



D-8616

T
621.393
Y943 c.2

ESCUELA SUPERIOR

BIF

POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

DISTRIBUCION MONOFASICA USANDO EL SISTEMA

SWER APLICABLE EN ZONAS RURALES

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: POTENCIA

Presentada por:

EDISON YEPEZ ROSERO

GUAYAQUIL - ECUADOR

1987

DEDICATORIA



BIBLIOTECA



DIF

A MIS PADRES

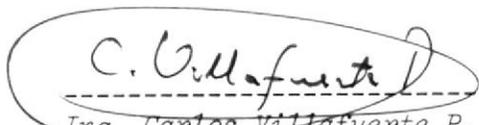
A MI TIA

A MIS HERMANOS

AGRADECIMIENTO

AL ING. JORGE CHIRIBOGA

Director de Tesis, por su
ayuda y colaboración
para la realización
de este trabajo



Ing. Carlos Villafuerte P.
SUB-DECANO DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA ELECTRICA



Ing. Jorge Quiñboga V.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Alberto Hanze B.
MIEMBRO PRINCIPAL
DEL TRIBUNAL



Ing. Cristóbal Mera G.
MIEMBRO PRINCIPAL
DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

" LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS
EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE;
Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ".

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS
PROFESIONALES DE LA ESPOL)



EDISON YEPEZ ROSERO

RESUMEN

BIBLIOTECA

En esta tesis se presenta al Sistema de Distribución monofásico con Retorno por Tierra (SWER) como una alternativa para la Electrificación Rural, tomando en cuenta los factores técnico y económico que influyen en todo Proyecto de Electrificación Rural.

La contribución que presenta este trabajo al campo de la Electrificación Rural, es la aplicación del Sistema SWER considerando los altos costos de los materiales para la construcción de una línea de Distribución de tipo Rural. Se hace el diseño del Sistema SWER considerando todos los factores que influirán en el buen funcionamiento del Sistema, dando especial importancia a los sistemas de puesta a tierra de los transformadores de distribución conectados a la línea SWER y a la resistividad de la tierra por la que pasará la línea.

La evaluación del Sistema SWER se hace calculando la caída de tensión y pérdidas en la línea en un Proyecto específico; comparándolo con el Sistema de Distribución Monofásico Fase- Neutro convencional, además se hacen los cálculos económicos de los dos Sistemas, con lo que se puede observar las grandes ventajas que ofrece el Sistema SWER desde los puntos de vista técnico y económico.

Se sugiere que para la aplicación exitosa del Sistema, se construya una línea SWER experimental con los criterios expuestos en esta Tesis.

INDICE GENERAL

	Pág
RESUMEN.....	vi.
INDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCION.....	12
CAPITULO I	
CARACTERISTICAS DEL SISTEMA SWER.....	15
1.1. Datos Generales.....	15
1.2. Características técnicas del Sistema SWER.....	18
1.3. Las economías del Sistema SWER.....	20
CAPITULO II	
DISEÑO DE LA LINEA SWER.....	22
2.1. Análisis de la zona a electrificar.....	22
2.2. Capacidad de carga de una línea SWER.....	22
2.3. Impedancia de la línea SWER.....	23
2.4. Corriente capacitiva de una línea SWER.....	25
2.5. Las puestas a tierra.....	27
2.5.1. Importancia de la tierra.....	27

2.5.2. Seguridad a la vida.....	27
2.5.3. Capacidad de corriente de la puesta a tierra.....	29
2.5.4. Resistividad de la tierra.....	30
2.5.5. Medición de la resistividad de la tierra.....	31
2.5.6. Medición de la resistencia de puesta a tierra.....	37
2.6. Protección de la línea SWER.....	41
2.7. Convertidores de fases para sistemas monofásicos.....	45
2.8. La línea SWER y las líneas de comunicaciones...	52
CAPITULO III	
ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DEL SISTEMA SWER.....	59
3.1. Cálculo de la caída de tensión en la línea.....	59
3.2. Cálculo de las pérdidas en la línea.....	61
3.3. Cálculos económicos.....	62
3.4. Experiencias obtenidas.....	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFIA.....	80

INDICE DE FIGURAS

No.		Pág.
1	Métodos de Electrificación Rural.....	16
2	Impedancia de la línea SWER.....	24
3	Efecto de la capacidad de la línea.....	26
4	Direcciones de medición de resistividad.....	32
5	Método general de medición de la resistividad la tierra.....	33
6	Configuración Wenner para medir la resistividad..	36
7	Conexión a tierra de la línea SWER.....	37
8	Gráfica de las mediciones de la resistencia a tierra.....	38
9	Puesta a tierra de la línea SWER.....	40
10	Resistencia de puesta a tierra vs. resistividad..	42
12	Convertidor Estático.....	48
13	Diagrama vectorial para el convertidor estático..	49
14	Diagramas vectoriales para el convertidor estático.....	51
15	Inducción Electrostática.....	56
16	Inducción Electromagnética.....	57
17	Ubicación del proyecto y trazado de línea de alimentación.....	76

INDICE DE TABLAS

TABLA	Pag.
1-A Cálculo de regulación de voltaje y pérdidas. Alternativa I (Año 1).....	66
1-B Cálculo de regulación de voltaje y pérdidas. Alternativa II (Año 1).....	67
2-A Cálculo de regulación de voltaje y pérdidas. Alternativa I (Año 5).....	68
2-B Cálculo de regulación de voltaje y pérdidas. Alternativa II (Año 5).....	69
3-A Cálculo de regulación de voltaje y pérdidas. Alternativa I (Año 15).....	70
3-B Cálculo de regulación de voltaje y pérdidas. Alternativa II (Año 15).....	71
4 Presupuesto del Proyecto de Electrificación Rural. Alternativa I.....	72
5 Presupuesto del Proyecto de Electrificación Rural. Alternativa II.....	73
6 Análisis Económico Método Incremental Alternativa I.....	74
7 Análisis Económico. Método Incremental Alternativa II.....	74

INTRODUCCION.

La electrificación rural en nuestro país, como factor dinámico, ha logrado un doble objetivo, por un lado el crecimiento de la red eléctrica como elemento integrador de la comunidad y por otro la posible incorporación de un núcleo demográfico a una producción más desarrollada. En comparación con la demanda requerida en las zonas industriales, la electrificación rural se presenta como una alternativa de desarrollo para el país.

El sistema de distribución monofásica con retorno por tierra, ha sido aplicado en distintos países en épocas variadas y empleando técnicas particulares, pero siempre buscando un resultado común, que consiste en lograr reducir los costos de construcción y operación de los sistemas de distribución rurales, principalmente para atender el suministro de los servicios que se encuentran retirados de las concentraciones urbanas y cuyas demandas son relativamente pequeñas, o tienen una gran diversidad en su operación.

El avance que ha tenido el sistema SWER en otros países es considerable, dado que se ha comprobado ampliamente que es una forma de instalación que garantiza una amplia economía y un adecuado resultado en la operación de las instalaciones.

Uno de los problemas mas importantes que se han tenido en la ejecución de programas de Electrificación Rural, ha sido el alto grado de inflación que han sufrido los materiales y mano de obra para estas construcciones, situación por la cual se ha decidido la aplicación del sistema SWER, con lo que se han logrado reducir considerablemente los problemas existentes de operación de las instalaciones rurales y su alto costo de construcción.

ANTECEDENTES DEL METODO.

El método del conductor unico con retorno por tierra se caracteriza por un transformador de aislación instalalado al inicio de la línea con conductor único y con retorno por tierra, su aplicación en la electrificación rural se debe al Ingeniero Neozelandez Lloyd Mandeno, quien tuvo esta idea y la llevó a cabo en instalaciones rurales del norte de Auckland (Australia) en el año de 1939.

Habiendose obtenido magnificos resultados en las redes de distribución de Nueva Zelanda, se invitó al Ingeniero Mandeno, a dar conferencias sobre el método en Australia con el fin de dar aqui aplicación a este tipo de electrificación.

En el año 1953, se construyó la primera línea de conductor único con retorno por tierra con fines experimentales en el estado de Victoria, Australia, y seguidamente se establecieron normas adecuadas de construcción e instrucciones técnicas sobre su operación. Habiendo sido tan ampliamente aceptado el método, para el año 1965, existían en Australia un total de 24.000 Km. de línea instalados.

El sistema SWER fue patentado en Australia por Lloyd Mandeno bajo la patente # 115154.

APLICACIONES Y FUTURAS TENDENCIAS.

La ingeniosa idea del sistema SWER, caracterizado por la introducción del transformador de aislación para alimentar un único conductor de la línea, y su aplicación en la electrificación rural, ha sido ampliamente utilizada a nivel mundial. El método fue tan ampliamente utilizado que en Canadá existen 112.630 km. construidos, con una potencia instalada de 106 MW. por citar un caso de la utilización del sistema.

CAPITULO # 1

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA SWER.

1.1. DATOS GENERALES.

En la figura # 1 se representa tres diferentes métodos aplicados en la electrificación rural. En primer lugar se indica la distribución trifásica convencional desde el punto de alimentación. La tensión de alimentación es de 13.8 KV.

En segundo lugar se considera la distribución monofásica fase neutro, desde una línea troncal trifásica, con neutro metálico. La tensión de alimentación es de $13.8/\sqrt{3}$.

Como tercera solución se introduce el SISTEMA SWER. En la derivación desde la línea troncal a 13.8 KV, sin neutro metálico, se conecta un transformador de aislación entre dos conductores de relación 1:1. Un polo del secundario se conecta rigidamente a tierra y el otro a la línea SWER que consiste de un solo conductor. Cada transformador de distribución a lo largo de la línea se conecta de igual forma, la

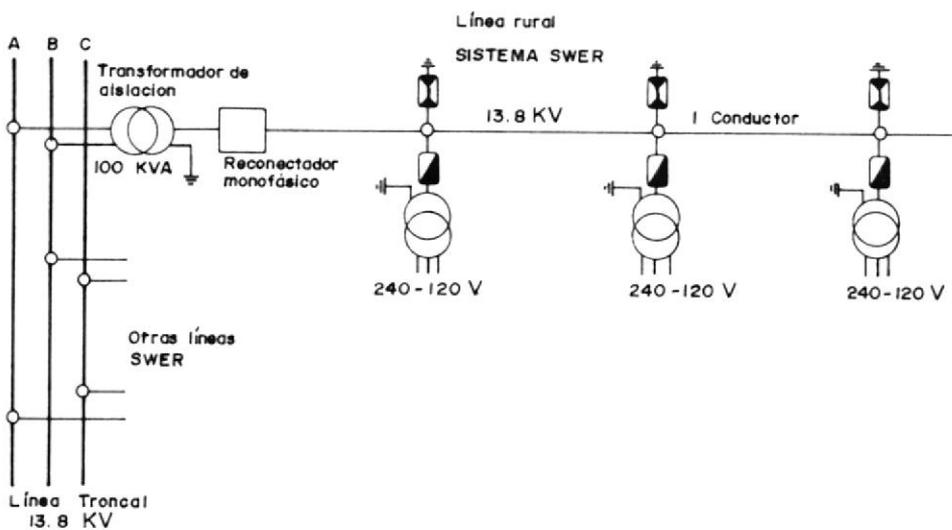
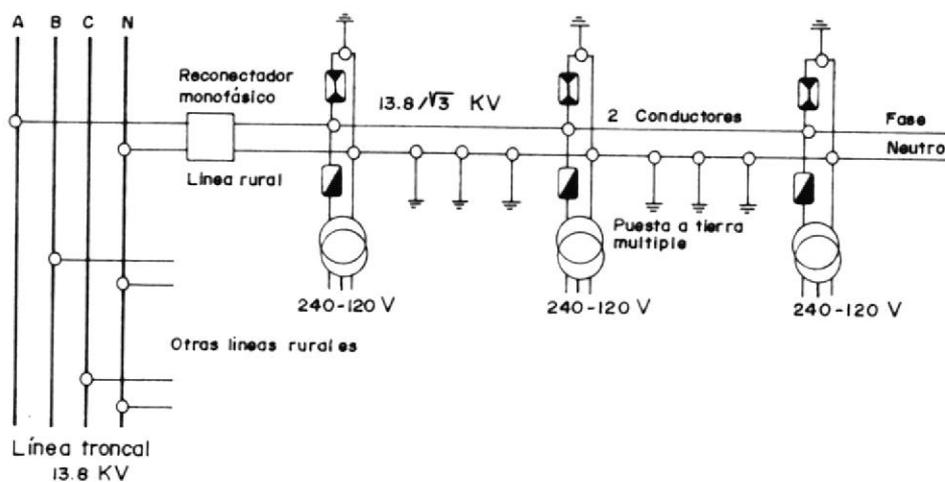
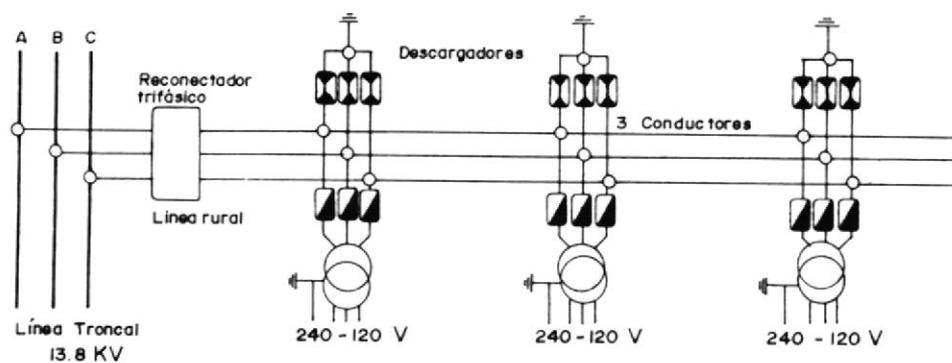


FIGURA N° 1
METODOS DE ELECTRIFICACION RURAL

distribución se realiza a través de un solo conductor con retorno por tierra, de ahí viene el nombre SWER (Single wire earth return).

Como el método se ha introducido con esta sigla en la literatura técnica internacional, se prefiere mantener la denominación establecida. La tensión de alimentación es de 13.8 KV.

De los tres métodos, se puede descartar el primero ya que es antieconómico en comparación con la alimentación monofásica convencional que satisface la gran mayoría de consumidores rurales. Se ha visto que el 80% de las líneas rurales se construyen en forma monofásica.

El método SWER, tiene a su vez como se verá más adelante ventajas de orden económico y técnicas sobre la alimentación monofásica convencional. El hecho de utilizar a la tierra como conductor de retorno, obliga a tomar ciertas medidas una de ellas la de introducir el transformador de aislación para contrarrestar posibles efectos sobre seres humanos y animales y una eventual repercusión en los medios de telecomunicación con resultados satisfactorios.

1.2. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL SISTEMA SWER

Una de las primeras medidas adoptadas por las autoridades de Nueva Zelanda y Australia fue la limitación de la corriente máxima en la línea SWER.

Se adoptó un valor de 8 Amp. que es un valor conservativo, no se descarta la posibilidad de elevar el límite a 10 o 12 Amperios en un futuro no lejano.

El sistema SWER de la figura # 1 trabaja a la tensión de 13.8 KV., la capacidad total de la derivación llega entonces a $8 * 13.8 \text{ KV.} = 110.4 \text{ KVA.}$, si la carga promedio de un establecimiento rural no excede de 0.8 KW. al iniciarse el servicio y llega a 2 Kw. después de un tiempo considerable la línea SWER puede atender a unos 40 usuarios por largo tiempo.

En cuanto a la distancia máxima de la línea no hay problema en extenderla hasta 50 Km., ya que, la caída de tensión como factor limitante es reducida.

La sección del conductor se elige mas bien en conformidad con las exigencias mecánicas y resulta

sobredimensionada con respecto a las cargas a atender.

La tensión de la línea SWER no depende necesariamente de la tensión de la línea troncal trifásica, por medio de una relación adecuada del transformador de aislación que siempre se requiere, se ajusta la tensión de la línea SWER a las condiciones locales.

Cuando las líneas se hacen muy largas se debe tener en cuenta el efecto capacitivo de la corriente de carga que es del orden de 0.025 Amp/Km. para una línea SWER a 13.2 KV. y de 0.038 Amp/Km. para una línea SWER a 19.05 KV., y para este último caso si la línea tiene una extensión de 100 Km. se tendría una corriente capacitiva de 3.8 Amp., lo cual limitaría la capacidad de la línea.

Felizmente existen dos factores para compensar este efecto: la corriente magnetizante de los transformadores de distribución y el carácter inductivo de la carga .

Por otra parte la ventaja de la línea se acentúa con la extensión de la línea como se verá mas adelante en mayor detalle. Cuando la extensión de la línea es

muy corta, estas economías no compensan el costo del transformador de aislación. Por ello no se recomienda este tipo de instalación para distancias inferiores a 10 Km.

1.3. LAS ECONOMIAS DEL SISTEMA SWER

Las ventajas del sistema SWER comparado con el sistema monofásico convencional, desde igual sistema trifásico troncal puede resumirse como sigue:

- Eliminando el conductor neutro a lo largo de la línea, se obtiene un ahorro en el costo de la instalación del orden del 15% para líneas relativamente cortas (10 Km.) y del 20 % para líneas mas largas .
- La instalación del transformador de aislación permite utilizar la tensión disponible en el sistema.
- La limitación de la corriente de cortocircuito que alcanza a lo sumo el valor de 250 Amp., permite la utilización de reconectores y otros elementos de protección de bajo costo.

- Los gastos de mantenimiento y explotación son mas bajos debido a la menor posibilidad de falla y ausencia de un conductor.

- Este último detalle reduce considerablemente las sollicitaciones mecánicas en los postes admitiéndose mayores vanos.

- El montaje de la línea se realiza en menor tiempo lo cual trae como consecuencia ahorro en la mano de obra.



CAPITULO # 2.

DISEÑO DE LA LINEA SWER.

2.1. ANÁLISIS DE LA ZONA A ELECTRIFICAR.

Antes de la instalación de una línea SWER es necesario hacer una investigación del área a electrificar, esto es:

- Número posible de usuarios y su carga.
- Nivel socioeconómico de los usuarios.
- Líneas de comunicación cercanas.
- Posible desarrollo futuro.

Con respecto a la separación entre la línea SWER y las líneas de telecomunicaciones se debe conservar una distancia mínima de separación de la línea SWER para evitar interferencia.

2.2. CAPACIDAD DE CARGA DE UNA LINEA SWER

En un sistema de distribución, la regulación de voltaje es el factor más importante que determina la capacidad de carga que puede soportar la instalación y en el caso de emplear a la tierra como retorno, el

resultado desde el punto de vista de regulación es mas favorable que emplear la línea monofásica de fase-neutro o la línea trifásica de tres hilos, por ser la tierra un conductor de sección infinita, si el aterrizaje en el punto de conexión del equipo es efectivo, la caída de voltaje que se presenta en el retorno de la corriente a través de la tierra es casi despreciable por lo que la caída de voltaje es mas considerable en el conductor aéreo y en las puestas a tierra del transformador de aislamiento y de los transformadores de distribución conectados a la línea SWER.

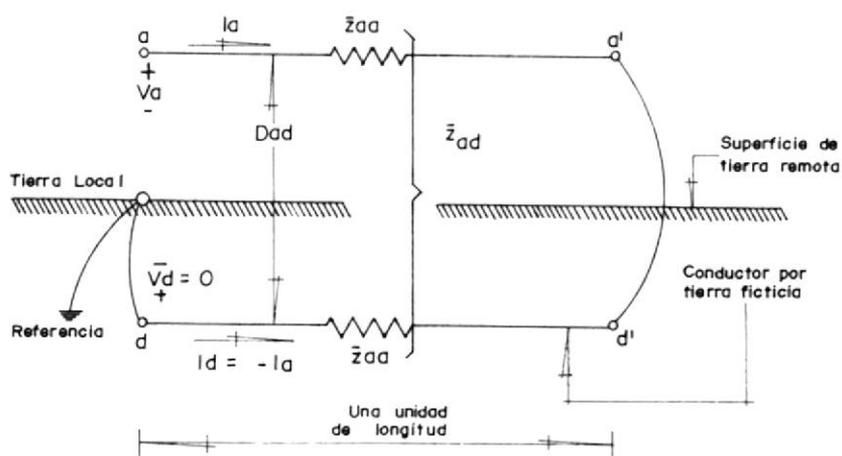
Lo anterior no sucede cuando se utiliza la alimentación fase a fase o trifásica trifilar.

Este punto se volverá a considerar en detalle cuando se hagan los cálculos de caída de tensión en la línea SWER.

2.3. IMPEDANCIA DE LA LINEA SWER

Para el cálculo de la impedancia de la línea SWER se utilizará el modelo matemático siguiente: (Figura # 2).

Se considera un conductor 'a' de longitud unitaria y paralelo a la tierra como se indica en la Figura # 2. El conductor lleva una corriente I_a con retorno a través del circuito dd' bajo la superficie de la tierra. La tierra es considerada que tiene resistividad uniforme y extensión infinita. La corriente I_a en la tierra se esparce sobre una gran area, buscando la trayectoria de menor resistencia y satisfaciendo la ley de Kirchhoff's para garantizar una caída de voltaje igual en toda la trayectoria.



IMPEDANCIA DE LA LINEA SWER

FIGURA # 2

El modelo puede ser considerado como un conductor de radio geométrico (GMD) de un pie (o un metro), localizado a una distancia D_{ad} pies (o metros) bajo la línea aérea, donde D_{ad} es función de la resistividad de la tierra.

Para esta configuración se tienen las siguientes ecuaciones :

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{dd'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_{a'} \\ V_d - V_{d'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{aa} & \bar{Z}_{ad} \\ \bar{Z}_{ad} & \bar{Z}_{dd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ -I_a \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{V/Unidad} \\ \text{de long.} \end{array}$$

$V_a, V_{a'}, V_d, V_{d'}$ son medidos con respecto a la misma referencia, puesto que $V_d=0$ y $V_{a'}-V_{d'}=0$, restando las dos ecuaciones encontramos que:

$$V_a = (\bar{Z}_{aa} + \bar{Z}_{dd} - 2\bar{Z}_{ad}) I_a = Z_{aa} I_a$$

En donde:

$$Z_{aa} = \bar{Z}_{aa} + \bar{Z}_{dd} - 2\bar{Z}_{ad} \quad \text{Ohmios/Unidad de longitud.}$$

La impedancia propia de la línea 'a' es:

$$Z_{aa} = R_a + j\omega L_a = R_a + j\omega k (\ln(2s/D_{sa}) - 1) \quad \text{Ohmios/U.L.}$$

Similarmente:

$$Z_{dd} = R_d + j\omega k (\ln(2s/D_{sd}) - 1) \quad \text{Ohmios/U.L.}$$

en donde se hace D_{sd} sea igual a 1 unidad de longitud arbitrariamente.

Se ha encontrado que la resistencia de la tierra R_d es función de la frecuencia y se tiene la siguiente fórmula empírica:

$$R_d = 0.00159 * f \text{ (Ohmios/Milla)}$$

Finalmente la impedancia mutua es:

BIBLIOTECA

$$Z_{ad} = j\omega M_{ad} = j\omega k (\ln(2s/D_{ad}) - 1) \text{ Ohmios/U.L.}$$

Entonces la impedancia Z_{aa} es:

$$Z_{aa} = Z_{aa} + Z_{dd} - 2Z_{ad} = (R_a + R_d) + j\omega k (\ln(D_e/D_{sa})) \text{ Ohmios/U.L.}$$

La cantidad D_e depende tanto de la frecuencia como de la resistividad de la tierra y está definida por la siguiente relación:

$$D_e = 2160(p/f) \text{ (pies)}$$

La impedancia de la línea SWER es entonces:

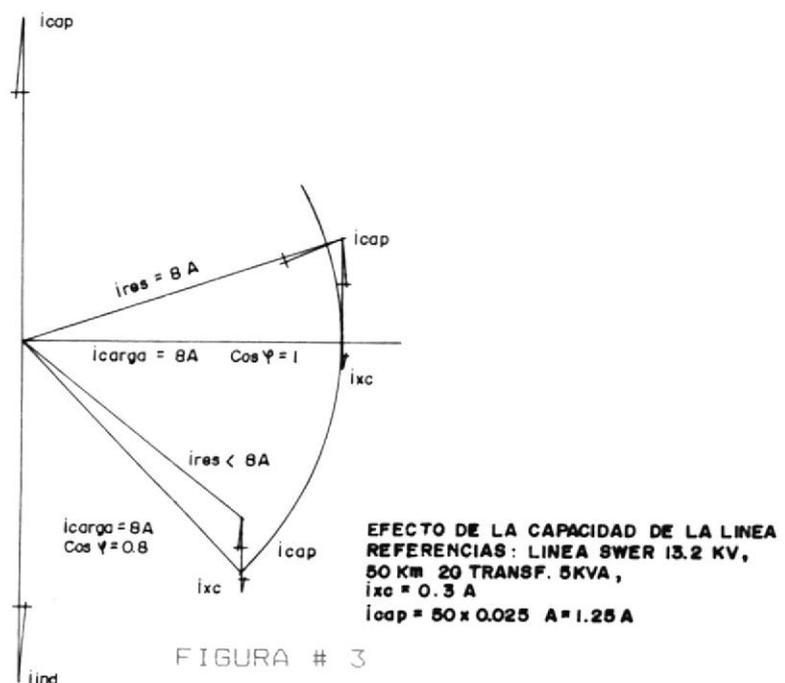
$$Z_{swer} = (R_a + R_d) + j\omega k (\ln(D_e/D_{sa})) \text{ Ohmios/U.L.}$$

2.4. CORRIENTE CAPACITIVA DE UNA LINEA SWER

La corriente capacitiva de la línea SWER debe tenerse en cuenta cuando las líneas se hacen muy largas, que es del orden de 0.025 Amp/Km. para una línea SWER de 13.2 KV. y de 0.038 Amp/Km. para una línea SWER de 19.05 KV.

En este último caso y tratándose de una línea de 100 Km., ya se tiene una corriente capacitiva de 3.8 Amp. frente a una corriente total admisible de 8 Amp.

Se presentan dos casos típicos en el diagrama vectorial de la figura # 3.



A continuación se presentan los valores de la corriente capacitiva para los conductores que se

utilizan en el sistema SWER y a un voltaje de 13.8 KV.

CONDUCTOR ACSR AWG	CORRIENTE DE CARGA (13.8 KV) Amp/Km.
6	0.01914
4	0.01972
2	0.02031



BIBLIOTECA

2.5. LAS PUESTAS A TIERRA.

2.5.1. IMPORTANCIA DE LAS PUESTAS A TIERRA.

El método SWER obliga a prestar mucha atención a las puestas a tierra, ya que debe circular la corriente de carga en forma continua. Los principales aspectos que deben tomarse en cuenta son los siguientes:

- a) seguridad a la vida.
- b) capacidad de corriente de la puesta a tierra.
- c) resistividad de la tierra.

2.5.2. SEGURIDAD A LA VIDA.

Los gradientes de voltaje en los alrededores del

sistema de puesta a tierra por el que circula la corriente de carga presentarán algún riesgo sobre todo si los transformadores SWER son ubicados en haciendas en las que existe la presencia de animales. Por esta razón se debe conocer que voltajes son los que causan peligro para limitarlos a valores seguros.

Debido a que la corriente a tierra de un transformador SWER forma parte del circuito para la corriente de carga en el lado de alta tensión tiene que satisfacer condiciones adicionales. Al llevar la corriente de carga en forma continua es necesario que la malla de tierra tenga la capacidad adecuada para conservar los potenciales de paso en valores razonables.

Los gradientes de voltaje sobre el suelo en la vecindad del transformador SWER deben conservarse lo suficientemente bajos para evitar cualquier peligro a personas y animales. Como los animales tienen mayor susceptibilidad a las descargas eléctricas que los humanos, se realizaron algunos experimentos para averiguar los gradientes de voltaje que causarían disconformidad. De los resultados obtenidos se concluyó que puede existir algún riesgo cuando el gradiente de potencial es

mayor que 40 Voltios/metro. Por lo tanto se debe limitar el máximo gradiente a un 50% del valor antes mencionado o sea 20 Volt./mt., fluyendo la corriente de plena carga para una seguridad completa. El esquema de conexión a tierra deberá aplicarse atendiendo a:

- Resistividad del terreno.
- Capacidad del transformador.
- Procedimiento de mantenimiento y control.

2.5.3. CAPACIDAD DE CORRIENTE DE LA PUESTA A TIERRA.

Con un sistema de puesta a tierra de resistencia igual a 2.5 Ohmios llevando la máxima corriente de carga de 8 Amp., se disipará 160 Vatios de calor, si la resistencia de puesta a tierra se cambia a un valor de 5 Ohmios, la energía disipada será de 320 Vatios. En sistemas de puestas a tierra experimentales se ha probado que para una misma corriente circulando durante un periodo de 12 meses solo se produce un pequeño incremento en su resistencia.

H.G. Taylor (3) encontró que en un metro cuadrado de superficie electrodos sumergidos en terrenos de

adecuada resistividad pueden disipar de 3 a 5 KW. en forma continua con pequeños incrementos en su resistencia. Los sistemas de puesta a tierra del sistema SWER se han normalizado a 3 electrodos formando una superficie de 0.45 metros cuadrados, la energía disipada en esta situación es de 1.3 a 2.3 Kw. con variaciones reducidas en la resistencia, como la máxima energía disipada que puede darse sin causar problemas es de 0.32 Kw. se concluye que la máxima corriente de carga no causa problemas en la puesta a tierra del sistema SWER.

Pruebas hechas por G. Viel (3) en 1929, durante un período de 5 años estableció que en un metro cuadrado de superficie con electrodos de hierro galvanizado sumergidos hasta una profundidad de un metro y con corrientes de hasta 24 Amperios, se vió que no hubo deteriorización en la resistencia, las resistencias utilizadas tuvieron un valor promedio de 4 Ohmios. L. Mandeno (3) encontró que la corriente de carga no afecta la vida útil de la puesta a tierra del sistema SWER.

2.5.4. RESISTIVIDAD DE LA TIERRA.

La resistividad de la tierra es de fundamental importancia para la aplicación del sistema SWER y

antes de su utilización se deben hacer mediciones de la resistividad de la tierra en los lugares por los que pasará la línea SWER. Cuando existen cambios en la resistividad del terreno se deben tomar las medidas correctivas en el sistema de puesta a tierra para mantener la regulación de voltaje de la línea en los límites permitidos.

El conocimiento de la resistividad de la tierra nos permite calcular el número de electrodos necesarios para los requerimientos del sistema SWER.

2.5.5. MEDICION DE LA RESISTIVIDAD DE LA TIERRA.

El procedimiento para hacer las mediciones de resistividad del terreno es el siguiente:

Sobre el sitio sobre el que se va a colocar el transformador de aislación o el de distribución deben efectuarse mediciones de resistividad del terreno, las mediciones deben realizarse preferentemente en la época de estiaje para obtener valores extremos de resistividad. Deben hacerse de ser posible en 4 direcciones que se crucen la posición del poste. Se recomienda hacer las mediciones al menos en dos direcciones, aa' y

bb'.

Las cuatro direcciones se indican en la figura # 4 el método utilizado para medir la resistividad de la tierra es el método Wenner usando 4 electrodos.

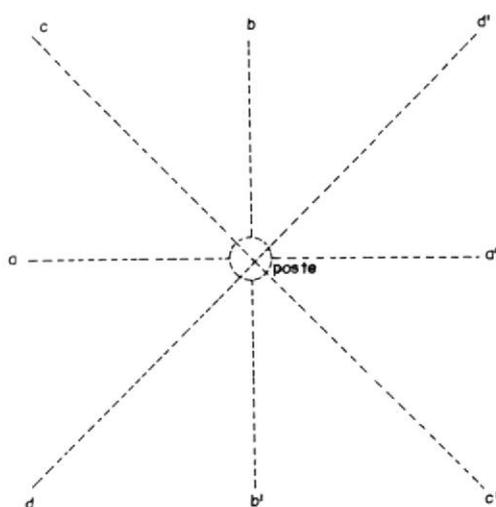
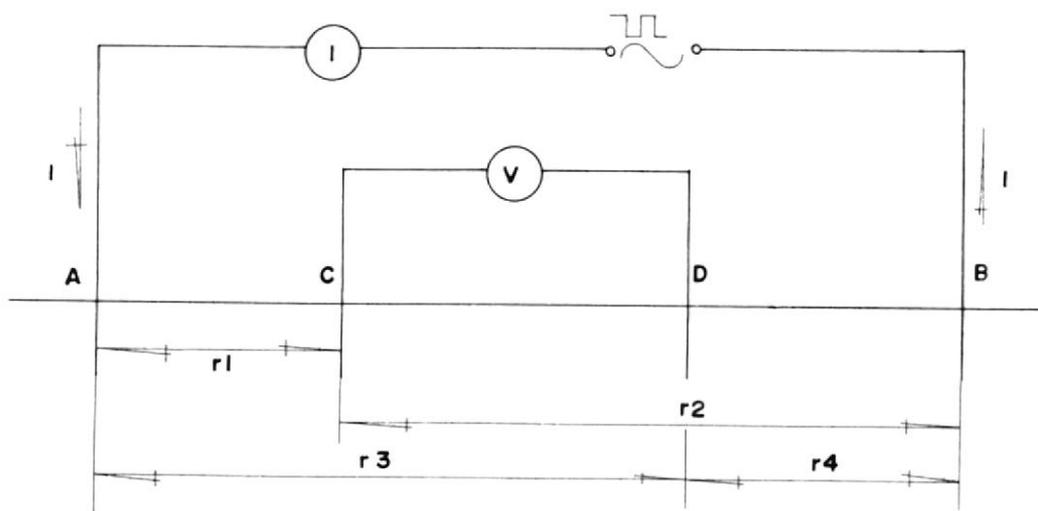


FIGURA # 4

Direcciones de medición de resistividad

El método general de medición de resistividad por medio cuatro electrodos consiste en inyectar al terreno una corriente mediante un par de ellos y medir la diferencia de potencial entre los otros dos. La corriente que se inyecta puede ser continua o corriente alterna de baja frecuencia (hasta 200 Khz).

Entre los electrodos A y B de la figura # 5 se inyecta una corriente y entre los electrodos C y D se mide la diferencia de potencial. Generalmente no es requisito que los electrodos de potencial se ubiquen en la línea de unión entre los electrodos de corriente A y B. A partir de los electrodos de corriente se definen las distancias a los electrodos de potencial.



METODO GENERAL DE MEDICION DE LA RESISTIVIDAD DE LA TIERRA

FIGURA # 5

Si la profundidad de enterramiento de los electrodos es pequeña comparada con la distancia entre los electrodos, puede considerarse una distribución radial de la corriente y aproximarse estos electrodos a semiesferas o electrodos puntuales.

El análisis para un electrodo puntual, considera que el potencial producido a una distancia 'x' en un medio homogéneo tiene un valor de :

$$\theta_x = \frac{\rho I}{2\pi x}$$

en donde: θ es el potencial producido a una distancia 'x'.

ρ es la resistividad del terreno.

I es la corriente inyectada al electrodo.

x distancia a la que se mide el potencial.

Aplicando esta última expresión al esquema de medición se tiene que la corriente que entra en A al terreno produce en C el potencial:

$$\theta_{c(A)} = \frac{\rho I}{2\pi r_1}$$

La corriente que sale del terreno por B, da lugar en C al potencial:

$$\theta_{c(B)} = -\frac{\rho I}{2\pi r_2}$$

El potencial de C tendrá el valor de :

$$\theta_c = \theta_{c(A)} + \theta_{c(B)} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

De igual manera el potencial en D tendrá el valor de :

$$\phi_D = \phi_D(A) + \phi_D(B) = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)$$

La diferencia de potencial medida por el voltímetro tiene el valor de:

$$V = \phi_C - \phi_D = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]$$

en donde se obtiene que la resistividad tiene el valor de:

$$\rho = \frac{2\pi V}{I} \left[\frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}} \right]$$

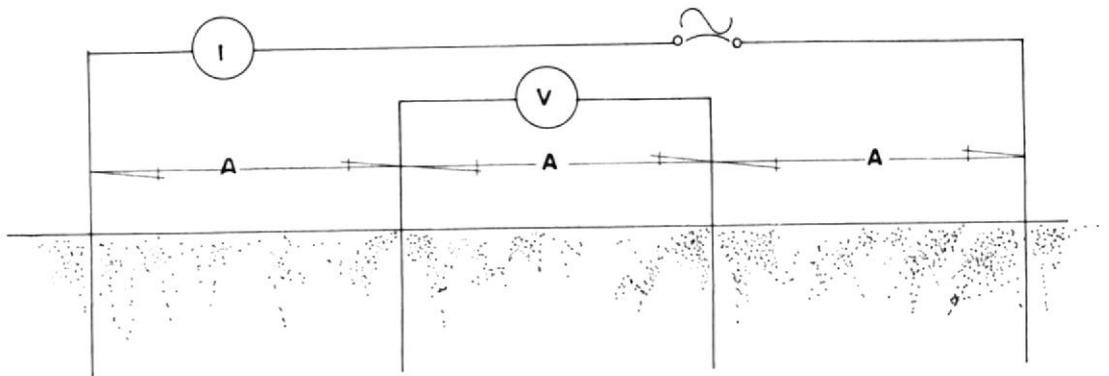
Esta, la ecuación fundamental para la medición de la resistividad mediante el método de los cuatro electrodos.

Si un número de pruebas sobre el sitio de medición no dan variaciones significativas, la resistividad del suelo puede ser considerada uniforme y el

valor de 'p' obtenido es el valor actual de resistividad.

La configuración Wenner (Fig. # 6) de los cuatro electrodos, ubicados en línea recta, se encuentran separados una distancia igual 'A' entre ellos. En este caso se tiene que:

$$\begin{aligned} r_1 &= r_4 = A \\ r_2 &= r_3 = 2A \end{aligned}$$



CONFIGURACION WENNER PARA MEDIR LA RESISTIVIDAD

FIGURA # 6

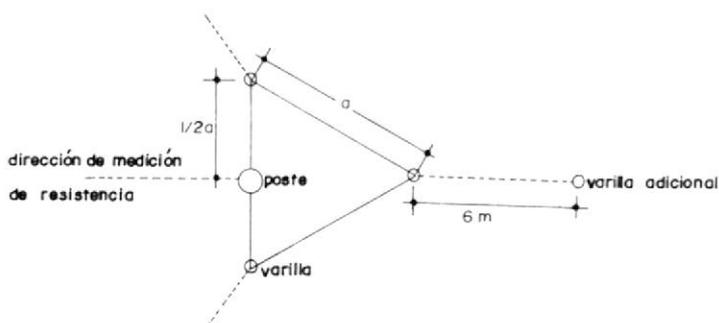
Estos valores reemplazados en la ecuación fundamental derivan la siguiente ecuación:

$$\rho_{aw} = \frac{2\pi V}{I} \left[\frac{I}{\frac{1}{A} - \frac{1}{2A} - \frac{1}{2A} + \frac{1}{A}} \right] = 2\pi \frac{V}{I} \cdot A$$

Ecuación con la que se puede calcular el valor de la resistividad en el lugar deseado.

2.5.6. MEDICION DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.

La medición de la resistencia de puesta a tierra de los sistemas SWER se debe llevar a cabo en la dirección indicada en la (Fig # 7).



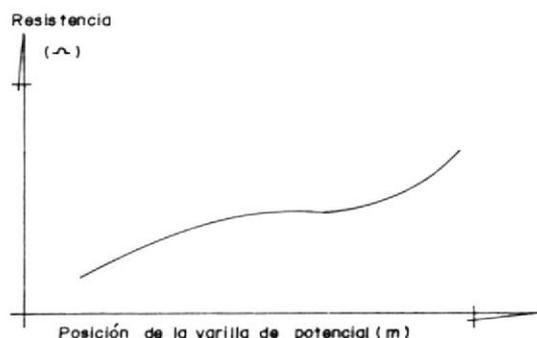
CONEXION A TIERRA DE LAS LINEAS SWER

FIGURA # 7

El método utilizado es el de caída de potencial. Este método utiliza tres electrodos, colocados en línea recta, uno es la malla a tierra a medir que se conecta a los terminales del Megger, el

electrodo de corriente se debe colocar a 30 metros de la malla de tierra. Este electrodo permanece fijo. El electrodo de potencial se va variando de posición, empezando a 5 metros de la malla e incrementando en un metro la posición de la varilla para obtener una curva como la que se muestra en la (Fig.# 8), la curva debe tener una parte con pendiente cero.

Cuando se tengan tres mediciones con aproximadamente el mismo valor de resistencia, este será el valor de la resistencia de la conexión a tierra.



GRAFICA DE LAS MEDICIONES DE LA RESISTENCIA A TIERRA

FIGURA # 8

En el esquema de conexión a tierra se considera los siguientes aspectos:

Cualquier gasto extra en el sistema SWER para mantener bajas resistencias de conexión a tierra estará compensado por costos reducidos de mantenimiento. Normalmente el aterrizaje de los sistemas de alto voltaje es una medida de protección y la corriente fluye en la red de tierra solo por la duración de una falla. Sin embargo, en el caso del sistema SWER, la instalación de tierra lleva la corriente de carga del circuito, así como cualquier corriente de falla. Este aspecto da al sistema de aterrizaje de las líneas SWER una mayor importancia que el de las líneas convencionales.

La primera consideración en el aterrizaje de las líneas SWER es la seguridad de la vida de hombres y animales. Por lo tanto se deben limitar los potenciales de paso a 20 Voltios/metro para todos los transformadores, con tal limitación el riesgo a la vida es despreciable.

Los requerimientos básicos son que el sistema esté seguro de daño mecánico debido a excavaciones tales como arar la tierra cerca del poste del

transformador y el rompimiento del conductor de tierra que baja del poste. Esto se logra a un nivel satisfactorio protegiendo mecánicamente el conductor de bajada del poste del transformador hasta 30 cm. debajo de la superficie y un arreglo de la red de tierra de tres varillas formando un triángulo equilátero. Para este arreglo el poste se coloca a la mitad de uno de los lados del triángulo. Esta configuración se muestra en la figura # 9.

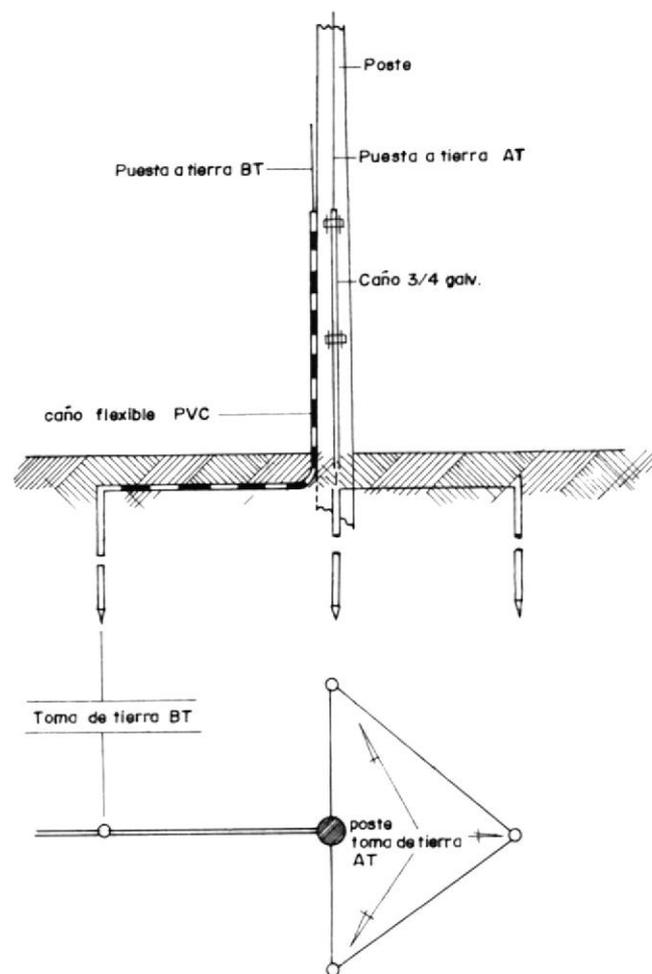


FIGURA # 9

Puesta a tierra de la línea SWER

Las varillas son de copperweld de 5/8 de pulgada de diámetro y de 6 metros de largo, el conductor que forma el triángulo es de cobre 2/0 AWG y forma un lazo que forma trayectorias alternativas para la corriente en el caso de que algún conductor fuese cortado.

La red de tierra debe estar al menos 0.5 metros bajo la superficie de la tierra.

En la figura # 10 se muestran gráficos para el diseño de las redes de tierra de transformadores SWER. El eje 'x' corresponde a valores de resistividad en Ohmios-metro. El eje 'y' corresponde a valores de la resistencia de conexión a tierra, las gráficas son para diferentes separaciones de electrodos (3,5,8 y 10 metros).

2.6 PROTECCION DE LA LINEA SWER.

Cada alimentador posee normalmente dos tipos de protecciones:

Protección contra sobrecorrientes.

Protección contra fugas a tierra

RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA VS. RESISTIVIDAD

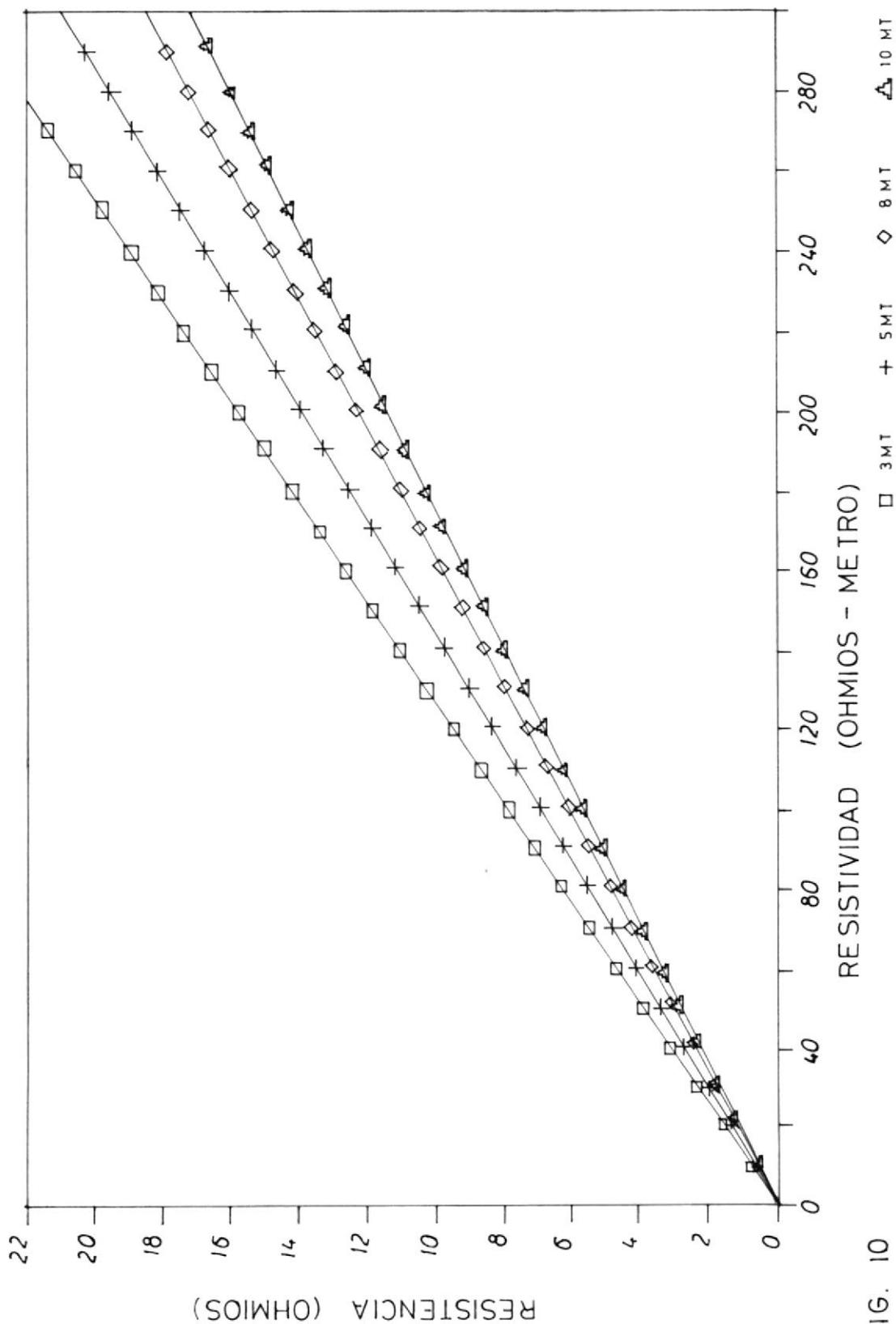


FIG. 10

Estas protecciones disparan el circuito breaker en aceite a la posición de abierto cuando una condición de falla sobre el alimentador produce una corriente elevada que hace operar los relés de protección.

Los fusibles de un alimentador son cuidadosamente seleccionados para obtener la correcta secuencia de operación entre fusibles con el breaker de la alimentadora, con tanto de discriminación como sea posible.

La protección de tierra es normalmente hecha tan sensitiva como sea posible, para detectar fugas de corriente a tierra, lo cual no constituye una sobrecarga.

Con el uso de la línea monofásica con retorno por tierra, la condición de la troncal de un alimentador es mejorada debido a que el transformador de aislación convierte las fallas a tierra en un poco mas que sobrecargas que hace que opere el respectivo fusible y no el breaker principal de la alimentadora.

Un conductor que cae a tierra y se mantiene permanentemente energizado es perjudicial para las personas y sus bienes, y puede empezar a incendiar

plantaciones en condiciones de sequedad, así es necesario prestar atención a la clase de falla la cual tiene la mas alta probabilidad de que sea permanente, lo que ocurre en un sistema monofásico con retorno por tierra.

Los cálculos de corriente de falla para líneas con retorno por tierra indican que es posible seleccionar un fusible, de tal manera que realice una discriminación satisfactoria entre las corriente de falla y las de carga.

Tanto la seguridad como la rápida operación de la protección es esencial para las corriente de falla, especialmente cuando un conductor energizado podría estar sobre tierra, es considerado prudente simular la falla por la caída real de un conductor energizado a tierra. Si la reactancia del transformador de aislación es compensada con capacitores serie podría esperarse que la magnitud de la corriente de falla aumentará considerablemente. Experimentalmente se ha determinado los tiempos de operación de la protección para una corriente de falla de 125 Amp.

Naturaleza de la falla	Segundos de despeje	
	11 KV.	19.8 KV.
Conductor caído en un extremo seco	1.49	0.56
Conductor caído a tierra con capacitores serie	0.43	0.35

La protección de la línea monofásica con retorno por tierra podría ser hecha de las siguientes formas:

a) Un sistema de protección con fusibles de respaldo en el transformador de aislación y con fusibles de disparo en cada transformador de distribución conectado a la línea SWER.

b) Un sistema de protección con circuitos reclosers en el transformador de aislación y con transformadores de distribución equipados con fusibles.

2.7 CONVERTIDORES DE FASES PARA SISTEMAS MONOFASICOS

Los motores trifásicos pueden ser satisfactoriamente operados con convertidores de fases si estos son

seleccionados y aplicados correctamente.

Los motores eléctricos usados en aplicaciones rurales son monofásicos debido a que en zonas rurales son de mas frecuente utilización.

El uso de mas y grandes motores en haciendas ha creado la necesidad de la utilización de motores trifasicos. El motor trifasico puede ser requerido por las siguientes razones:

Para motores de gran tamaño , los motores trifásicos están, mas disponibles con una amplia variedad de características y a menor costo que los motores monofásicos de la misma potencia nominal. Los devanados de arranque y equipo de arranque no se utilizan y con esto se evitan problemas de servicio y mantenimiento. Además los motores trifásicos son usualmente pequeños, ligeros y de construcción simple.

El uso combinado de un motor trifásico y un convertidor de fases es a menudo la mejor elección por las siguientes razones: el costo de llevar líneas trifásicas es muy costoso y no se justifica para la carga existente en comunidades rurales y la corriente de arranque produce corrientes elevadas que

sobrepasan los límites establecidos en la línea SWER.

La aplicación de los convertidores de fases en la operación de motores trifásicos depende al menos de tres factores:

- a) La selección adecuada del convertidor de fases.
- b) Instalación.
- c) Cambio permisible en las características de torque del motor.

CONVERTIDORES ESTATICOS.-

El término convertidor de fase estático se deriva de la configuración básica de este tipo de convertidor el cual solo tiene componentes estáticos. Un diagrama simplificado de este tipo de convertidor es el siguiente: Figura # 12.

El convertidor estático tiene dos componentes básicos un autotransformador y capacitores. El convertidor estático ha sido usado por muchos años con excelentes resultados cuando es aplicado correctamente. Este convertidor tiene importantes ventajas como son: se producen pérdidas reducidas, facilidad de conexión con sistemas automáticos y la

habilidad para balancear las corrientes del motor para maximizar su vida útil.

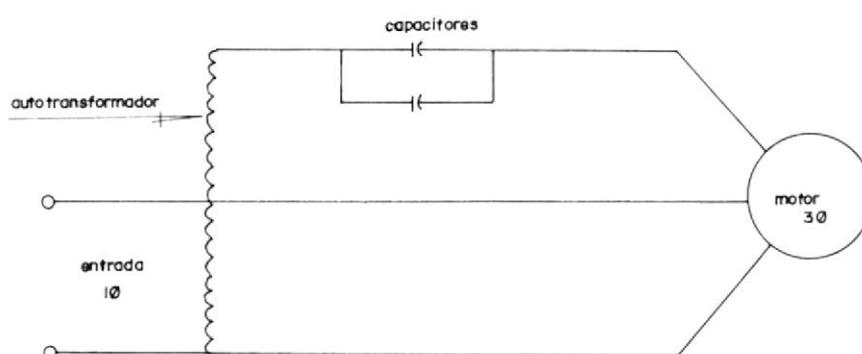


FIGURA # 12

Convertidor estático

Para una mejor comprensión de la operación y características del convertidor, observar la figura # 13 , en la cual también se indica el diagrama vectorial del circuito.

Los parámetros importantes son:

V_i : Voltaje de entrada de la fuente monofásica.

V_x : Voltaje del transformador.

V_c : Voltaje del capacitor.

ϕ : Factor de potencia del motor.

I_a : Corriente del motor.

$$n: \text{razón del transformador} = \frac{V_i + V_x}{V_i}$$

$V_{ab} = V_{bc} = V_{ca}$ voltajes en todas las fases son iguales en condiciones balanceadas.

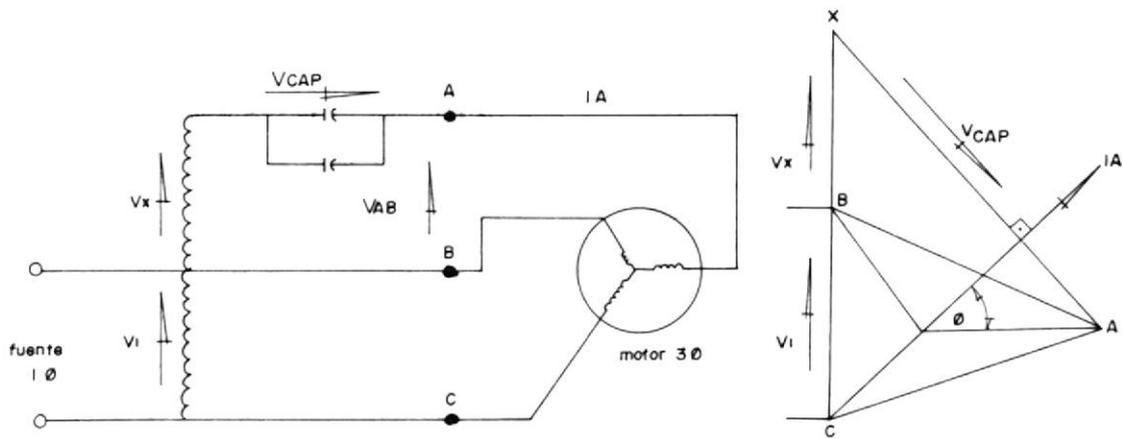


FIGURA # 13

Diagrama vectorial para el convertidor estático

Los siguientes resultados pueden ser obtenidos a partir del diagrama vectorial:

$$\text{Capacitancia} = \frac{I_a}{V_{cap} * \omega} \quad (1)$$

$$n = 1/2 + (3)/2 \text{ Cot } \phi \quad (2)$$

Como puede verse la razón 'n' del autotransformador es función únicamente del factor potencia y es totalmente independiente de la corriente requerida, la corriente I_a determina el tamaño del alambre necesario para el devanado del transformador. El valor de los capacitores puede calcularse con la ecuación (1). Puesto que V_i , I_a son datos que se obtienen del motor que se va a utilizar y con el valor de 'n' se puede obtener el autotransformador que se requiere.

Se analizará por medio de los diagramas fasoriales de la figura # 14 que sucede cuando se varía el factor de potencia del motor.

El primer diagrama es para un factor de potencia de 0.85. El segundo diagrama muestra que cuando el factor de potencia sube, la razón 'n' crece también muy rápidamente y cuando el factor de potencia es igual a la unidad la razón 'n' requerida es infinita lo cual también se puede comprobar con la ecuación (2). Esta es una de las limitaciones del convertidor estático, este no puede suministrar corrientes balanceadas para cargas con factor de potencia unitario, en la práctica factores de potencia sobre 0.95 requieren un valor alto de la razón 'n'.

Afortunadamente los motores de inducción trabajan con factores de potencia menores a 0.95.

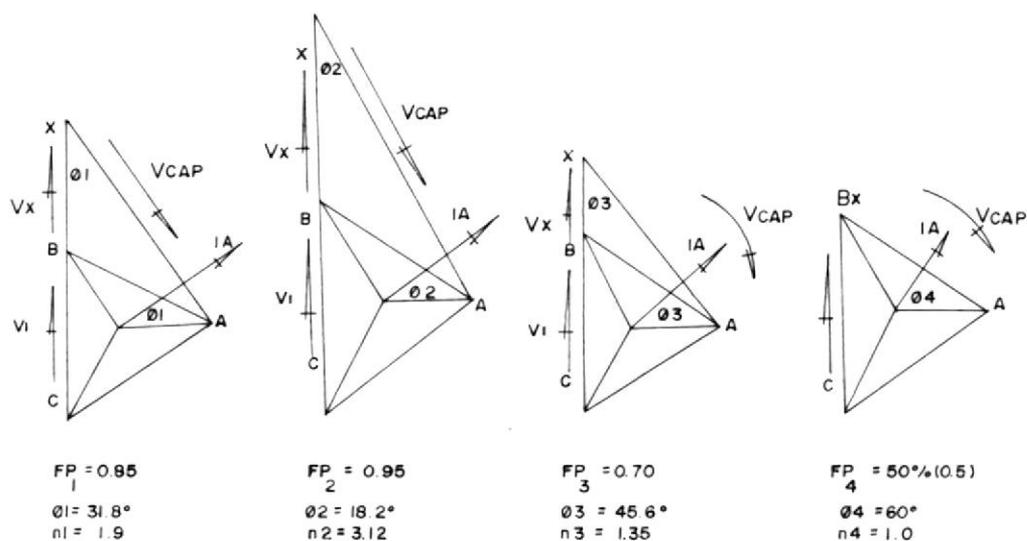


FIGURA # 14

Diagramas vectoriales para el convertidor estático

En el tercer diagrama se muestra un motor con factor de potencia igual a 0.70. El incremento del ángulo del factor de potencia reduce el valor de la razón 'n'.

En el cuarto diagrama se tiene el caso de un motor con factor de potencia de 0.50 que corresponde a un ángulo de 60 grados y a un valor de 1 para 'n', es decir que el autotransformador no es requerido, este

es un caso especial en el que los capacitores son suficientes para suministrar corrientes balanceadas en las tres fases de la carga. Desafortunadamente pocos motores trabajan con factores de potencia de este valor.

La configuración básica del convertidor de fases estático tiene que ser aumentada cuando el motor es arrancado. Puesto que la corriente de arranque de un motor de inducción es de 4 a 6 veces la corriente nominal, deben colocarse capacitores adicionales en el circuito durante el arranque (Figura # 13) , estos capacitores deben ser desconectados cuando el motor se aproxima a la velocidad de plena carga.

2.8. LA LINEA SWER Y LAS LINEAS DE COMUNICACIONES.

Condiciones especiales para la línea SWER.

En Australia un decreto del Departamento de Correo y Telégrafos impide que la tierra sea usada para transportar corriente de un circuito de potencia, la razón de esta medida se debe que los voltajes inducidos en las líneas de telecomunicación por los circuitos de potencia son elevados cuando se usa a la tierra como trayectoria de retorno.

En Nueva Zelanda fueron levantadas líneas SWER en localidades adecuadas y pruebas de coordinación realizadas con el fin de medir los voltajes inducidos en líneas telefónicas troncales que corren paralelamente a la línea SWER, para varias condiciones de carga.

Las líneas SWER deben ser ubicadas e instaladas en lugares donde los voltajes inducidos en los circuitos de telecomunicación no excedan ciertos valores máximos permitidos.

INTERFERENCIA INDUCTIVA.

En este punto se analizará la interferencia inductiva a fin de poder comprenderlo y luego controlarlo.

Los voltajes inducidos en circuitos de telecomunicación son de dos tipos: longitudinales y transversales.

Los voltajes longitudinales se forman cuando se tienen dos conductores formando parte de un circuito telefónico estos voltajes se producen de uno u otro conductor a tierra, los voltajes transversales se

forman entre los dos conductores.

El voltaje longitudinal puede ser inducido por una u otra de las siguientes razones o combinaciones de ellas:

a) Inducción electrostática debido al acoplamiento capacitivo entre la línea de potencia y la línea de telecomunicación, el cual es función de el voltaje de la línea de potencia y la separación entre los dos circuitos.

b) Inducción electromagnética debido al acoplamiento inductivo el cual es función de la corriente en la línea de potencia, separación entre los circuitos, longitud que recorren los circuitos paralelamente, frecuencia del sistema de potencia y resistividad de la tierra.

Teóricamente los dos tipos de inducción están siempre presentes, pero por diferentes circunstancias uno de los dos tiene más efecto sobre el otro. Para controlar estos voltajes se ha establecido que el máximo voltaje inducido por una línea de potencia operando en condiciones es de 60 Voltios.

En la figura #14 se indica la relación entre el voltaje inducido electrostáticamente y la separación entre circuitos, para una línea trifásica y varias líneas monofásicas.

En la figura #15 se indica la relación entre el voltaje inducido electromagnéticamente. Las curvas han sido dibujadas para una línea de potencia llevando una corriente de 8 Amperios y para resistividades de la tierra de 10, 100, 1000 Ohmios-metro.

En el gráfico se observa que para una separación de 264 pies, el voltaje inducido por milla será de 3 Voltios para resistividades del suelo entre 100 y 1000 Ohmios metro; si los circuitos de potencia y de telecomunicación están expuestos 20 millas el voltaje inducido será de 60 Voltios, que es el valor límite.

En Australia y Nueva Zelanda, la máxima corriente de carga ha sido limitada a 8 Amperios. Esto puede sugerir que los límites para la corriente y separación entre circuitos son arbitrarios y que si el voltaje inducido tiene como límite el valor de 60 Voltios, la separación entre circuitos pudo ser

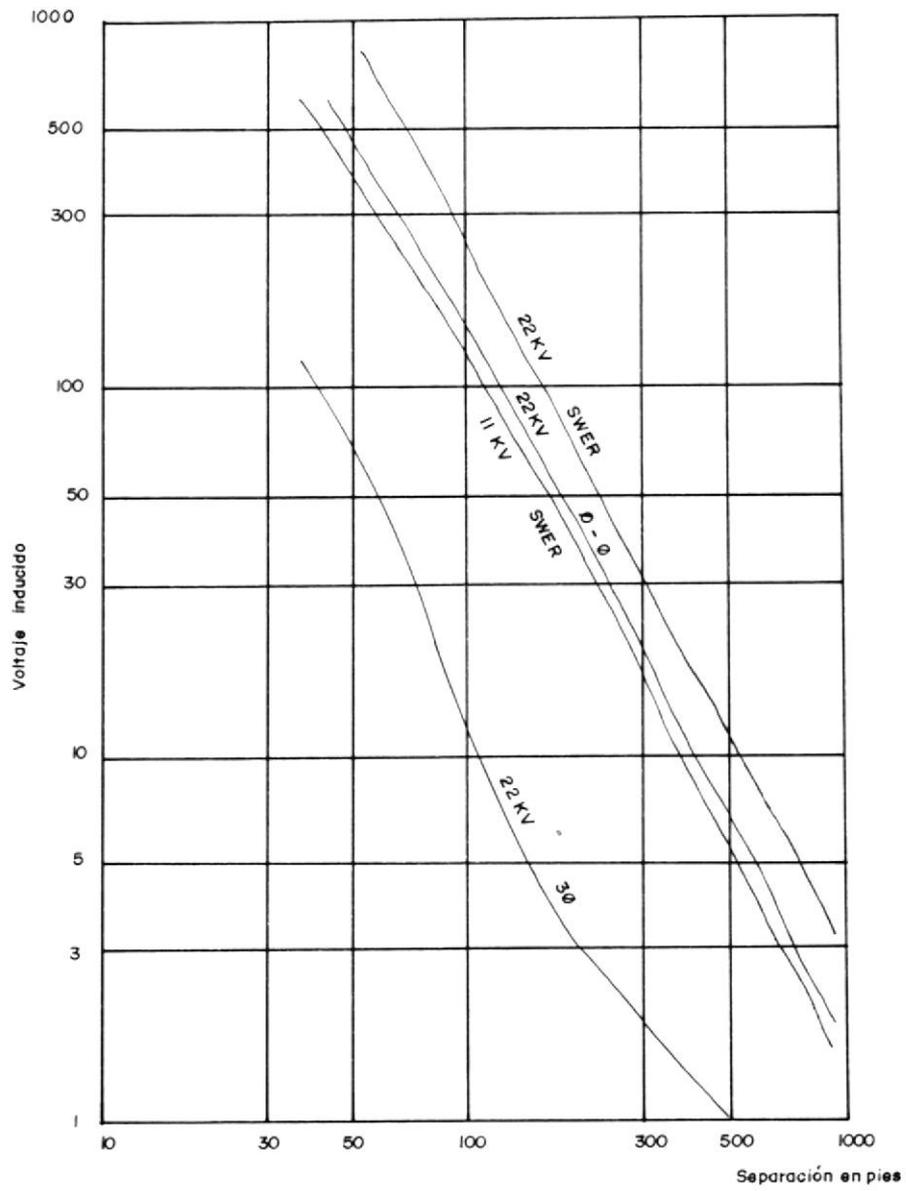


Fig.15 ... INDUCCION ELECTROSTATICA.

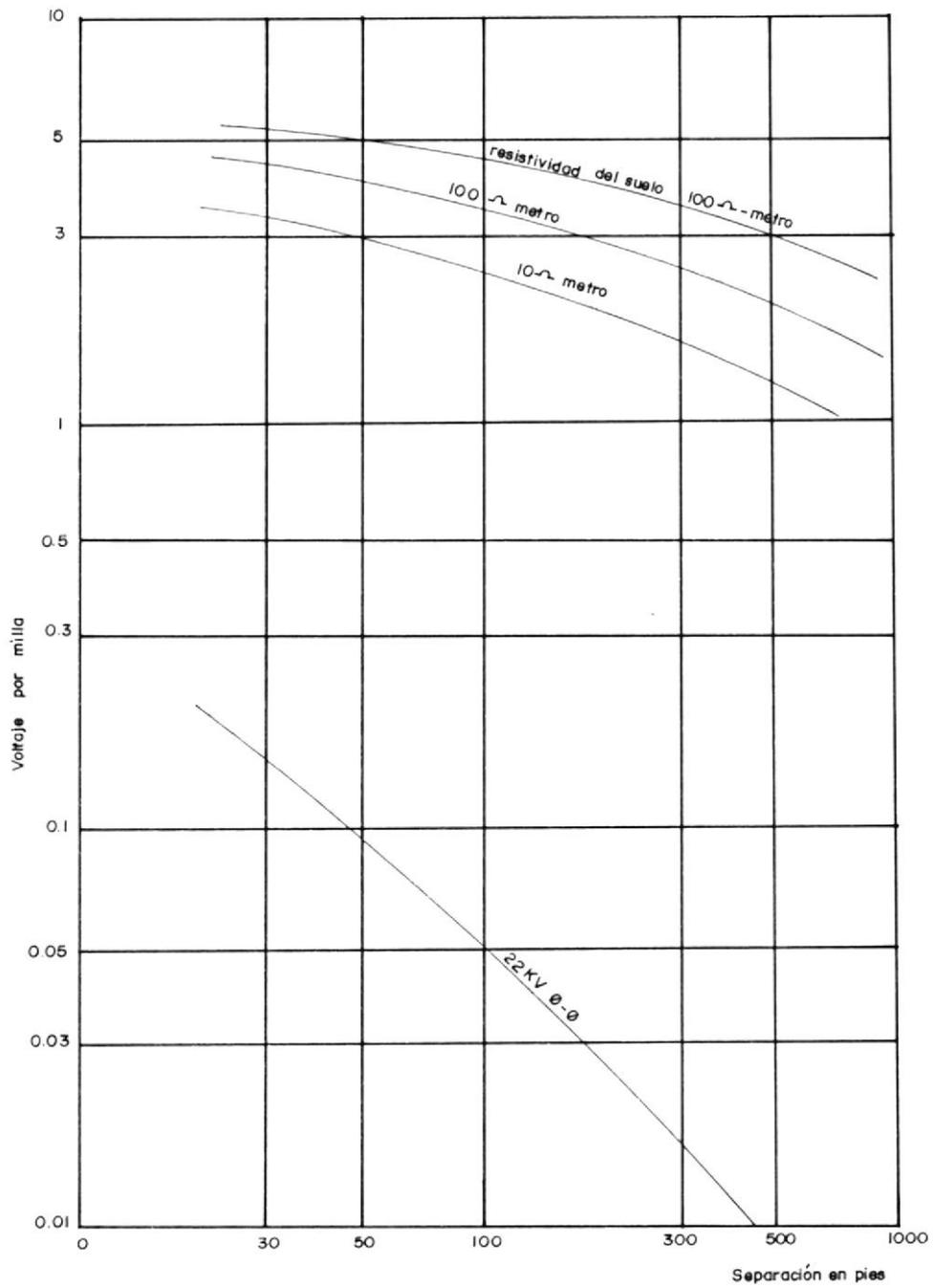


Fig. 16.-INDUCCION ELECTROMAGNETICA

reducida o la corriente aumentada si el tramo paralelo que recorren los dos circuitos fuera menor que 20 millas. Sin embargo fue necesario fijar condiciones para la corriente de carga de la línea y separación entre circuitos para tener uniformidad de tratamiento para varios sistemas SWER.

CAPITULO # 3

ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DEL SISTEMA SWER

3.1. CALCULO DE LA CAIDA DE TENSION EN LA LINEA.

Para hacer los cálculos de caída de tensión y pérdidas se considerará el Proyecto de Electrificación Rural Balao II que realiza EMELGUP y se hará comparaciones con el Sistema monofásico fase neutro convencional.

Al Sistema monofásico fase - neutro convencional se le denominará ALTERNATIVA 1.

Al Sistema SWER se le denominará ALTERNATIVA 2.

La regulación de voltaje (% R) viene dada por la siguiente fórmula:

$$\% R = \frac{V_s - V_i}{V_s} * 100$$

En donde: V_s es voltaje de en envío

V_i es el voltaje recepción

La máxima regulación de voltaje aceptada, es del 7% en la línea de distribución primaria de alta tensión y 4% en circuitos y ramales secundarios de baja tensión.

Los datos requeridos para la evaluación para la evaluación de la regulación de voltaje son:

Consumo residencial Inicial: 0.351 KW

Tasa de crecimiento del consumo = 6.6%

Factor de potencia = 0.9

Voltaje = 7.62 Kv.

La caída de voltaje en la línea de alta tensión con conductor neutro, alternativa 1, es igual en la fase que en el neutro, puesto que las intensidades de corrientes y las características de los conductores son iguales.

	Calibre	Resistencia Ohm/km.	Reactancia Ohm/km.
Fase	# 4	1.5680	0.4506
Neutro	# 4	1.5680	0.4506

La caída de tensión para la línea monofásica con

retorno por tierra, alternativa 2, es menor que la alternativa 1, según el modelo de impedancia para esta línea descrito anteriormente, sus características son:

Resistencia Swer: 1.3552 Ohmios/Km.

Reactancia Swer: 0.8773 Ohmios/Km.

Resistencia de : 0.7910 Ohmios
puesta a tierra

Resistividad del: 10 Ohmios*metro
terreno

3.2. CALCULO DE LAS PERDIDAS EN LA LINEA.

Las pérdidas en las líneas se evaluaron utilizando la fórmula $I^2 * R$.

En donde 'R' es la suma de la resistencia del conductor aéreo mas la resistencia de puesta a tierra y mas la resistencia de la tierra.

Los cálculos de caída de tensión y pérdidas se muestran en las tablas 1, 2, y 3 para el año de inicio para el año 5 y para el año 15.

3.3. CALCULOS ECONOMICOS.

En esta sección se va a hacer un análisis técnico y económico de las dos alternativas para electrificar al Proyecto Balao II, desde el punto de vista técnico se ha evaluado de que ambas alternativas cumplen con los requerimientos de regulación de voltaje y que no existe exceso de pérdidas en la línea.

Año	Alternativa	Regulación %	Pérdidas Kw.
1	I	4.42	3.21
1	II	2.35	1.41
5*	I	5.70	5.36
5	II	3.03	2.36
15	I	10.81	19.23
15	II	5.75	8.46

* Debido a que la regulación de voltaje para esta alternativa va a exceder para el año siguiente del límite permitido se hace necesario ejecutar el bifaseamiento del tramo comprendido entre el carretero y la Hcda. Elvira, a partir del año 5 .

Ambas alternativas cumplen con las condiciones de regulación exigidas y las pérdidas se mantienen

dentro de un porcentaje aceptable, en el caso de la línea monofásica convencional se tiene que realizar una construcción adicional como se ha señalado anteriormente y en el caso de la línea monofásica con retorno por tierra estos dos parámetros de regulación y pérdidas son satisfactorios para el año horizonte de análisis (15 años).

Para seleccionar la alternativa que resulte mas conveniente implementar se van a someter ambas alternativas al análisis económico por medio del método incremental. El método de análisis incremental determina el impacto que tienen las diferentes alternativas consideradas, en nuestro caso 2, comparando el cambio resultante en los ingresos totales con respecto al cambio de los costos totales. Lo que interesa es el efecto neto de las decisiones o sea el cambio en los ingresos netos.

El análisis incremental centra su atención en aquellos efectos que son relevantes en el sentido de que se ven afectados por las decisiones que se están considerando, pasando por alto los elementos fijos de una situación los cuales se consideran constantes puesto que no se ven afectados por las alternativas que se consideran. Por esta razón los ingresos no

van a ser considerados porque en ambas alternativas se van a servir con iguales condiciones de calidad de servicio a los usuarios, con lo que la venta de energía va a ser la misma.

La alternativa que se va a seleccionar será aquella que tenga el menor valor presente del costo total.

Debido al valor del dinero en el tiempo los costos e ingresos que se tienen en diferentes momentos de tiempo deben ajustarse a sus valores equivalentes en un momento de tiempo común, antes de realizar una comparación y poder determinar la rentabilidad y seleccionar la alternativa. La tasa de actualización utilizada en este proyecto es del 12%.

En el cuadro # 4 y # 5 se presentan los componentes de costos para cada una de las alternativas de electrificación, debe observarse que en estos cuadros no están presentados todos los componentes de costos de un Proyecto de Electrificación Rural, sino solo aquellos que varían dependiendo de la alternativa que se esté considerando.

En los cuadros # 6 y # 7 se presenta el análisis por medio del método incremental. El valor presente del costo total para cada una de las alternativas se

TABLA 2-A

CALCULO DE REGULACION DE VOLTAJE Y DE PERDIDAS

ALTERNATIVA No. 1

SISTEMA MONOFASICO CON NEUTRO

Res. (Kw): 0.351 Voltaje: 7.62 Kv.
 % Tasa Kw: 6.60% MVAb: 10 MVA
 F. Pot. : 0.9 Zb: 5.81 Ohmios
 Años: 5

TRAMO	ABONADOS	LONGITUD (Km)	TOTALES	KVA	R (p.u.)	X (p.u.)	Rpt (p.u.)	Caída Volt. Tramo %	Caída Volt. en Rpt %	Total	Caída Volt. Acumulado	Perdidas (Kw)
1-2	26	4.3	236	114.0	1.16	0.30	0.00	1.34	0.00	2.68	2.68	3.02
2-3	10	1.1	210	101.5	0.30	0.08	0.00	0.31	0.00	0.61	3.29	0.61
3-4	91	2.6	200	96.6	0.70	0.18	0.00	0.69	0.00	1.37	4.67	1.31
4-5	36	1.7	109	52.7	0.46	0.12	0.00	0.24	0.00	0.49	5.16	0.25
5-6	28	1.6	73	35.3	0.43	0.11	0.00	0.15	0.00	0.31	5.47	0.11
6-7	45	2.0	45	21.7	0.54	0.14	0.00	0.12	0.00	0.24	5.70	0.05
												5.36

TABLA 2-B

CALCULO DE REGULACION DE VOLTAJE Y DE PERDIDAS

ALTERNATIVA No. 2

SISTEMA MONOFASICO CON RETORNO POR TIERRA (SMER)

Res. (Kw): 0.351 Voltaje: 7.62 Kv.
 % Tasa Kw: 6.60% MVAb: 10 MVA
 F. Pot. : 0.9 Zb: 5.81 Ohmios
 Años: 5

TRAMO	ABONADOS	LONGITUD (Km)	ABONADOS	KVA	R	X	Rpt	Caída Volt. en Rpt %	Caída Volt. Total	Caída Volt. Acumulado	Pérdidas (Kw)
	TRAMO	(Km)	TOTALES	TOTALES	(p.u.)	(p.u.)	(p.u.)	Tramo %	Total	Acumulado	(Kw)
1-2	26	4.3	236	114.0	1.00	0.65	0.14	1.35	1.37	1.37	1.31
2-3	10	1.1	210	101.5	0.26	0.17	0.14	0.31	0.31	1.68	0.26
3-4	91	2.6	200	96.6	0.61	0.39	0.14	0.69	0.75	2.44	0.59
4-5	36	1.7	109	52.7	0.40	0.26	0.14	0.25	0.27	2.71	0.11
5-6	28	1.6	73	35.3	0.37	0.24	0.14	0.16	0.17	2.88	0.05
6-7	45	2.0	45	21.7	0.47	0.30	0.14	0.12	0.15	3.03	0.03
											2.36

TABLA 3-A

CALCULO DE REGULACION DE VOLTAJE Y DE PERDIDAS

ALTERNATIVA No. 1

SISTEMA MONOFASICO CON NEUTRO

Res. (kW): 0.351 Voltaje: 7.62 Kv.
 % Tasa kW: 6.60% MVA: 10 MVA
 F. Pot. : 0.9 Zb: 5.81 Ohmios
 Años: 15

TRAMO	ABONADOS	LONGITUD (km)	TOTALES	KVA	R	X	Rpt	Caida Volt.	Caida Volt.	Caida Volt.	en Rpt %	Total	Acumulado	(km)	Pérdidas
:	:	:	TOTALES	(p.u.)	(p.u.)	(p.u.)	:	:	:	:	:	:	:	:	:
1-2	26	4.3	236	216.1	1.16	0.30	0.00	2.54	0.00	5.08	5.08	5.08	5.08	10.84	10.84
2-3	10	1.1	210	192.3	0.30	0.08	0.00	0.58	0.00	1.16	1.16	6.24	2.20	2.20	2.20
3-4	91	2.6	200	183.1	0.70	0.18	0.00	1.30	0.00	2.60	2.60	8.84	4.71	4.71	4.71
4-5	36	1.7	109	99.8	0.46	0.12	0.00	0.46	0.00	0.93	0.93	9.77	0.91	0.91	0.91
5-6	28	1.6	73	66.8	0.43	0.11	0.00	0.29	0.00	0.58	0.58	10.36	0.39	0.39	0.39
6-7	45	2.0	45	41.2	0.54	0.14	0.00	0.23	0.00	0.45	0.45	10.81	0.18	0.18	0.18
														19.23	19.23

TABLA No 4

PRESUPUESTO DEL PROYECTO DE ELECTRIFICACION RURAL
AMPLIACION DE BALAO II

ALTERNATIVA # 1
LINEA MONOFASICA CON NEUTRO

	Cantidad	Precio Unitario (Suces)	Costo Total (Suces)
1. Estructuras			
AU	9	27,670	249,030
RRU	9	41,634	374,706
SU	108	25,270	2,729,160
RU	2	30,547	61,094
2. Conductor # 4	37	94,380	3,492,060
3. Mano de Obra			5,000,000
Total de Costos Directos			11,657,020
4. Administración y Supervisión Técnica 17% C.D.			1,981,693
Costo total de líneas redes			13,638,713

BIFASEAMIENTO DEL TRAMO CARRETERO-HDA. ELVIRA
AÑO 5

	Cantidad	Precio Unitario (Suces)	Costo Total (Suces)
Conductor # 4	8	94,380	736,164
Herrajes y Preformados			384,000
Mano de Obra			1,000,000
Total Costos Directos			2,120,164
Administración y Supervisión Técnica 23% C.D.			487,638
Costo total de líneas redes			2,607,802

TABLA No 5
 PRESUPUESTO DEL PROYECTO DE ELECTRIFICACION RURAL
 AMPLIACION DE BALAO II

ALTERNATIVA # 2
 LINEA MONOFASICA CON RETORNO POR TIERRA

	Cantidad	Precio Unitario (Suces)	Costo Total (Suces)
1. Estructuras			
AU	9	26,400	237,600
RRU	9	38,779	349,011
SU	54	24,010	1,296,540
RU	2	28,829	57,658
2. Conductor # 4			
	19	94,380	1,746,030
3. Transformador de Aislación			
	1	600,000	600,000
4. Mano de Obra			
			4,000,000
Total de Costos Directos			8,286,839
5. Administracion y Supervi- sion Técnica 19%			
			1,555,499
Costo total de líneas			9,842,338

TABLA # 6
ANALISIS ECONOMICO METODO INCREMENTAL
ALTERNATIVA No. 1

LINEA MONOFASICA CON NEUTRO

Tasa de actualización: 12%

AÑO	Líneas y Redes (Suces/año)	Pérdidas	Bifasea- miento	Costo Total	Valor Presente del Costo Total
1	2,413,836	35,657	0	2,449,493	2,187,048
2	2,413,836	51,492	0	2,465,328	1,965,345
3	2,413,836	74,353	0	2,488,189	1,771,044
4	2,413,836	107,170	0	2,521,006	1,602,145
5	2,413,836	154,889	813,390	3,382,116	1,919,103
6	2,413,836	223,500	813,390	3,450,727	1,748,246
7	2,413,836	321,598	813,390	3,548,825	1,605,308
8	2,413,836	465,255	813,390	3,692,482	1,491,331
9	2,413,836	671,310	813,390	3,898,537	1,405,851
10	2,413,836	969,040	813,390	4,196,267	1,351,086

Valor Presente del
Costo Total del Proyecto: 17,046,506

TABLA # 7
ANALISIS ECONOMICO METODO INCREMENTAL
ALTERNATIVA No. 2

LINEA MONOFASICA CON RETORNO POR TIERRA

Tasa de actualización: 12%

AÑO	Líneas y Redes (Suces/año)	Pérdidas	Bifasea- miento	Costo Total	Valor Presente del Costo Total
1	1,741,938	15663	0	1,757,601	1,569,287
2	1,741,938	22713	0	1,764,651	1,406,769
3	1,741,938	32608	0	1,774,546	1,263,087
4	1,741,938	47100	0	1,789,038	1,136,966
5	1,741,938	68198	0	1,810,136	1,027,120
6	1,741,938	98355	0	1,840,293	932,350
7	1,741,938	141690	0	1,883,628	852,058
8	1,741,938	204807	0	1,946,745	786,258
9	1,741,938	295437	0	2,037,375	734,698
10	1,741,938	398118	0	2,140,056	689,041

Valor Presente del
Costo Total del Proyecto: 10,397,632

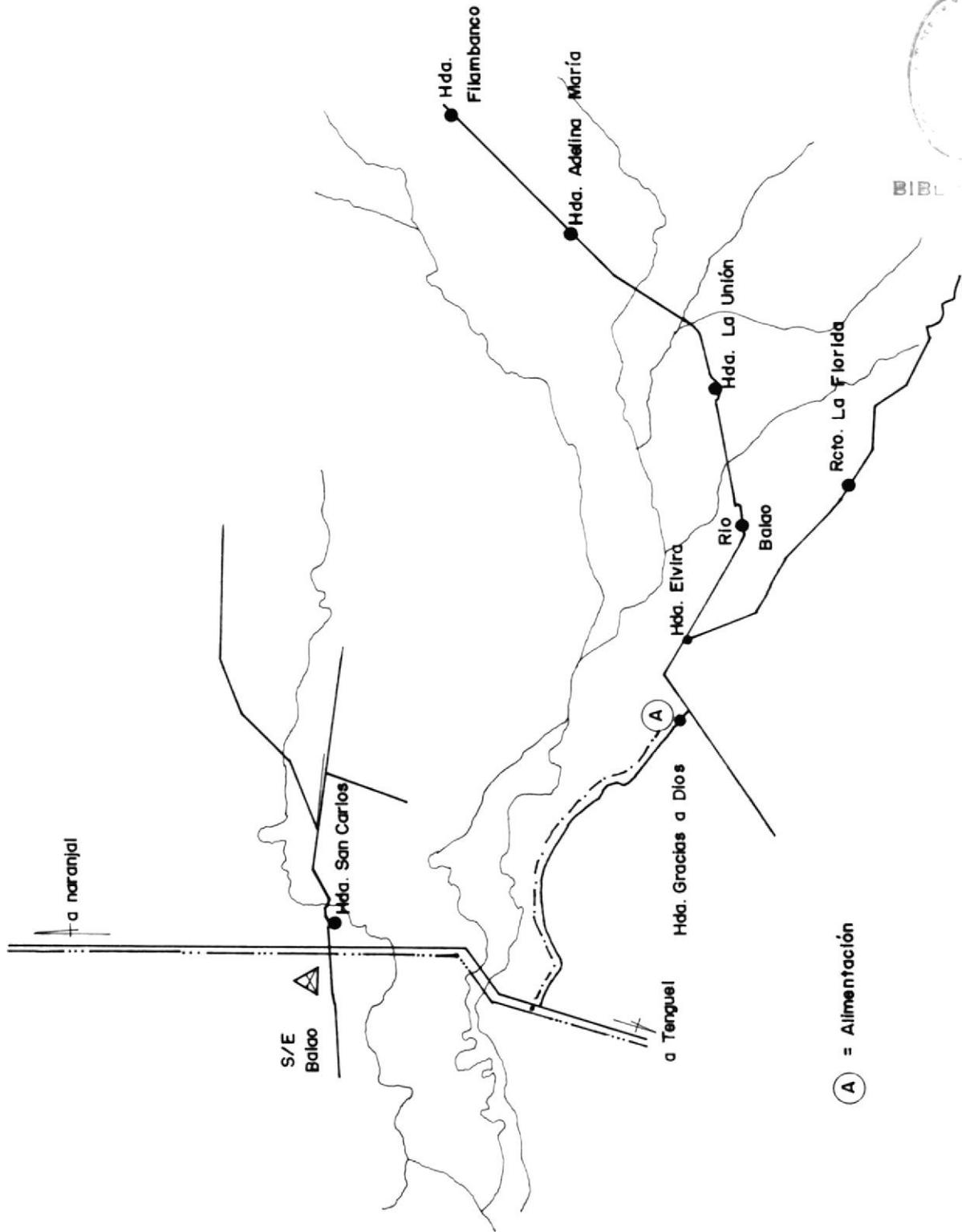
3.4. EXPERIENCIAS OBTENIDAS

La opinión general sobre la aplicación del Sistema SWER es favorable en todos los Países en donde el método ha sido aplicado, tomando en consideración el ahorro en la inversión, la facilidad de construcción, el reducido mantenimiento, la menor probabilidad de fallas y en consecuencia un servicio mas eficiente a los usuarios.

Con la aportación del estudio sobre el Sistema SWER se lograron obtener bases para fundamentar la instalación de transformadores bajo este sistema, ya que su operación ha quedado enmarcada dentro de lo satisfactorio. Se ha comprobado que con una vigilancia sobre la conexión a tierra, es posible utilizar este Sistema en la mayor parte de las áreas Rurales, ya que con su aplicación se hace mas accesible la electrificación de pequeños poblados que en las condiciones actuales se ven imposibilitados debido a los altos costos de construcción. Es importante que las Empresas Eléctricas que realizan Electrificación Rural comprendan la significación de la economía lograda y apliquen una vigilancia especial en el cumplimiento de las normas que se determinen cuando se construyan este tipo de líneas, ya que de esto dependerá el éxito futuro del Sistema SWER.



BIBLIOTECA



Ubicación del proyecto y trazado de línea de alimentación

Figura N° 17

(A) = Alimentación

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De la experiencia que se ha tenido hasta la fecha con la aplicación del sistema monofásico con retorno por tierra en los diferentes países se puede concluir que su funcionamiento es muy satisfactorio y su aplicación es posible para reducir costos en la Electrificación Rural tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La red de tierra del transformador de aislamiento y de los transformadores de distribución debe ser sólida y con un valor de resistencia de tierra tan bajo que no permita un voltaje de paso superior a 40 Voltios/metro con un 150% de carga en el transformador. El aterrizaje de la red debe ser hecho cuando menos en tres puntos físicamente separados, a fin evitar el riesgo de quedarse sin conexión a tierra del devanado primario, por corte accidental de una de las bajadas de tierra.
2. La aplicación del sistema se recomienda sin más averiguación, en terrenos cuya resistividad sea de 300 Ohmios*metro o menos. Para terrenos de mayor resistividad, debe hacerse un estudio económico, de la inversión necesaria en crear una red de tierra del valor indicado anteriormente, contra la

utilización de otro sistema.

3. El empleo del sistema con retorno por tierra, es con el fin de reducir costos de construcción, operación y mantenimiento, como se puede apreciar en los cálculos económicos hechos anteriormente
4. Se debe tener presente, evitar interferencia en los sistemas de comunicación alámbricos, vigilando la combinación de los tres parámetros que influyen: corriente circulante por la línea de distribución, distancia a las líneas telefónicas y longitud del paralelismo entre ambas líneas.

En los Países Latinoamericanos, que por lo general tienen terrenos inaccesibles, grandes extensiones y carga rural de pequeña magnitud, el sistema de distribución monofásico con retorno por tierra, es una solución para ampliar el grado de electrificación, por la reducción considerable en los costos de construcción, y de la buena experiencia que se ha tenido en países como México, Brasil, Canadá, La India, Australia, Nueva Zelanda y otros, se concluye que: es factible y necesaria su aplicación intensiva para Electrificación Rural, empleando una buena Ingeniería de distribución y no

verse limitados por temores infundados, originados mas el desconocimiento de los sistemas y por las conclusiones equivocadas de los resultados obtenidos de su empleo.



BIBLIOTECA

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

1. Anderson P. " Análisis de fallos en Sistemas de Potencia.
2. Grande I. e Carvalán J., Copel- Paraná- Brasil, Linhas de Distribución Rural 34.5 KV. Monofásicas Retorno por terra. Normas técnicas e Experiencia.
3. Montgomery I. B., Australia. Single Wire Earth Return. High Voltage Distrubution for Victorian Rural Areas.
4. Muñoz Pintos L. "Empleo del Sistema de Distribución Monofásico con Retorno por Tierra para la Electrificación Rural de México". Comisión Federal de Electricidad de México.
5. Muñoz Pintos L. "Sistema de Distribución Monofásico con Retorno por Tierra para Electrificación Rural. Aplicación en el Sureste de México". Comisión Federal de Electricidad de México.
6. Simon W. "El Sistema SWER, un interesante método para la Electrificación Rural".
7. William H. y Haynes W., Economía de la Empresa (Cuarta Edición, Agosto de 1982) pp. 45-49