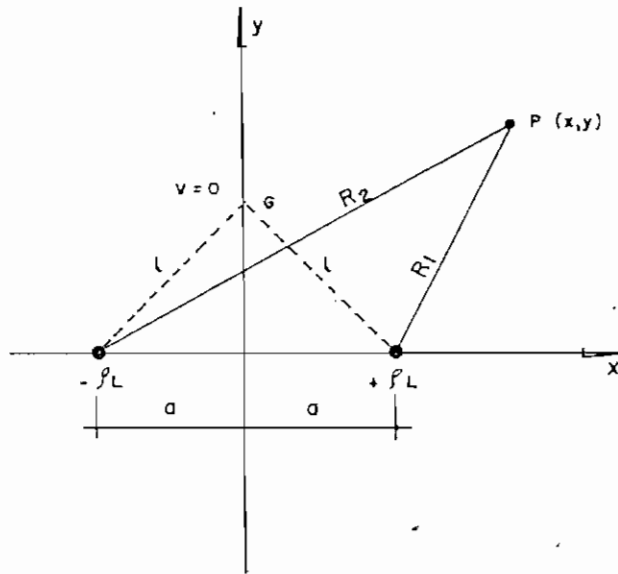
VARIACION DE LA INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO EN FUNCION DE LA DISTANCIA



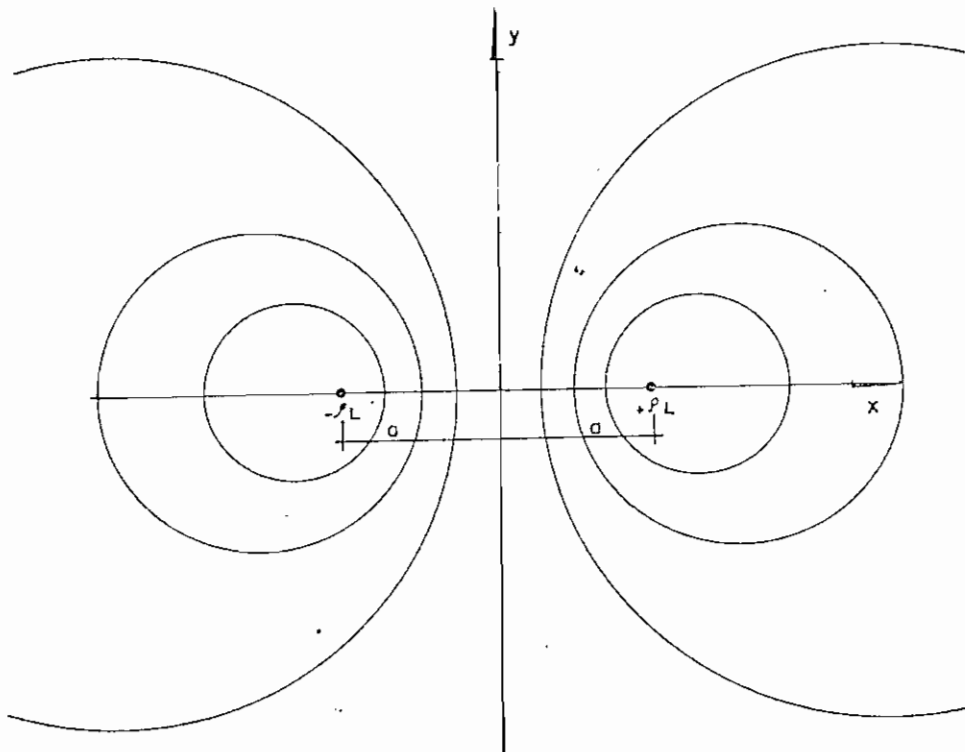
DOS LINEAS DE CARGA LAS CUALES PRODUCEN UN CAMPO ELECTRICO RESULTANTE.



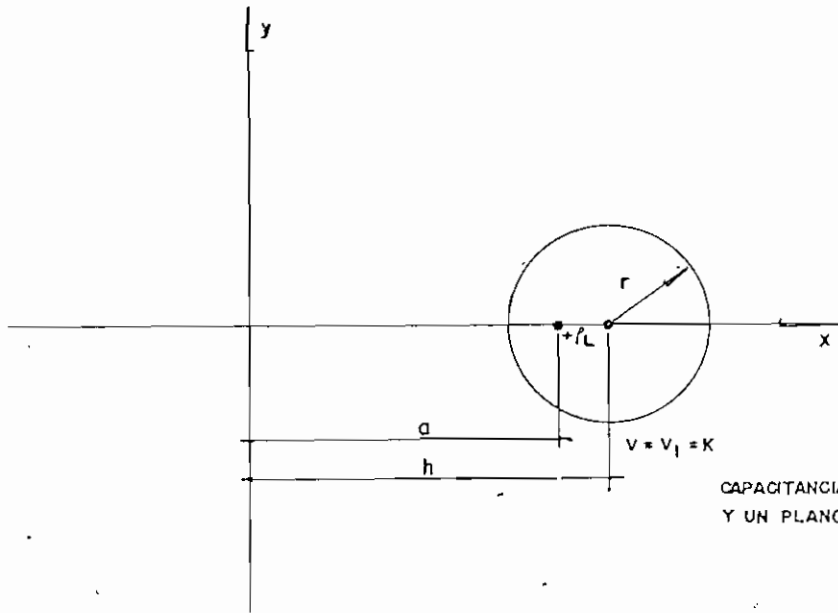
.REPRESENTACION DEL CAMPO ELECTRICO



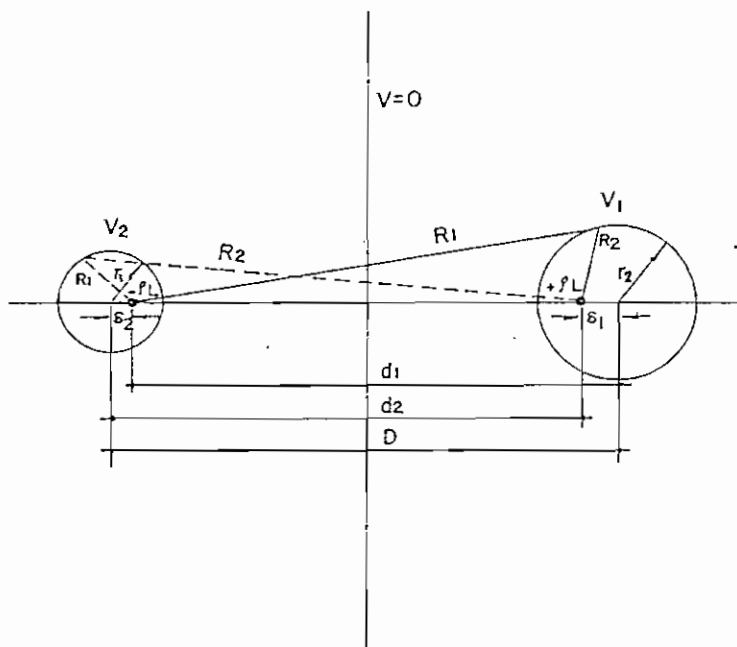
POTENCIAL ELECTRICO DEBIDO A DOS LINEAS DE CARGA



REPRESENTACION GRAFICA DEL POTENCIAL ELECTRICO

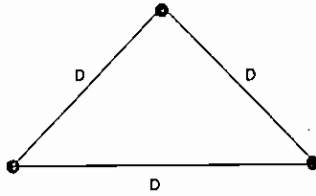


CAPACITANCIA ENTRE UN CONDUCTOR Y UN PLANO DE POTENCIAL CERO

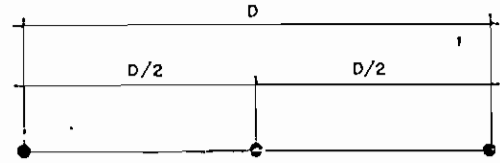
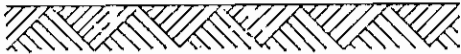


CAPACITANCIA ENTRE DOS CONDUCTORES DE RADIO DIFERENTE

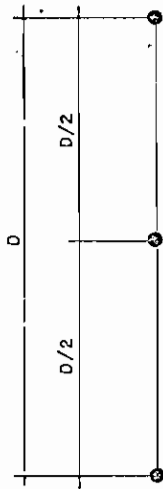
DISPOSICION TIPICA DE CONDUCTORES EN LOS SISTEMAS DE POTENCIA



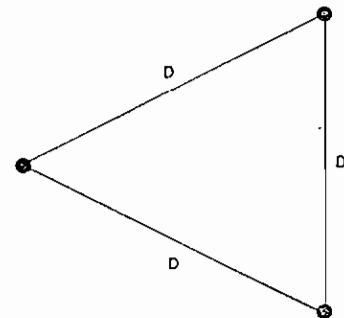
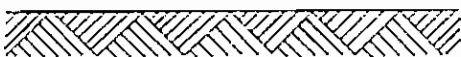
DISPOSICION TRIANGULAR



DISPOSICION HORIZONTAL



DISPOSICION VERTICAL



DISPOSICION ALTERNADA



B I B L I O G R A F I A

L I B R O S

- ARTHUR LEMUEL ALBERT Comunicación eléctrica, New York Third Edition - 1.950.
- WESTINGHOUSE Transmisión y distribución eléctrica, Reference book, United States, Fourth Edition - 1950.
- A.E. KNOWLTON Manual "Standar" del ingeniero electricista, Editorial Labor S.A., Primera Edición, Volumen II - 1953.
- B. LATHI Señales y sistemas de comunicación, John Wiley Sons, Inc. New York, Segunda Edición 1967.
- WILLIAM D. STEVENSON Análisis de sistemas eléctricos de potencia, Ediciones Del Castillo S.A, Madrid, Segunda Edición - 1965.
- LUIS MARIA CHECA Líneas aéreas de transporte de energía eléctrica e instalaciones auxiliares de telecomunicación, Madrid - 1948.
- J. ATKINSON Telefonía, London, Volumen I, Isaac Pitman, Nueva Edición 1965.
- M.I.T. Circuitos eléctricos, Compañía Editorial Continental S.A., México 22 D.F., Segunda Edición 1959.

- JOHN D. KRAUS Electromagnetismo, Editorial " El Ateneo ", Argentina 1960.
- ALEXANDER S. LANGSDORF Teoría de máquinas de corriente alterna. Mc Graw-Hill Book Company Inc., Koga -- Kusha Company Ltd., Tokyo 1955.
- PROYECT E.H.V. Manual de líneas de transmisión de Extra - alto voltaje, Edison Electric Institute -- New York 1958.

REVISTAS Y PUBLICACIONES

- WILHEM PETERSON Introducción a la telecomunicación a larga distancia, Suecia Registro NQ84, Edic. 1964.
- OLLAN OSCARSSON Protección contra perturbaciones eléctricas en Centrales Telefónicas, Telefonaktiebolaget LM Ericsson 1964.
- V.I.T. Del semáforo al satélite, Publicado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones con ocasión de su Aniversario, Ginebra 1965.
- ING. ALFREDO MENA P. Introducción al estudio de fenómenos transitorios en líneas de transmisión, Escuela Politécnica Nacional, Quito 1972.
- TRANSACTION Mediciones del campo eléctrico, Diciembre - 1966.

E Q U I P O S

Transformador de alta tensión 50 - 100 KV (2.5 - 5KVA). ⁱ

Instrumento de medida de tensión (Pupitre de mando).

Osciloscopio 130 c, Hewlett-Packar, Serie 312-00842 115/230
voltios.

Descargador (Protector) Tipo AP 45 pF 120 V. A.C.

Oscilador HP. 200 CD Serie 333-51214 5 Hz a 600.000 Hz.