

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

APLICACION DE PROTECCION POR ONDA PORTADORA  
A LA LINEA DE TRANSMISION PISAYAMBO - QUITO  
DE 138 KV

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

JULIO C. SOSA E.

Quito - Septiembre - 1975

-Certifico que el presente trabajo  
ha sido elaborado en su totalidad  
por el Sr. Julio C. Sosa E.



---

Ing. Julio Jurado Martínez ,  
DIRECTOR DE TESIS

## A G R A D E C I M I E N T O

Dejo constancia de mi profundo agradecimiento al Sr. Ing. Julio Jurado Martínez por sus acertados consejos técnicos vertidos en la dirección de este trabajo, así como al Instituto Ecuatoriano de Electrificación en la persona de sus profesionales y secretarias que ayudaron para la elaboración de la presente tesis.

4.	Descripción de equipos y esquemas unifilares del sistema.....	
4.1.	Equipos principales de la Central y Subestaciones .....	10
4.2.	Esquema unifilar del sistema.....	11
5.	Criterios para la aplicación de la protección de la línea de transmisión Pucará - Quito.....	
5.1.	Introducción .....	12
5.2.	Análisis del sistema .....	12
6.	Uso de protección piloto .....	
6.1.	Introducción.....	14
6.2.	Tipos de protección piloto .....	15
6.3.	Tipos de canales usados para protección piloto .	15
6.4.	Utilización de protección piloto para la línea de transmisión Pucará - Quito.....	16
7.	Ventajas de la protección por canal piloto.....	17
8.	Calidad que debe reunir la protección por canal piloto .....	18

## CAPITULO II

### ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CANAL PILOTO.

1.	Protección por conductor piloto .....	
1.1.	Introducción .....	21
1.2.	Aplicabilidad a la línea Pucará - Quito .....	22

	Pág. N°
2. Protección por micro-ondas .....	
2.1. Introducción.....	23
2.2. Aplicabilidad a la línea Pucará - Quito .....	24
2.3. Estudio de enlace por canal de micro-ondas - para la línea Pucará - Quito .....	
2.3.1. Ruta de enlace por micro-ondas .....	25
2.3.2. Estaciones repetidoras .....	26
2.3.3. Rango de frecuencia .....	27
2.3.4. Análisis de los perfiles del camino entre esta - ciones repetidoras y determinación de la altura de las torres de antenas .....	28
2.3.5. Cálculo de la atenuación o pérdidas del camino entre enlaces .....	37
2.3.6. Ganancia de antenas .....	41
2.3.7. Señal de recepción obtenida en los enlaces.....	46
2.4. Valores guías para la determinación de equipos	47
2.5. Costo estimativo de equipos.....	50
3. Protección por onda portadora .....	
3.1. Introducción .....	52
3.2. Características de esta protección .....	
3.2.1. Rango de frecuencia .....	54
3.2.2. Equipos de telecomunicación a onda portadora.	54
3.2.3. Potencia de transmisión .....	58
3.2.4. Acople a las líneas de potencia de alta tensión..	59
3.2.5. Circuitos de acoplamiento .....	65
3.3. Planificación de comunicaciones por onda porta	

dora para la línea Pucará - Quito .....	
3.3.1. Generalidades .....	67
3.3.2. Nivel de ruido y su separación con el nivel de señal .....	68
3.4.    Valores de las magnitudes características <u>a</u> sumidas para el proyecto .....	
3.4.1. Atenuación .....	72
3.4.2. A.- Valores guías para la atenuación obteni - dos de valores de medición conocidos.....	73
3.4.2. B.- Dimensiones geométricas de la línea    de 138 KV Pucará - Quito .....	80
Atenuación de la línea Pucará - Quito de 105 Km	85
Atenuación de la línea Pucará - Ambato de 30Km	87
3.4.3. A.- Impedancias de adaptación .....	88
3.4.3. B.- Reactancias de las estaciones de alta tensión	88
3.4.4. Arreglo del sistema de comunicación por O.P. para el Proyecto Pisayambo .....	
A.º Generalidades,.....	89
B.- Canales y circuitos de acople de O.P. para protección y comunicaciones .....	89
C.- Equipos necesarios para el sistema de comu nicaciones por O.P. ....	91
3.4.5. Plan de frecuencias .....	91
3.4.6. Clase de equipos de O.P. y niveles de potencia de operación .....	93
3.5.    Equipos principales .....	

	Pág. N°
3.5.1. Condensador de acoplamiento .....	95
3.5.2. Trampa de línea .....	96
3.5.3. Equipos de comunicación por O.P. ....	97
3.6. Costo estimativo de equipos .....	98
3.7. Operación de la protección .....	
3.7.1. Generalidades .....	100
3.7.2. Esquema de protección por relés .....	104
3.7.3. Características y tipos de relés a usarse...	105
3.7.4. Zonas de protección y calibración de relés..	108
Influencia de la resistencia de falla en la ca	
libración de relés .....	113
3.7.5. Análisis de un esquema de protección de re	
lés por comparación direccional a través de	
O.P. ....	115
3.7.6. Operación de la protección por sistema de O.P.	117
Recierre monofásico .....	119
3.8. Protección de reserva o respaldo .....	121
3.9. Utilización de canales telefónicos por O.P. pa	
ra comunicación .....	122
3.10. Justificación .....	124
 Bibliografía .....	

## INDICE DE FIGURAS - ESQUEMAS Y /O PLANOS

### CAPITULO I

	Pág. N°
Fig. N° 1 Torres de 138 KV .....	2
Fig. N° 2 Ubicación general de las obras del Proyecto Pisayambo .....	3
Fig. N° 3 Indicación para "Corredor equivalente" de rayos, según fórmula .....	5
Fig. N° 4 Angulo de protección de hilo de guardia ....	6
Fig. N° 5 Probabilidad de fallas de apantallamiento vs. ángulo de apantallamiento .....	6
Fig. N° 6 Curva de probabilidad de corriente por cho - que de rayos .....	8
Fig. N° 7 Descargas eléctricas en torres .....	9
Fig. N° 8 Corrientes en choques de rayos sobre líneas de transmisión .....	9
Fig. N° 9 Diagrama unifilar general - Proyecto Pisa - yambo .....	11
Fig. N° 10 Esquema unifilar del Sistema Pisayambo ..	12
Fig. N° 11 Ubicación general de las obras con localiza - ción de repetidoras de micro-ondas .....	26
Fig. N° 12 Escalas Pathfinder .....	31
Fig. N° 13 Perfil enlace Cotopaxi - Subestación Quito.	32
Fig. N° 14 Perfil enlace San Diego - Cotopaxi .....	35



	Pág. N°
Fig. N° 15	Perfil enlace Pucará - San Diego..... 36
Fig. N° 16	Perfil enlace San Diego - Ambato ..... 37
Fig. N° 17	Pérdidas del camino en espacio libre ..... 39
Fig. N° 18	Carta selección ganancia antenas enlace Co topaxi - Subestación Quito ..... 44
Fig. N° 19	Carta selección ganancia antenas enlace San Diego - Cotopaxi ..... 45
Fig. N° 20	Carta selección ganancia antenas enlace Pu cará - San Diego..... 45
Fig. N° 21	Carta selección ganancia antenas enlace San Diego - Subestación Ambato ..... 46
Fig. N° 22	Esquema de sistema periscópico de antenas. 49
Fig. N° 23	Esquema de enlace por micro-ondas para Sistema Pisayambo ..... 50
Fig. N° 24	Relación entre clase de equipo , modo de ope ración y esquema de asignación de frecuencia 54
Fig. N° 25	(A-B) Equipo telefónico de O. P. de dos bandas laterales y de banda lateral única ..... 55
Fig. N° 26	Bobinas de bloqueo de alta frecuencia ..... 61
Fig. N° 27	Esquema de condensador de acoplamiento ... 63
Fig. N° 28	Filtros de bloqueo ..... 64
Fig. N° 29	Filtro de acoplamiento ..... 65
Fig. N° 30	Circuitos de acoplamiento de O. P. a líneas de alta tensión ..... 65
Fig. N° 31	Distancias promedias de conductor al suelo.. 80
Fig. N° 32	Esquema de comunicación por ondas portado- ras para Sistema Pisayambo ..... 91

	Pág. N°
Fig. N° 33	Plan de frecuencias - Proyecto Pisayambo . 92
Fig. N° 34	Utilización del Plan de frecuencias de 8 KHz para comunicación por O.P..... 93
Fig. N° 35	Diagrama unifilar Subestación Pucará ..... 100
Fig. N° 36	Sistema Pisayambo -. Curvas de oscilación. 103
Fig. N° 37	Zonas de protección de línea Pucará-Quito. 108
Fig. N° 37	(B) Diagrama R-X del relé de zona 2 del interruptor 2 ..... 114
Fig. N° 38	(A-B) Relé de comparación direccional-Cir cuitos de control y apertura..... 116
Fig. N° 39	Esquema del relé de recierre monofásico SGR-12..... 120

---

## CAPITULO I

### GENERALIDADES SOBRE LA APLICACION DE PROTECCION POR ONDA PORTADORA A LA LINEA DE TRANSMISION PISAYAMBO - QUITO DE 138 KV.

#### I.1. GENERALIDADES

El Proyecto Pisayambo previsto en el Plan Nacional de Electrificación como la primera realización para el arranque del Sistema Nacional Interconectado, cuyo organismo ejecutor es el Instituto Ecuatoriano de Electrificación, servirá en una primera fase a las Provincias de Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi y Pichincha. Los principales centros de consumo serán las áreas de Quito, Ambato y Riobamba. En lo posterior se interconectará con el sistema eléctrico Norte que sirve a las Provincias de Imbabura y Carchi y con las Provincias de Bolívar y Pastaza.

La realización del Proyecto aparte de las obras hidroeléctricas comprende:

- Línea de transmisión de 138 Kv. Pucará-Quito
- Línea de transmisión de 138 Kv. Pucará-Ambato
- Línea de transmisión de 69 Kv. Ambato-Latacunga

En todo el proyecto se ha dado especial importancia a la seguridad de operación a fin de garantizar el servicio ya sea en ocurrencia de averías transitorias o durante la puesta fuera de servicio por motivos de mantenimiento. Es así como para las líneas de transmisión a más de su seguridad constructiva se ha previsto teletransmisiones para dar una conexión rápida y eficiente a las protecciones de las líneas y comunicaciones.

## I.2. CARACTERISTICAS DE LA LINEA

### I.2.1. Generalidades

La línea de transmisión Pucará-Quito de 105 Km. de longitud aproximadamente, operará a una tensión nominal de 138 KV. y constará de un solo circuito trifásico, con hilo de guardia.

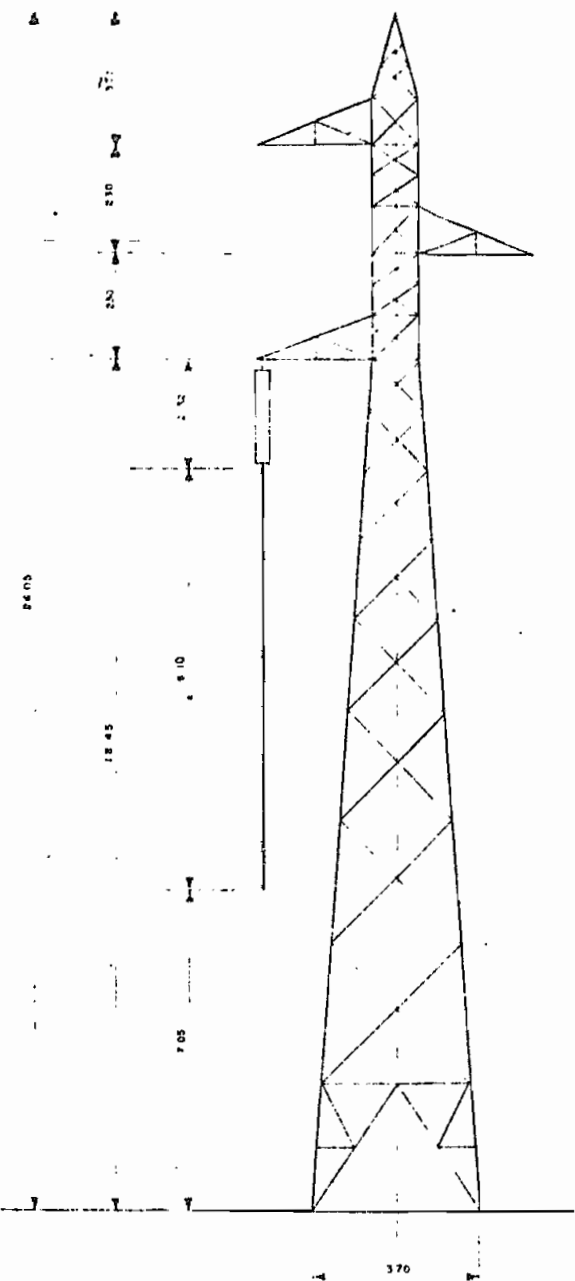
Una línea similar cubrirá la ruta Pucará-Ambato en una extensión aproximada de 30 Km. Las líneas funcionarán a una frecuencia de 60 HZ. El neutro del sistema irá sólidamente conectado a tierra.(1)

### I.2.2. Características y disposición de los conductores

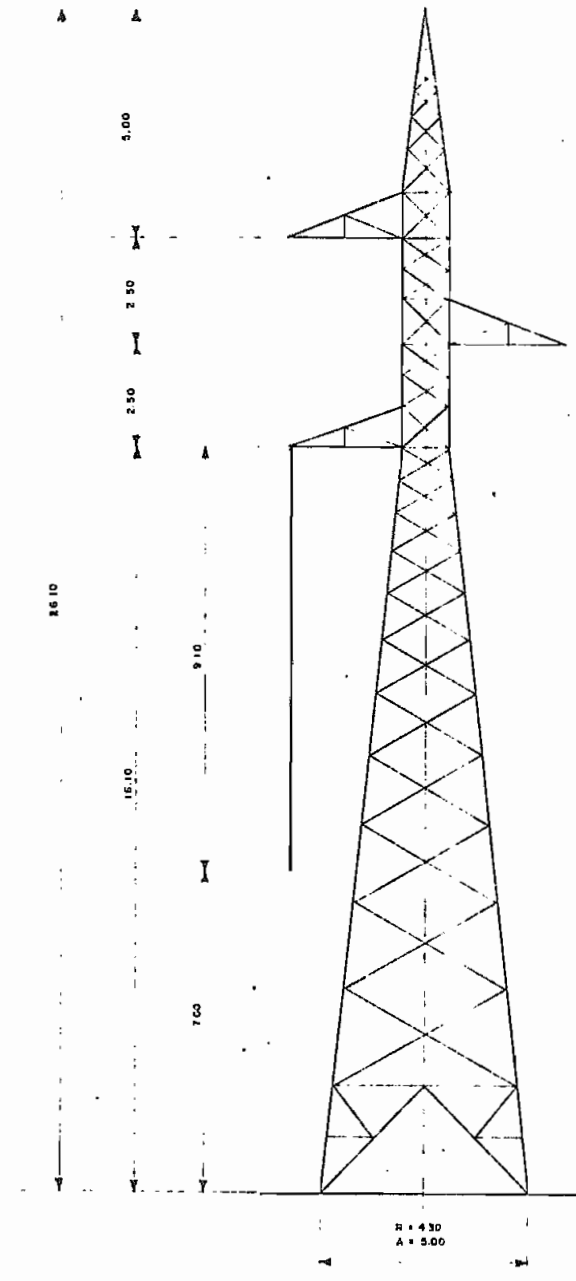
Los conductores tendrán las siguientes características límites:

	Circuito de fuerza	Hilo de guardia
Material (tipo)	ACSR (Flicker)	Acero galvanizado
Diámetro total mm.	21,49 (477 MCM)	9.5 (3/8")
Sección mm <sup>2</sup>	273,00	51,2
Formación (número de hilos)	24/7	7
Número de conductores por fase	1	1

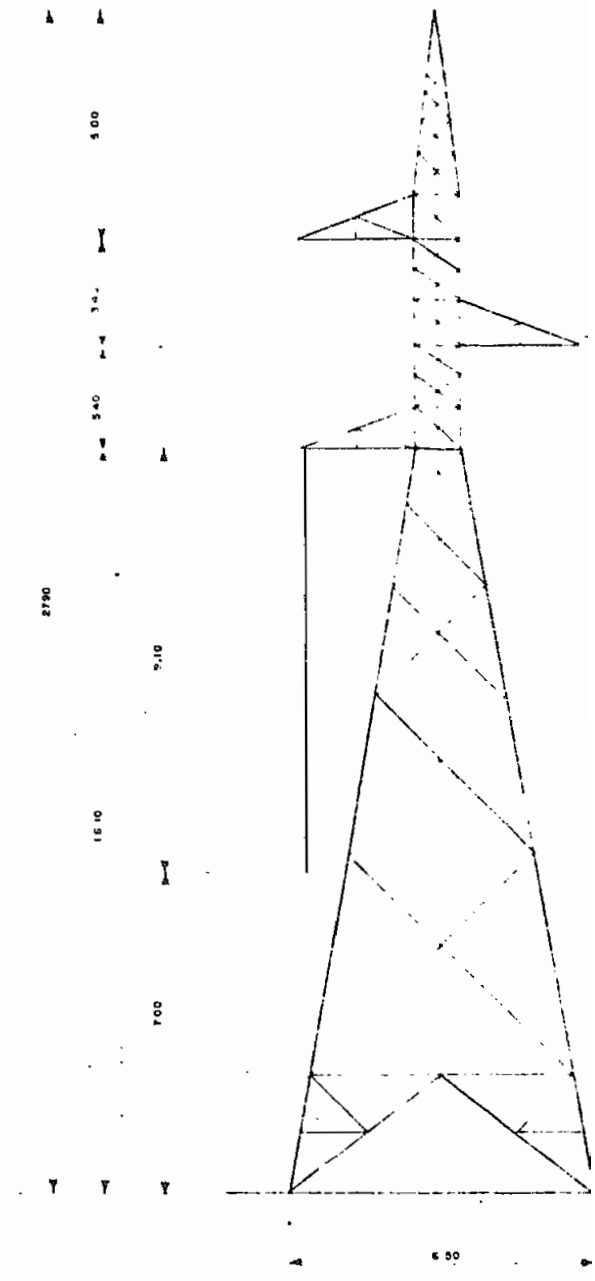
La disposición será tipo triangular con 2 conductores verticales, en torres de acero galvanizado, como puede verse en la figura N° 1. (1)



TIPO N (Suspensión)



TIPOS R-T-A (Anclaje).



TIPO C (Terminal)

FIG. Nº 1

TORRES DE 138 KV.

### I.2.3. Cadenas de Aisladores

Los aisladores serán de porcelana, tipo niebla, de 254 mm. (10") de diámetro de campana y 146 mm. ( $5\frac{3}{4}$ "") de altura; las cadenas normales de suspensión que se utilizarán en los lugares en que no se supere la cota de 3.000 m.s.n.m. estarán formadas por 11 elementos; para alturas superiores, se utilizarán cadenas de 12 elementos.

Las cadenas de anclaje estarán formadas por 12 elementos para cotas menores de 3.000 m.s.n.m. y por 13 elementos para las cotas superiores. (1)

### I.2.4. Ruta

Las líneas se extenderán en gran parte de su recorrido por terrenos ondulados y en las vecindades de la Central Pucará por terreno montañoso.

En un 70% del recorrido de las líneas, éstas están a una cota que oscila entre los 2.700 y 3.000 m.s.n.m., sólo un tramo de la ruta Pucará-Ambato atraviesa por sitios un poco inferiores a 2.600 m.s.n.m.; en el restante 30% supera esta altitud, llegando a los 3.500 m.s.n.m. en la localidad de Cochapugro frente a la estación Minitrak de Cotopaxi y a los 3.400 m.s.n.m. en la zona circundante a la Central Pucará. La ubicación geográfica de las obras y líneas de transmisión se indica en la figura N° 2. (1)

### I.2.5. Condiciones ambientales

El margen de variación de la temperatura está comprendido entre  $-5^{\circ}$  y  $40^{\circ}\text{C}$ ; no se prevén formaciones de hielo sobre los conductores; la zona está cubierta un 20% del tiempo por neblina.

Las descargas eléctricas son escasas, excepto en el sitio del proyecto hidroeléctrico. (1)

#### I.2.6. Resistividad del terreno

El valor medio de la resistividad según las mediciones efectuadas en la ruta de la línea está comprendido entre 40 y 150 ohmios - metro, en los 3/4 de su recorrido; sin embargo en la zona desde Machachi hasta el río San Pedro, en unos 30 Km. aproximadamente, la resistividad es elevada llegando a sobrepasar los 2.000 ohmios - metro. (2)

#### I.2.7. Nivel Isokeráunico

Para la zona atravesada por la línea de transmisión Pucará-Quito de 105 Km. de longitud, en base a los datos de las estaciones meteorológicas a lo largo del recorrido, se pueden asumir los siguientes valores de nivel isokeráunico:

	Nivel Isokeráunico
95 Km. de la línea Pucará-Quito	10
10 Km. de la línea Pucará-Quito	55
30 Km. de la línea Pucará-Ambato	10 (2)

### I.3. USO DE HILO DE GUARDIA

#### I.3.1. Introducción

Los requisitos de aislamiento para líneas de transmisión de tensiones elevadas no están determinados por la tensión nominal de la línea, sino por las tensiones que se producen por descargas atmosféricas y por las tensiones transitorias de maniobra. Para estas líneas de alta tensión se considera como factor principal los disturbios de rayos que resultan del choque directo de la descarga con las líneas.

De los estudios realizados para la línea de transmisión Pucará-Quito y de acuerdo a los valores del nivel isokeráunico obtenidos para el recorrido de la misma, se ha calculado el número de descargas atmosféricas por año (N) que pueden afectar la línea. Este valor viene dado por la ecuación:

$$N = M \times D \times L_o \quad (A) \quad (2)$$

donde  $M$  = longitud de la línea (Km)

$D$  = densidad estadística de los rayos por Km<sup>2</sup> por año (dato dependiente del nivel isokeráunico de la zona)

$L_o$  = ancho del "corredor equivalente" sobre el que caerían los rayos captados por la línea misma.

Por otro lado:  $D = K \times I \quad (B)$

donde  $K$  = constante = 0,25 según referencia (3)

Además el ancho del "corredor equivalente"  $L_o$  está dado por la ecuación:

$$L_o = 4 \left\{ ht - \frac{2}{3}(ht - hg_w) + b \right\}$$

donde  $ht$  = altura del hilo de guardia en la torre

$hg_w$  = altura del hilo de guardia en medio vano.

Para la línea Pucará - Quito el valor de  $L_o$  ha sido adoptado como 0,125 Km. según referencia (2).

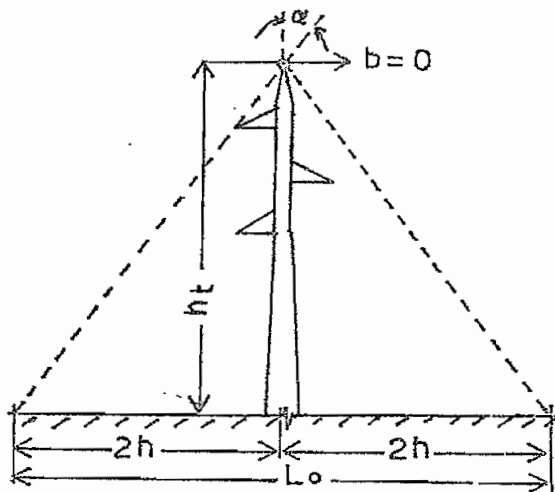


FIG. N° 3

Entonces el número de descargas atmosféricas para los valores del nivel isokeráunico de la zona y de acuerdo a la ecuación (A) es:



$$\begin{array}{rcl}
 N = 95 \times 0,25 \times 10 \times 0,125 & = & 29,7 \quad (\text{rayos/año}) \\
 N = 10 \times 0,25 \times 55 \times 0,125 & = & 17,2 \quad \quad \quad \text{"} \quad \text{"}
 \end{array}$$

La suma de estos dos valores da:

$$29,7 + 17,2 = 46,9 (\text{rayos/año})$$

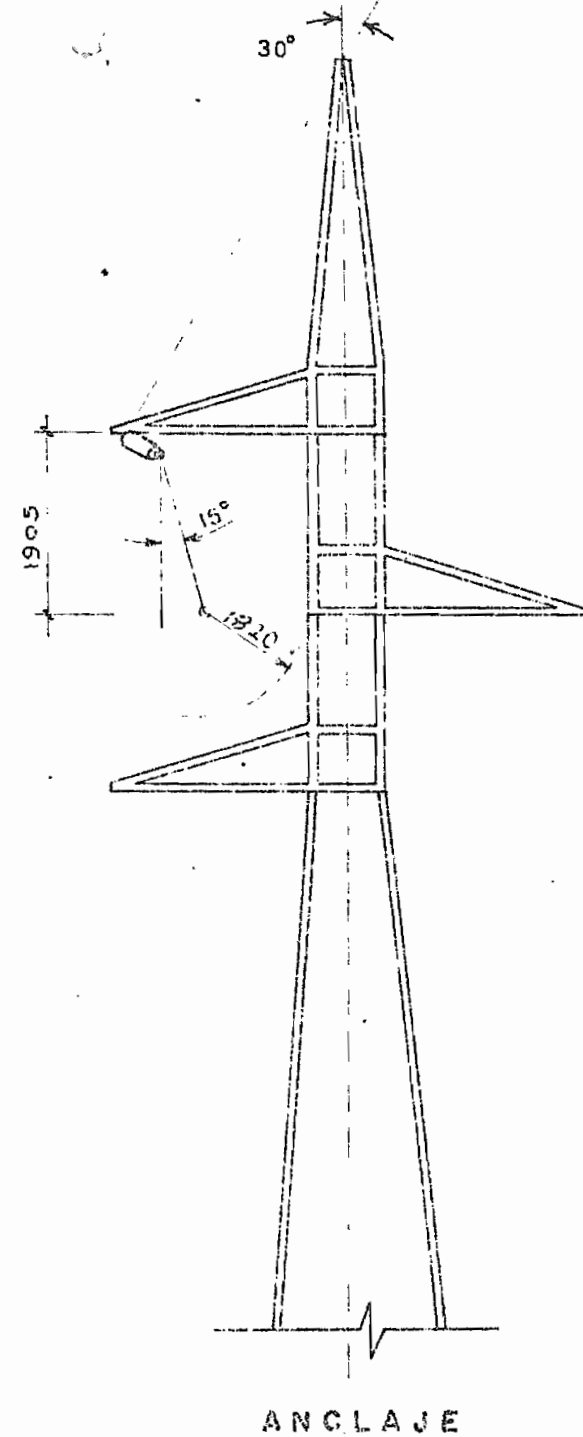
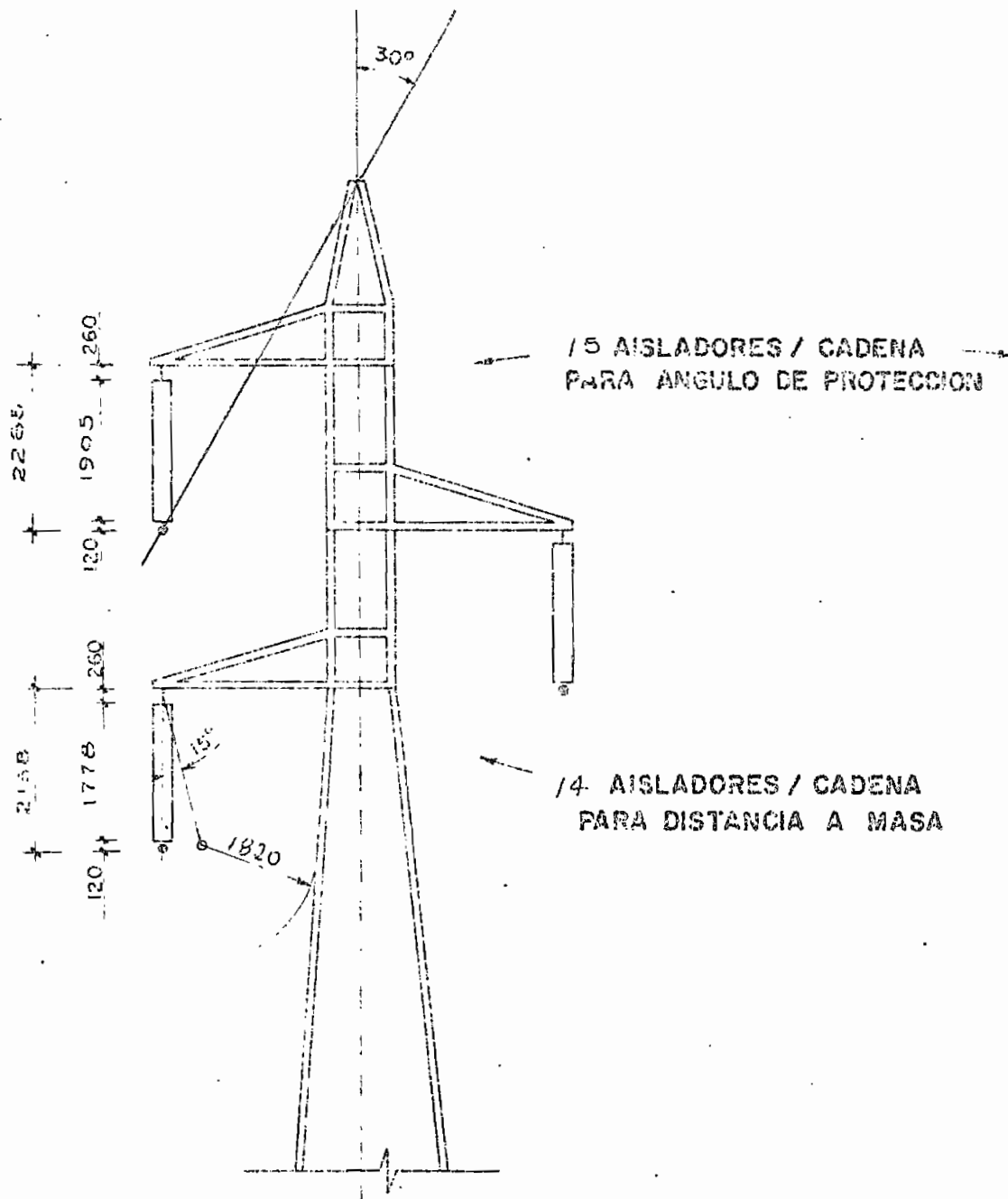
De esta forma el número de descargas atmosféricas que pueden afectar la línea se ha tomado como 47. (2)

De estos datos orientativos resulta la necesidad de dar una adecuada protección a la línea y reducir la resistencia de puesta a tierra de los soportes para reducir el número de averías por rayos.

### I.3.2. Protección con hilo de guardia

La adopción de utilización de hilo de guardia en la posición que se indica en la figura N° 4, guardando un ángulo máximo de protección de 30°, asegura una protección casi total a los conductores en estado de reposo y en balanceo de conductores con viento. Como se vé de la figura, este ángulo guardado entre el hilo de guardia y el conductor más alto es menor a 30°; también la elección de la flecha se ha efectuado de tal modo que resulte de por lo menos un 10% inferior a aquella del conductor, para así aumentar adecuadamente el ángulo de protección sobre los conductores en el centro del vano. La probabilidad de falla de la protección con hilo de guardia es menor a 0,01 para la altura de torres a usarse (85 pies) según se vé del gráfico N°5.

Además según el tipo de construcción adoptado el hilo de guardia no está colocado directamente sobre los conductores, lo cual elimina la posibilidad de contacto en caso de rotura.



SUSPENSION  $\alpha \leq 1^\circ$

FIG. N° 4

rayos indirectos. La reducción de este riesgo se consigue también con la disminución de la resistencia de puesta a tierra de las torres.

#### I.3.4. Análisis de averías

Como resultado del análisis de averías debidas a descargas atmosféricas para la línea de transmisión Pucará-Quito se ha estimado en 2,5 el número de averías por año para las descargas directas (impacto directo en los conductores por falla de apantallamiento) y en alrededor de 0,57 para la zona de mayor nivel isokeráunico con 15 ohmios de resistencia de puesta a tierra por descargas indirectas (fallo de aislamiento por impacto de rayo en la torre o hilo de guardia) (2).

Mirando la funcionabilidad del sistema es importante saber cuántas de dichas averías pueden afectar más de un conductor. De acuerdo a las estadísticas relativas a líneas de 130-150 KV., el 90% y el 65% de las averías por rayos directos e indirectos respectivamente, se estima que son averías monofásicas de tipo transitorio, por lo que se ha previsto el recerrado monofásico por averías monofásicas, lo cual no causará interrupción del servicio (pérdida de estabilidad). El 10% de averías por rayos directos e indirectos causará fallas permanentes con interrupción del servicio (el 25% restante de las averías por rayos indirectos se estima que son transitorias con pérdida de sincronismo por afectar a más de una fase).

#### I.3.5. Baja resistencia de puesta a tierra

Analizando la figura N° 6 se observa que con el número previsto de 2,5 averías por año, hay la probabilidad de choques

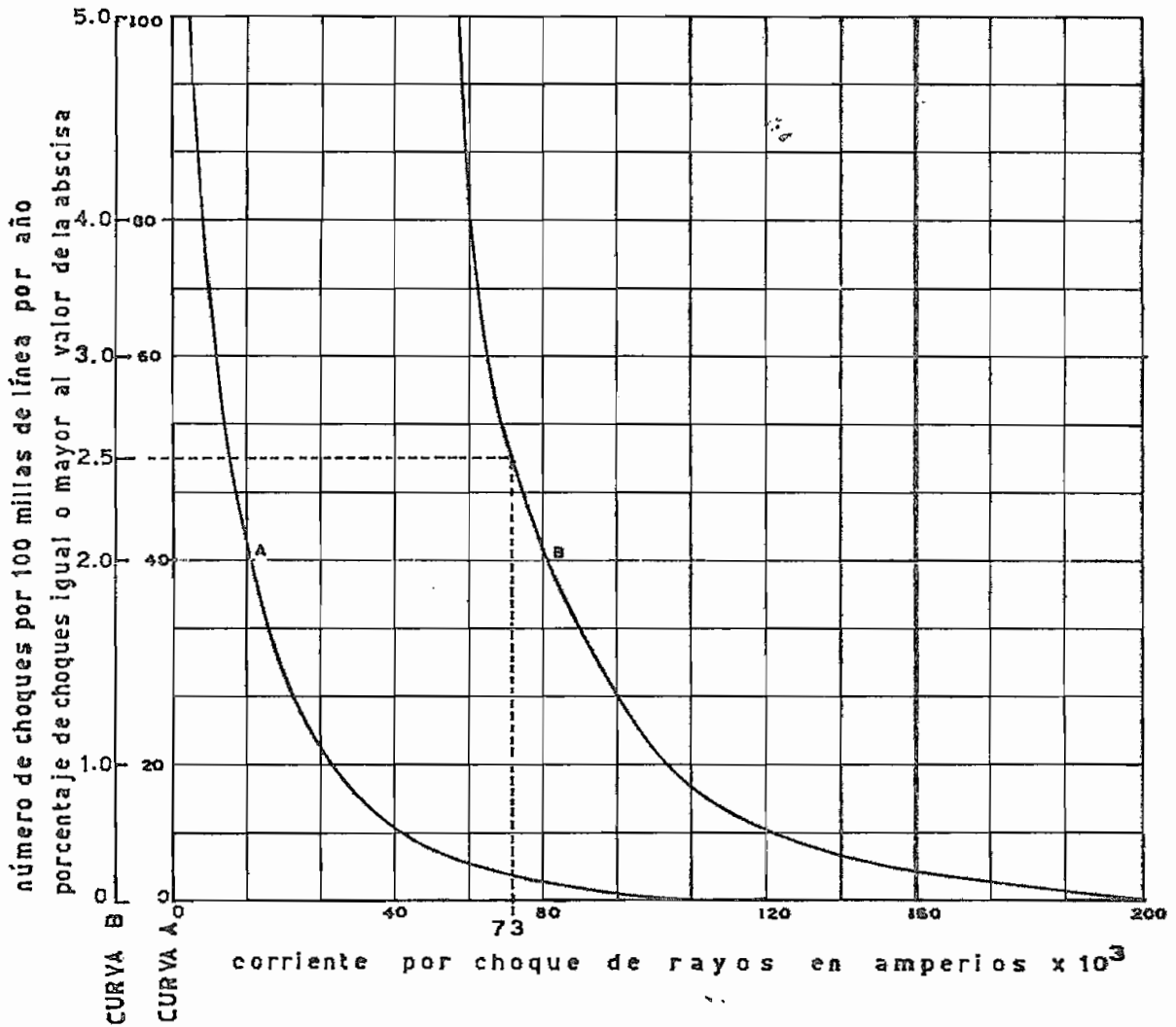


FIG. Nº 6 - CURVA DE PROBABILIDAD DE CORRIENTE POR CHOQUE DE RAYOS.  
 CHOQUES POR 100 MILLAS DE LINEA POR AÑO BASADOS EN NIVEL ISOKERAUNICO DE 30.

En el diseño de la línea se ha adoptado una resistencia de puesta a tierra de las torres dentro de 10 a 15 ohmios, previendo la utilización de varillas de copperweld para los sitios de baja resistividad y el empleo adicional de contrapesos (counter poise) para las zonas de alta resistividad, con lo cual se ha tomado una solución satisfactoria en cuanto respecta al problema de las descargas eléctricas.

#### I.4. DESCRIPCION DE EQUIPOS Y ESQUEMAS UNIFILARES DEL SISTEMA

##### I.4.1. Equipos principales de la central y subestaciones

###### A. Central Pucará:

2 unidades generadoras de 40 MVA cada una, 3  $\emptyset$ , 13,8 KV., 60 HZ (2)

###### B. Subestación Pucará:

2 transformadores de elevación de 40 MVA cada uno, trifásicos, 60 HZ; relación 13,8/141,5 + 3 x 2,5% KV; conexión: lado de baja tensión, triángulo y lado de alta tensión, estrella con neutro conectado solidamente a tierra (d - y - 11); conmutador de tomas sin carga. Interruptores automáticos monofásicos para 138 KV., apropiados para operación monofásica y trifásica; 3.500 MVA. de capacidad de interrupción; 0,05 seg. de tiempo máximo de interrupción (3 ciclos).

Sala de tableros conjunta para protecciones, mandos y medición de la Central y Subestación. (5)

###### C. Subestación Quito:

Doble sistema de barras: principal y de Transferencia,

será una estación de seccionamiento; los interruptores automáticos serán similares a los de la subestación Pucarará; tendrá una sala de tableros de protecciones, maniobra y medición. (5)

D. Subestación Ambato:

Un autotransformador trifásico, 60 HZ con devanado de compensación (terciario), de 33-33-11 MVA, relación que va de - 10% a + 10% en pasos de 5/8% y con 33 tomas en el lado de alta tensión; conexión: primario, estrella con neutro conectado solidamente a tierra; secundario, estrella con neutro conectado solidamente a tierra y terciario, triángulo (Y - Y - d); conmutador de tomas con carga.

Los interruptores automáticos para la tensión de 138 KV tendrán las mismas características descritas anteriormente, lo mismo que los interruptores para 69 KV y 13,8 KV a excepción de su capacidad que será de 1.500 y 500 KVA respectivamente; los interruptores para la tensión de 69 KV podrán ser monofásicos o trifásicos y para 13,8 KV., serán trifásicos; habrá una sala de tableros de protección, maniobra y medición. (5)

La figura 2 anterior esquematiza la localización geográfica de la central y subestaciones donde se indican las cotas sobre el nivel del mar y las distancias entre dichas localidades.

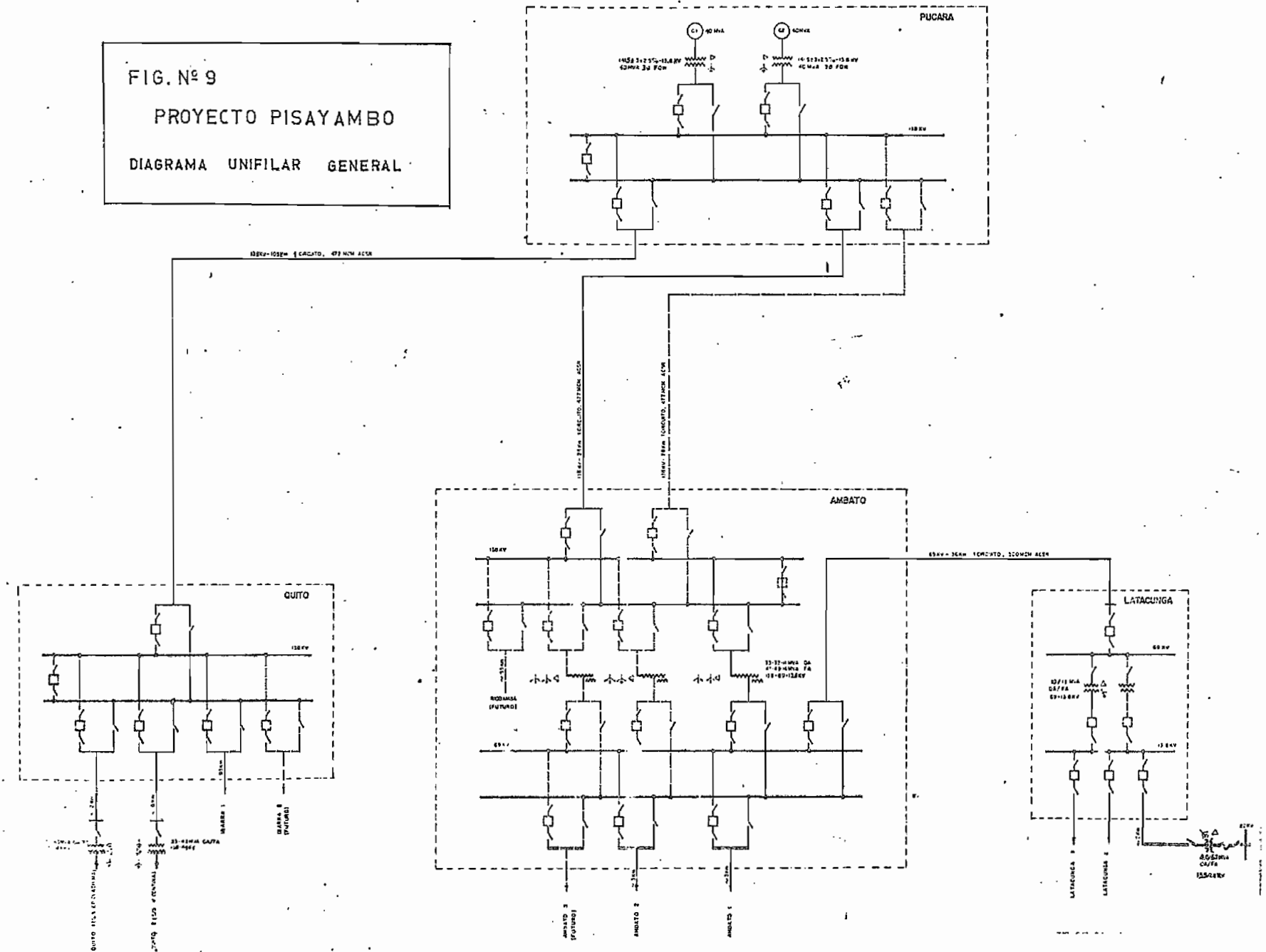
I.4.2. ESQUEMA UNIFILAR DEL SISTEMA

Se indica a continuación en la figura N° 9.

FIG. N° 9

PROYECTO PISAYAMBO

DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL



## I. 5. CRITERIOS PARA LA APLICACION DE LA PROTECCION DE LA LINEA DE TRANSMISION PUCARA-QUITO

### I. 5.1. Introducción

El funcionamiento correcto de un sistema de transmisión depende esencialmente del correcto funcionamiento de las protecciones.

La técnica de protección por relés de líneas de transmisión es muy importante ya que la gran mayoría de fallas ocurren en las líneas, antes que en las barras y equipos. Esta gran vulnerabilidad de las líneas toma origen de su longitud y su consiguiente exposición a descargas atmosféricas y otros riesgos. La obtención de protección por relés de alta velocidad para líneas es más difícil que para otros equipos por la complejidad y costo para transmitir la información de un terminal a otro de la línea y a muchos kilómetros de distancia. Si no hay esta transmisión de información, los relés deberían operar a base sólo de información local, lo cual no siempre es suficiente.

### I. 5.2. Análisis del Sistema

Analizando el esquema unifilar general del sistema que va a servir la Central Pucará se verá el porqué las corrientes y voltajes de un terminal de la línea no son suficientes para indicar si la falla está en la sección de la línea protegida.

(Ver esquema a continuación, Figura N° 10)



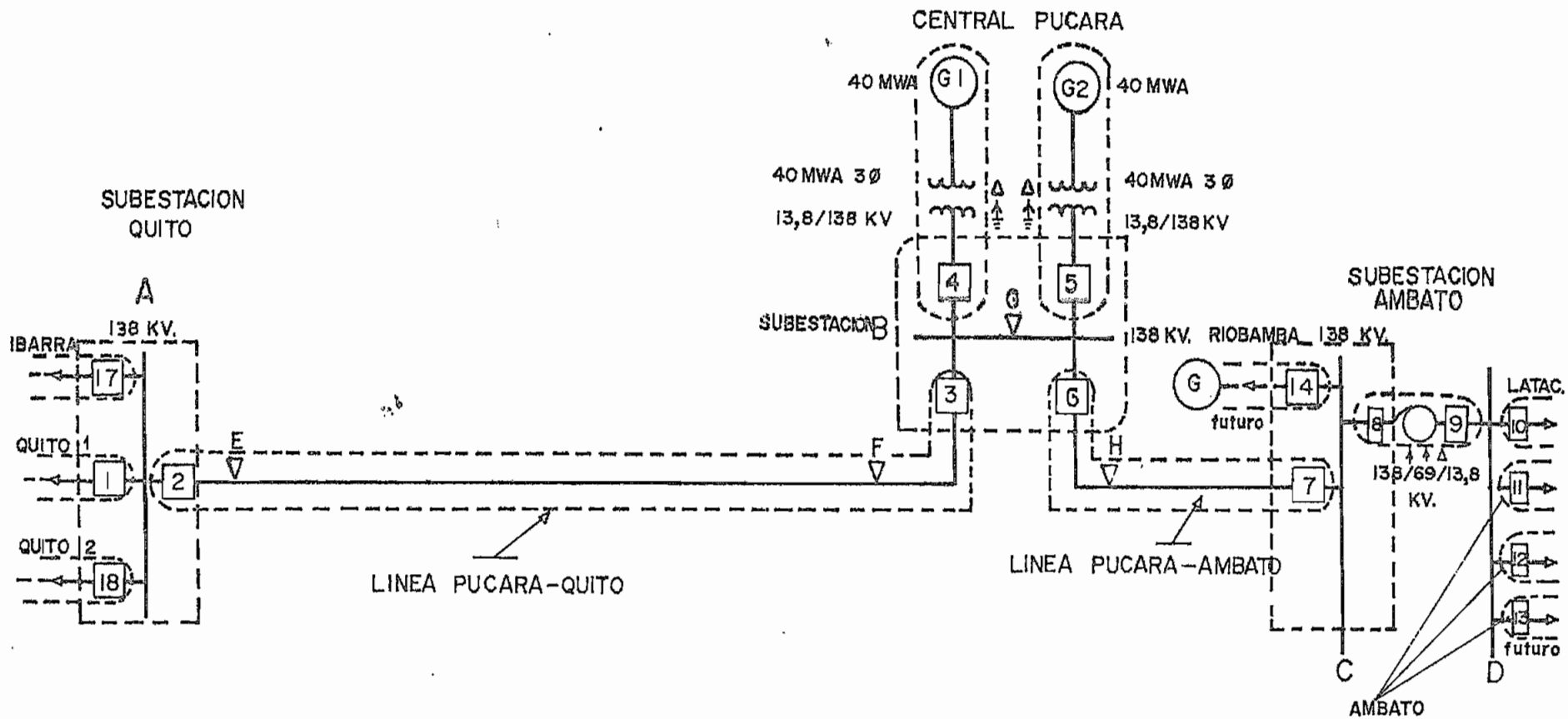


FIG. Nº 10 ESQUEMA UNIFILAR GENERAL DEL SISTEMA SERVIDO POR CENTRAL PUCARA  
 --- LINEAS ENTRECORTADAS INDICAN SECCIONES PROTEGIDAS  
 ▽ SIMBOLOS INDICAN POSIBLES LOCALIZACIONES DE FALLAS

Del esquema se vé que las corrientes y voltajes al circuito interruptor 2 originados por la falla en el punto F., que está cerca al terminal lejano de la sección protegida, no son distinguibles de aquellos causados por fallas en los puntos G o H, que están más allá del final de la Sección protegida. Sin embargo, para una falla en el punto F, el circuito interruptor 2 debe operar, mientras que para las fallas en los puntos G o H no debería operar.

Hay dos métodos para determinar si el interruptor 2 debe operar para una falla cercana al terminal lejano. Estos métodos son:

1. La transmisión de información desde el interruptor 3 al 2; y,
2. El uso de retardo de tiempo.

El segundo método no satisface plenamente los requerimientos de despeje de fallas a alta velocidad.

#### Primer Método:

Mientras el interruptor 2 para una falla en el punto F no puede distinguirla de las fallas en los puntos G o H, el interruptor 3 si lo hace facilmente. Los ángulos de las corrientes en el interruptor 3 varían según a qué lado del interruptor está la falla. Una falla en el punto F originará un flujo de corriente hacia dentro de la sección protegida; una falla en los puntos G o H hará fluír una corriente hacia afuera de la sección protegida. Por eso, la señal que se enviará desde el interruptor 3 al 2 por medio de un canal de corriente por onda portadora o cualquier canal de comunicación, servirá para permitir o bloquear la operación del interruptor 2 según la dirección de la corriente

te en el interruptor 3. Esta forma de obtener selectividad se conoce como protección piloto.

#### Segundo Método:

Este método consiste en retardar la operación de un interruptor para permitir que algún otro interruptor accione primero cuando se trata de distinguir si una falla ocurrida al terminal lejano de una línea es interna o externa a la sección protegida. Así para fallas en los puntos F, G y H el accionamiento del interruptor 2 es retardado. Si la falla fuera en el punto H, el interruptor 6 es operado inmediatamente. Con falla en el punto G, los interruptores 3 - 4 - 5 y 6 accionarían inmediatamente. En cualquier caso, después de la operación de estos interruptores, las condiciones sentidas por el circuito del interruptor 2 cambian para indicar que no hay falla en la sección protegida y los relés de este interruptor quedan en reposo. Pero si la falla es en el punto F el interruptor 3 accionará inmediatamente y su apertura no alterará mayormente las condiciones de falla sentidas en el interruptor 2, que ante la indicación de que persiste la falla en el terminal lejano, operará para abrir el circuito después de expirar el tiempo de retardo.

Para el caso de falla en el punto E, el interruptor 2 abrirá inmediatamente y el 3 será retardado excepto si se usa un sistema piloto; como se vé los papeles de los interruptores 2 y 3 son exactamente intercambiables para fallas a los terminales lejanos.

### I. 6. USO DE PROTECCION PILOTO

#### I. 6. 1. Introducción:

La protección piloto usada para líneas de transmisión es una

protección tipo zona, que en muchas formas es análoga a la protección diferencial aplicada para equipos (transformadores, generadores, barras, etc.)

Esta protección consiste en un canal de interconexión entre los extremos de la línea por el que se puede transmitir o recibir información. El uso de un canal piloto para comparar condiciones en los terminales de una línea de transmisión da la posibilidad de tener una alta selectividad y alta velocidad para el despeje de fallas, producidas en el extremo de la misma.

#### I.6.2. Tipos de protección piloto

Existen dos tipos de protección piloto según la señal transmitida sea utilizada para el disparo de un interruptor o para bloquear dicho interruptor.

##### Piloto de Bloqueo:

Es cuando el equipo de protección del extremo de una línea debe recibir una cierta señal o muestra de corriente del otro extremo para impedir el disparo; este es el tipo preferido de sistema de protección.

##### Piloto de Disparo:

Es cuando el equipo de protección del extremo de una línea debe recibir cierta señal o muestra de corriente del otro extremo para el disparo.

#### I.6.3. Tipos de canales usados para protección piloto

En la actualidad se usan tres tipos de canales para protección piloto:

- A. Canal por hilo piloto constituido por un circuito de dos conductores del tipo línea telefónica o conductores abiertos completamente aislados de los conductores de fuerza y que dan una conexión metálica directa entre los terminales de la línea protegida.
- B. Canal por onda portadora que utiliza los mismos conductores de fuerza de alta tensión que van a ser protegidos. Las señales transmitidas a través de los conductores de fuerza y mediante equipos de acoplamiento son de alta frecuencia, del orden de 40 a 450 KHZ; y,
- C. Canal por micro-ondas, que es un canal de radio que emplea muy cortas longitudes de onda (muy alta frecuencia) para la comunicación punto a punto. La señal de micro-ondas se propaga a través de la atmósfera entre localización de antenas parabólicas que deben tener línea de señal visual debido a que no hay reflexión de ondas para la alta frecuencia utilizada (sobre los 900 MHZ).

#### I.6.4. Utilización de protección piloto para la línea de transmisión Pucará-Quito

Para el presente caso de la protección de la línea de transmisión Pucará-Quito la utilización de canal piloto se justifica por las siguientes razones:

1. Empleo de alta tensión (138 KV) en la línea de transmisión y el uso de grandes unidades generadoras (2x40 Mva)
2. La distancia que cubrirá es de 105 Km. aproximadamente.
3. La ruta que atraviesa la línea está expuesta a diferentes condiciones atmosféricas y características del suelo.

4. El tipo de construcción que eleva el costo de la línea con siderando su importancia a la puesta en servicio.
5. La línea alimentará e interconectará el importante cen- tro de carga que es el Sistema Eléctrico de Quito y lue- go formará parte del Sistema Nacional Interconectado.
6. Además en los estudios hechos para la presente línea se ha considerado tiempos de operación de las protecciones inferiores a 40 ms (2,4 ciclos), tomando en cuenta las condiciones más críticas de carga reducida a las cuales corresponden valores bajos de corrientes de falla. Se ha asumido también una vez escogida la condición de los in- terruptores un tiempo base de eliminación de las fallas en la sección protegida de 0,15 seg. (9 ciclos) tanto pa- ra el interruptor mas cercano a la falla como para el más lejano incluyendo el tiempo requerido para las tele- transmisiones. (2)

#### I. 7. VENTAJAS DE LA PROTECCION POR CANAL PILOTO

Entre las ventajas que hacen al canal piloto de uso preferido se pueden citar:

1. El despeje simultáneo de fallas mejora la estabilidad - transitoria del sistema y aumenta la carga que puede con ducirse exitosamente sobre líneas de interconexión.
2. Permite recierres de alta velocidad aumentando así, por un lado, la probabilidad de recierre con éxito con tiem- pos menores de recierre y, por otro lado, la estabilidad transitoria que resulta en un mejoramiento de la continui dad del servicio; además la alta velocidad en el despeje de fallas minimiza los daños a líneas y equipos.

3. Las sacudidas del sistema debidas a bajadas de voltaje y pérdidas de carga disminuyen con un rápido despeje.
4. La mayoría de fallas trifásicas y de doble fase a tierra generalmente se originan como fallas línea a línea o fase a tierra y con la suficiente velocidad de despeje se reduce esta propagación.
5. Para arreglos de sistemas que no pueden ser protegidos con suficiente velocidad, por ejemplo: protección de tierra de alta velocidad, el sistema piloto dá una solución ideal.
6. Un canal piloto es inmune para prevenir la operación de relés de protección durante balanceo de potencia o condiciones de salida de sincronismo, lo que facilita despejar fallas durante esas condiciones.
7. Si se añade el principio de discriminación hace posible un comportamiento superior de relés bajo fallas simultáneas.
8. Desde el punto de vista económico la utilización del canal piloto para enlaces de comunicación punto a punto, para control o medida, justifican su uso aún si los requerimientos de protección no son aplicados.

I.8. CALIDAD QUE DEBE REUNIR LA PROTECCION POR CANAL PILOTO

Dadas las características de diseño del Sistema Pisayambo, el sistema de protección piloto a más de ser capaz de despejar las fallas a alta velocidad, debe tener un alto grado de confiabilidad y seguridad.

La confiabilidad de acuerdo a la norma ASA 37.1, es la me di da del grado de certeza de que un relé o sistema de relés opere correctamente.

Para sistemas de alta tensión y que presentan problemas de estabilidad es deseable obtener un 100% de confiabilidad y de no ser posible tratar de acercarse a este objetivo con componentes propios y adecuado sistema de protección.

Dos factores afectan la confiabilidad:

- A. La disponibilidad de equipo; y,
- B. La cantidad y complejidad del equipo.

Si el equipo no está disponible para ejecutar su función al tiempo que es necesario, entonces la confiabilidad del siste ma de protección se reduce. El mantenimiento es un fac tor que afecta a la disponibilidad, pero ésta puede conse guir se en mayor grado utilizando relés y componentes en estado sólido, que casi no requieren mantenimiento. La experien cia ha demostrado que después de 3 años sin mantenimiento, las calibraciones de los relés estáticos aún están dentro de los límites originales de fábrica.

La confiabilidad puede ser aumentada incrementando la cantidad de equipo y arreglando adecuadamente su funcionamiento. Por ejemplo, hay sistemas con estabilidad limitada, que tienen un sistema dual de protección piloto y adicionalmente protección de retaguardia. El costo de duplicar equipo será compensado con el aumento de la confiabilidad total del sistema.

La seguridad se refiere a la capacidad del relé o sistema de relés para no operar por falsa información recibida. En la



mayoría de casos la seguridad total de un sistema de protección puede aumentarse usando mejores unidades de relés con solo un nominal aumento de costo.

CAPITULO IIESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CANAL  
PILOTOII.1. PROTECCION POR CONDUCTOR PILOTOII.1.1. Introducción

Aparte de los tipos de esquemas utilizados actualmente para la protección por hilo piloto y de escoger el mas apropiado para un sistema dado, un ideal sistema de protección por conductor piloto debería guardar los siguientes principios:

- 1) Requerir unicamente dos conductores piloto.
- 2) Proveer completa protección de fase y tierra con un solo relé a cada terminal.
- 3) Permitir un margen de variación para el comportamiento de los transformadores de corriente.
- 4) Ser apropiado para uso sobre circuitos telefónicos arrendados.
- 5) No operar incorrectamente cuando el sistema está fuera de sincronismo.
- 6) Proveer adecuada aislación entre los hilos piloto y el equipo terminal.
- 7) Tener provisión para proceder facilmente en caso de voltajes inducidos a lo largo de la ruta en los circuitos piloto o en el caso de diferencias en el potencial de tierra de la estación.
- 8) Tener provisión para supervisar los conductores pilo-

to.

- 9) Operar a alta velocidad.

### II.1.2. Aplicabilidad a la línea Pucará - Quito

Habría dos posibilidades de establecer una protección por conductor piloto para la línea de transmisión Pucará-Quito:

- 1) Arrendando a compañías telefónicas que dispongan de este medio en el área de servicio de la línea de transmisión; y,
- 2) Construyendo y manteniendo un circuito piloto propio.

En el primer caso, para la línea Pucará-Quito, la situación de la central Pucará alejada de los centros poblados donde funcionan los enlaces telefónicos o telegráficos, haría necesaria la construcción de ramales de enlace. Por otro lado analizando la disponibilidad y confiabilidad actual de los enlaces telefónicos (IETEL) y telegráficos (FF.CC.) se llega a la conclusión de que dichas empresas no están en capacidad de ofrecer un servicio confiable y seguro como el que se necesita para protección piloto.

En el segundo caso, la aplicación de conductores piloto está limitada para líneas cortas principalmente debido a la capacitancia shunt del par de conductores piloto, su resistencia ohmica y su costo. El costo de un canal por hilo piloto es practicamente proporcional a su longitud.

El punto límite económico de acuerdo a algunos estudios

está comprendido entre 10 y 15 Km. y según estadísticas norteamericanas de 10 a 20 millas; este límite económico no es fijo ya que varía con el tipo de hilo piloto, la postación donde se monte y según sea línea aérea o un cable de alta tensión.

Pero la limitación de la distancia para la aplicación de protección por hilo piloto es esencialmente la atenuación de la señal por la capacitancia distribuida y la resistencia serie.

Por lo tanto, este tipo de protección no es aplicable a la línea Pucará-Quito.

## II.2. PROTECCION POR MICRO-ONDAS

### II.2.1. Introducción

La tendencia moderna en sistemas eléctricos de potencia interconectados es el uso de micro-ondas para las telecomunicaciones, gracias a las más recientes invenciones electrónicas.

Este uso se halla bastante generalizado en EUA y Canadá, donde más de 50 compañías poseen un sistema de telecomunicaciones por micro-ondas. A más del empleo de micro-ondas para protección piloto, se están usando para control, telemedición, comunicación hablada, control de radio UHF, control de frecuencia de carga, envío de datos a alta velocidad para computadoras, alarmas, etc. Se utiliza hasta 420 canales de servicio.

La justificación de muchas compañías para no utilizar un sistema de micro-ondas es el relativamente alto costo de la instalación inicial de las estaciones terminales y repeti-

doras. Sin embargo como ventajas inherentes se anotan:

- 1) El bajo costo para añadir canales puesto que se tiene establecido el camino de radio-frecuencia.
- 2) Provee de un camino que es independiente de las líneas de fuerza; el nivel de señal no es atenuado por la resistencia de arco de una falla.
- 3) Dá facilidades para canales de equipos de relés de alta velocidad.

#### II.2.2. Aplicabilidad a la línea Pucará-Quito

La selección de un sistema de teleprotección por micro-ondas vendrá como resultado del análisis tanto técnico como económico que se haga con relación a su aplicación.

Para el estudio técnico de aplicación del enlace por canal de micro-ondas a la línea Pucará-Quito es necesario mirar las facilidades existentes que podrían aventajar su aplicación; entre éstas se verá que:

- a) Las bandas de frecuencias de operación para la industria eléctrica en nuestro país se rigen por las normas internacionales y no hay limitaciones a altas frecuencias.
- b) Considerando los únicos enlaces de micro-ondas que el Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones (IETEL), mantiene en la zona de servicio del Sistema Eléctrico Pisayambo, se vé que debe construirse estaciones de enlace para los terminales de la línea. El enlace mas complicado sería para el sitio de la Cen-

tral Pucará ya que tendría que derivarse desde la estación de llegada a Ambato. La subestación de Quito tendría que establecer enlace con las oficinas centrales (ITC) de IETEL.

Por la alta confiabilidad que se debería exigir para este servicio de protección y comunicación a través de micro-ondas para la línea Pucará-Quito y ante el reciente aumento de canales de comunicación que es está llevando a cabo IETEL no se tiene al momento po sibilidad de arrendar este servicio.

Por otro lado la complejidad del equipo y servicios exige un mantenimiento preventivo que al estar fuera del control de INECEL, institución que operará el Sistema Eléctrico de Pisayambo, puede disminuir el grado de confiabilidad del canal de micro-ondas.

Entonces para proteger la línea Pucará-Quito será necesario diseñar un sistema propio de micro-ondas.

### II.2.3. Estudio de enlace por canal de micro-ondas para la línea Pucará = Quito

#### II.2.3.1. Ruta de enlace por micro-ondas

Con el fin de determinar si es posible establecer enlaces de alta calidad entre el sitio de generación y el de consumo del sistema hidroeléctrico de Pisayambo se recurrió a las hojas topográficas levantadas por el Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) para la zona y, lue go de estudiar diferentes posibles rutas, se llegó a es tablecer los sitios preliminares de estaciones repetido

ras (activas) para crear la red de comunicación desde la central generadora de Pucará hasta la subestación de seccionamiento de Quito y la subestación de bajada de Ambato. En la fig. N° 11 se indica la ubicación geográfica general de la zona con la localización de las estaciones repetidoras y la línea de señal entre ellas.

### II.2.3.2. Estaciones repetidoras

La elección de las estaciones repetidoras se ha determinado por el requerimiento de una clara línea de señal entre las antenas, facilidades físicas de instalación y para obtener mínimas debilitaciones ocasionales (fading) de la señal.

Para cubrir la ruta de 105 Km. desde Pucará a la subestación Quito se deberá considerar, entre otras posibilidades, la instalación de estaciones repetidoras en los siguientes lugares:

1. En San Diego, sitio elevado y cercano a la población del mismo nombre; localización aproximada:  
Longitud: 62 5,5      Latitud: 74 1,5
2. En estación FF.CC. Cotopaxi (cerca a Estación Minitrack); localización aproximada:  
Longitud: 69 4,5      Latitud: 31 6,5
3. En Loma de Puengasí, sitio prominente y visible desde la subestación Quito; localización aproximada:  
Longitud: 77 9      Latitud: 71 3

Esta estación estará dispuesta para poder esta -

blecer nuevos enlaces hacia el norte para la futura línea de interconexión Quito-Ibarra y asimismo en enlaces radiales para el Sistema de la Empresa Eléctrica Quito.

Las estaciones terminales estarán localizadas en el área de las respectivas subestaciones de fuerza, con las siguientes particularidades:

- 1) En la estación de Pucará se instalarán los equipos de radio frecuencia (RF) en un sector elevado sobre la subestación de fuerza; localización aproximada: longitud: 83 8,5 Latitud: 81 5
- 2) La estación de Quito tendrá su ubicación en la misma subestación de fuerza, localización aproximada: longitud: 78 8 Latitud: 71 2
- 3) La estación de Ambato, también estará junto a la subestación, pero en una cota superior; localización aproximada: longitud: 67 2 Latitud: 63 4

#### II.2.3.3. Rango de frecuencia

Generalmente los rangos de frecuencia utilizados en sistemas eléctricos de potencia interconectados son 2,6 a 8 ó 12 GHz (6)

El sistema de 6 GHz es el más popular entre las entidades eléctricas y entre sus ventajas se anotan:

- a) El rayo de propagación es inmune a interferencias causadas por lluvia en las regiones subtropicales;
- b) Tiene alta capacidad de canales de voz; (7)
- c) Se puede obtener un estrecho rayo de propagación con relativamente pequeñas antenas parabólicas.

ta ganancia a los terminales de transmisión y recepción; con esto, alto margen para debilitación (fade) de la señal y más bajo requerimiento de potencia de radio frecuencia (RF).

- e) El estrecho rayo de propagación permite usar relativamente pequeños reflectores pasivos al tope de las torres de antenas, quedando las antenas parabólicas al nivel de tierra cerca de las unidades transreceptoras; esto se traduce en cortas líneas de alimentación (más bajas pérdidas) a antenas y accesibilidad a éstas para inspección y mantenimiento.
- f) El estrecho rayo de propagación exige en cambio,



- d) Este estrecho rayo de propagación quiere decir alta ganancia a los terminales de transmisión y recepción; con esto, alto margen para debilitación (fade) de la señal y más bajo requerimiento de potencia de radio frecuencia (RF).
- e) El estrecho rayo de propagación permite usar relativamente pequeños reflectores pasivos al tope de las torres de antenas, quedando las antenas parabólicas al nivel de tierra cerca de las unidades transreceptoras; esto se traduce en cortas líneas de alimentación (más bajas pérdidas) a antenas y accesibilidad a éstas para inspección y mantenimiento.
- f) El estrecho rayo de propagación exige en cambio, torres mas robustas y costosas para guardar el rayo en su posición justa. (8)

#### II.2.3.4. Análisis de los perfiles del camino entre las Estaciones Repetidoras y determinación de la altura de las torres de antenas

El terreno atravesado es muy desnivelado, encontrándose agudas crestas y ondulaciones del terreno a lo largo de la línea de señal de las estaciones repetidoras.

Para tales condiciones el efecto del exceso de claridad del camino de señal no es significativo, como tampoco los efectos por refracción, que si son considerados en caminos planos; por esta situación un papel de coordenadas rectangulares ha sido usado para trazar

el perfil del camino entre las estaciones considerando sólo el radio verdadero de la tierra sin tomar en cuenta el valor de  $4/3$  el radio de la tierra que se hace cuando se considera el efecto de refracción a lo largo del camino (6); en cada enlace se han dibujado los puntos del terreno más altos y cercanos que pudieran interferir la línea de señal entre las estaciones y causar desmejoramiento de la señal a su recepción por la multiplicación de caminos de la línea de señal por efectos de reflexión. Otro factor que se ha considerado es la claridad necesaria de la primera Zona de Fresnel (usualmente aceptada  $0,6$  veces el radio de la primera Zona de Fresnel). (6)

De los varios métodos gráficos propuestos para poder determinar la altura necesaria de las antenas a cada terminal de un enlace por micro-ondas se ha utilizado el método de las escalas llamadas "Path finder" (buscadoras del camino) propuesto por General Electric Microwave Path Engineering Hand Book.

Estas escalas, que permiten la determinación de las alturas de las torres de antenas de una forma fácil y de un solo paso, están diseñadas de tal forma que en una sola curva proveen las correcciones totales para cualquier punto a lo largo del camino de enlace; estas correcciones incluyen:

- a) La curvatura de la tierra;
- b) La claridad de la zona de Fresnel; y,
- c) El mínimo espacio de la antena (o reflector) bajo el

tope de la torre.

La ecuación de la curva está dada por:

$$C = \frac{h}{K} + nF_1 + S \quad (A)$$

donde:

C = Corrección total

h = Corrección para (verdadera) curvatura de la tierra.

K = Relación de radio efectivo a radio actual de la tierra.

F<sub>1</sub> = Radio de la primera Zona de Fresnel.

n = Fracción deseada de claridad de la Zona de Fresnel.

S = Espacio entre tope de torre y centro efectivo de antena o reflector

Los valores generalmente aceptados de h y F<sub>1</sub> (en pies) están dados por:

$$h = \frac{2}{3} \cdot d_1 \cdot d_2 \quad (B)$$

$$F_1 = \frac{(5.200 \cdot d_1 \cdot d_2)}{f \cdot D} \quad 1/2 \quad (C)$$

donde:

d<sub>1</sub> y d<sub>2</sub> = distancias desde cada terminal del enlace (en millas) a cualquier punto del camino.

D = longitud total del camino de enlace (en millas)

f = frecuencia en GHz

Sustituyendo estos valores en la ecuación (A) se tiene:

$$C = \frac{2}{3} \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot \frac{1}{K} + n \left[ \frac{5.200}{f} \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{D} \right]^{1/2} + S$$

$$C = 0,67 \times K^{-1} \times d_1 \cdot d_2 + 72 n (f \cdot D)^{-1/2} \cdot (d_1 d_2)^{1/2} + S (D)$$

La ecuación (D) es de la forma:

$$C = ax^2 + bx + c$$

donde:

$$x = (d_1 d_2)^{1/2}$$

$$a = 0,67 K^{-1}$$

$$b = 72 n (f \cdot D)^{-1/2}$$

$$c = S$$

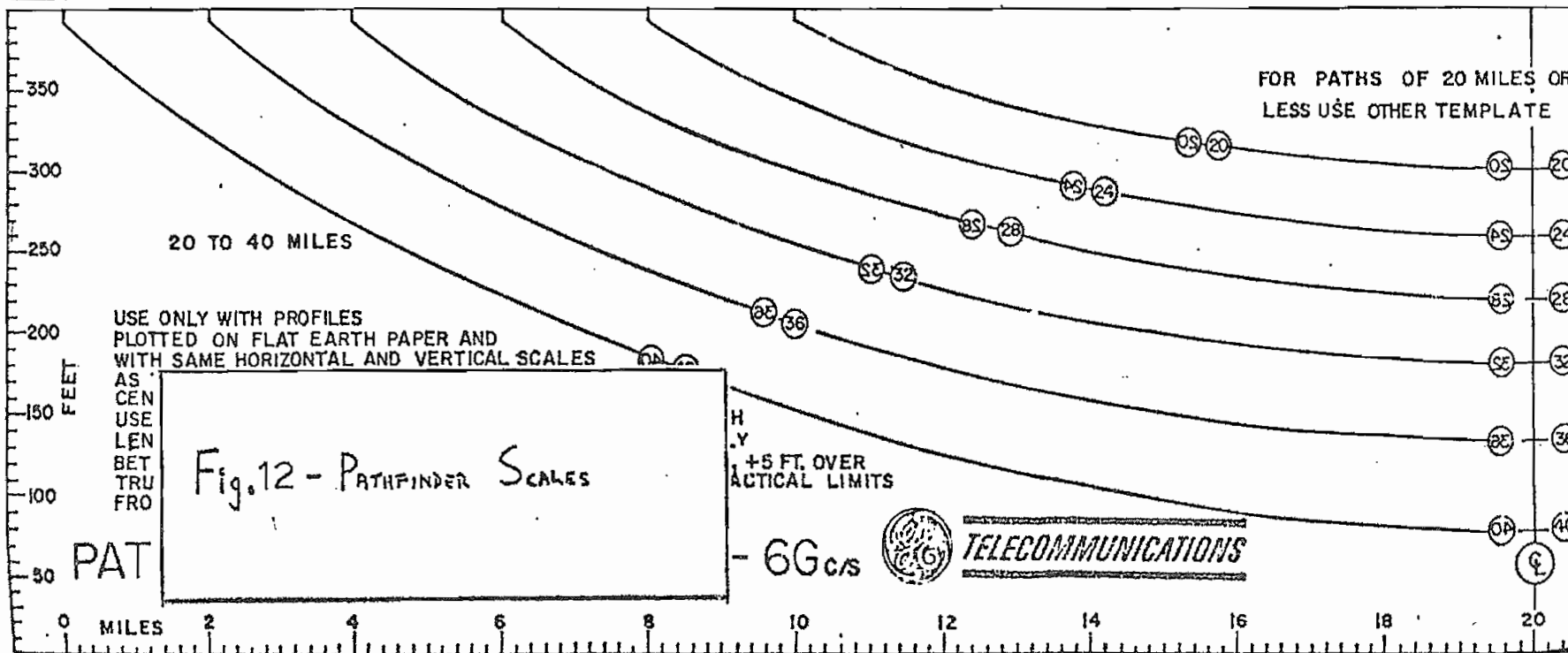
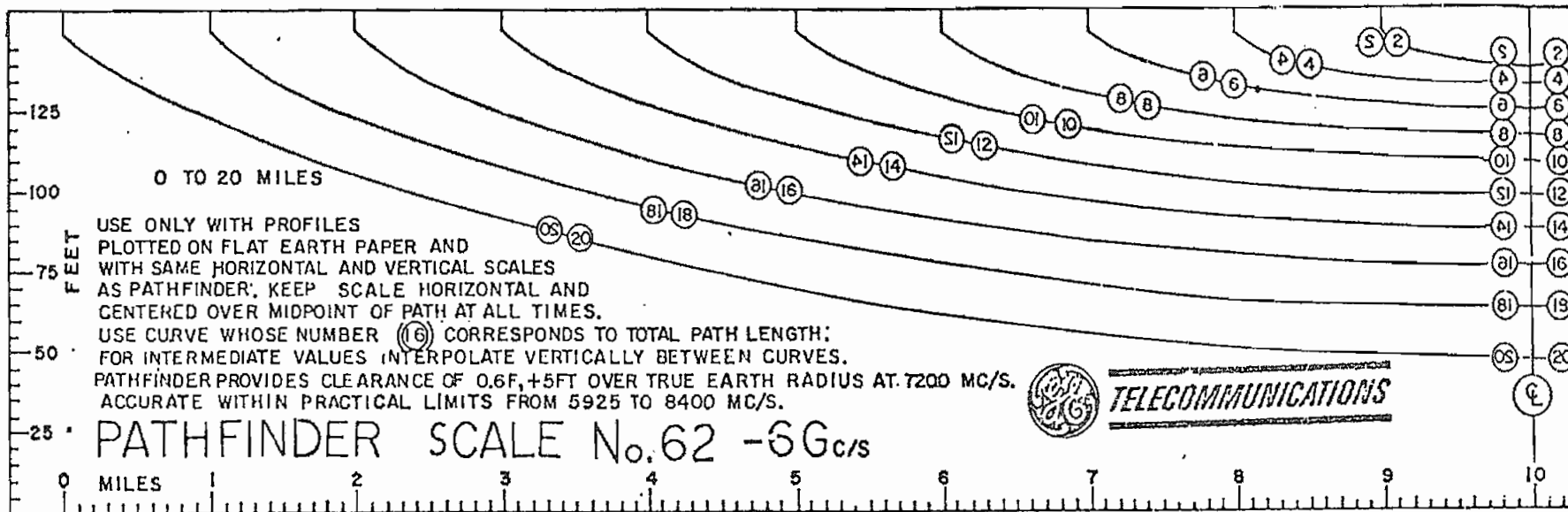
En la banda de 6 GHz (centrada en 7.200 MHz), usando el factor,6 para claridad de la Zona de Fresnel sobre la curvatura verdadera de la tierra, y usando 5 pies como valor práctico para S, la ecuación de la curva llega a ser:

$$C = 0,67 d_1 d_2 + 16,2 (D)^{-1/2} \cdot (d_1 d_2)^{1/2} + 5$$

La figura N° 12 muestra una copia de 2 plantillas que con tienen una familia de tales curvas a intervalos de 2 y 4 millas y para intervalos de 0 a 20 millas y de 20 a 40 mi llas; las escalas de coordenadas para longitud del camino están en millas y para elevación en pies, con divisiones de 1/10" en cada dirección. (9)

#### II.2.3.4.A. Enlace Cotopaxi - Subestación Quito

La distancia entre estaciones repetidoras es de aproximadamente 40,5 Km. (25,2 millas); la estación repetidora de Cotopaxi está a 3.570 m.s.n.m. en un sitio accesible por carretera y vía férrea, pero carente de suministro de energía eléctrica; la estación repetidora (activa) de acceso al terminal de la Subestación Quito, está situada en la Loma de Puengasí a 3.120 m.s.n.m.



en un sitio prominente, visible y distante 1 Km. de la Subestación; es un sitio accesible y su diferencia de altura con relación a la Subestación es de aproximadamente 220 m. El perfil del camino entre las estaciones está representado en la figura N° 13.

Para determinar la altura de las antenas por el método de las escalas "Path-Finder" se siguen los siguientes pasos:

1. El perfil del camino debe trazarse en coordenadas rectangulares y en papel gráfico con divisiones de  $1/10''$ , usando las mismas escalas que el Path - Finder.
2. Se selecciona la apropiada escala "Path - Finder" para el enlace (20 a 40 millas).
3. Se encuentra el centro exacto del enlace y sobre esta línea vertical se coloca la línea central del Path - Finder, cuidando de poner la plantilla horizontal para todos los puntos.
4. La plantilla con la curva Path - Finder seleccionada y correspondiente a la longitud total del enlace se desliza hacia arriba o abajo hasta que la curva roce los posibles puntos de obstrucción; para cada punto de obstrucción se marca una señal a lo largo del filo superior de la plantilla y sobre el punto de obstrucción.

(Nota: Si la longitud del enlace cae entre 2 curvas del Path - Finder se interpola verticalmente entre las 2 curvas).

Después que todos los puntos de obstrucción han sido marcados para la mitad del enlace, se repite el procedimiento para la otra mitad.

5. Luego de que están marcados todos los puntos de obstrucción se traza una línea recta entre los puntos más altos y ese es el camino del rayo de micro-ondas que al pasar por las estaciones termina les determina la altura de las torres de las antenas.

El proceso descrito está marcado en la misma figura N° 13.

Se han obtenido así las siguientes alturas de torres de antenas:

Estación Cotopaxi:

Altura de la torre: 20 m. (65')

Longitud de cable coaxial: 30 m.

Estación Loma de Puengasí:

Altura de la torre: 25 m. (82')

Otro método de comprobar que la línea óptica de señal entre las antenas no tendrá pérdidas del camino mayores a las dadas para espacio libre (en vacío o en atmósfera ideal sin absorción o reflexión por objetos cercanos) y prevenir los problemas por debilitaciones de la señal (fading), es calcular la distancia del espacio libre entre la línea de señal y las elevaciones del terreno o puntos de obstrucción interpuestos en términos de las Zonas de Fresnel. Todos los puntos desde los cua-

les pueden reflejarse ondas con un retraso de  $1/2$  longitud de onda, las cuales se suman a la señal directa, forman el límite de la llamada Primera Zona de Fresnel. (6)

La fórmula para calcular la distancia H desde la línea de señal hasta el límite de la Primera Zona de Fresnel es:

$$H = \sqrt{\frac{\lambda d_1 (d-d_1)}{d}}$$

donde:

d = distancia entre estaciones

$d_1$  = distancia desde estación terminal más próxima al punto de obstrucción.

$\lambda$  =  $1/2$  longitud de onda

Para el presente enlace de 40,5 Km. hay un punto elevado a 7,5 Km. de la estación de la Loma de Puengasí; para este punto el radio de la primera Zona de Fresnel valdrá:

Para la frecuencia escogida 6 GHz, la longitud de onda tiene un valor de:

$$\lambda = \frac{V_{\text{luz}}}{\text{frec.}} = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^9} \left( \frac{\text{m/seg.}}{\text{c/seg.}} \right) = 0.05 \text{ (m/c)}$$

y el radio de la Primera Zona de Fresnel:

$$H = \sqrt{\frac{1/2 \times 0,05 \times 7.500 (40.500 - 7.500)}{40.500}} = 12,4 \text{ m.}$$

De la figura N° 13 se aprecia que la distancia desde el punto de obstrucción a la línea óptica de señal o camino del rayo de micro-ondas es de aproximadamente 88,5 m. (290'), lo que demuestra que se halla completa



mente libre la Primera Zona de Fresnel para la frecuencia adoptada. Adicionalmente en la subestación terminal de Quito, la torre escogida por razones de seguridad de instalación de antenas será de 10 m (33').

#### II.2.3.4.B. Enlace San Diego - Cotopaxi

La distancia entre estaciones repetidoras es de aproximadamente 58 Km. (36 millas); la estación repetidora de San Diego está a 3.640 m.s.n.m. en un sitio elevado distante 1.500 m. de la población del mismo nombre desde donde habría la facilidad de extender el servicio eléctrico hacia la estación repetidora.

El perfil del camino entre las estaciones repetidoras está representado en la Figura N° 14.

El resultado para las alturas de las torres de las antenas, luego de aplicar el método descrito anteriormente es:

Estación San Diego:

Altura de torre 18 m. (60')

Longitud de cable coaxial: 30 m.

Estación Cotopaxi:

Altura de torre: 20 m. (65')

Longitud de cable coaxial: 30 m.

#### II.2.3.4.C. Enlace Pucará - San Diego

Para establecer este enlace hay necesidad de situar la

estación terminal de Pucarã (lo que comprende torre, - antena y equipos de R F) en una cima situada a 3.440 - m.s.n.m., sitio prominente y visible sobre la Subestación Pucarã en la ruta hacia el túnel de presión, distante de la misma unos 400 m. aproximadamente; a este sitio se puede llegar con la señal desde los equipos de control y mando situados en la Subestación a través de línea aérea o cable coaxial.

La distancia entre estaciones (Pucarã - San Diego) es de aproximadamente 22,5 Km. (14 millas); el perfil del camino entre las estaciones se muestra en la figura - N° 15, en la que se ve existe una perfecta línea de señal entre las estaciones; por lo que la altura de las torres se ha determinado, para Pucarã, en base a la seguridad de la instalación y para San Diego en base a las necesidades de los enlaces adyacentes.

#### Estación Pucarã:

Altura de torre: 10 m. (33')

Longitud de línea ó cable coaxial: 400 m.

#### Estación San Diego:

Altura de torre: 18 m. (60')

Longitud de cable coaxial: 30 m.

Adicionalmente para establecer la integración al sistema de micro-ondas de la Subestación de Ambato, habría la necesidad de estudiar un nuevo enlace San Diego - Sub



11.5211  
12.0221  
121.001

2

estación Ambato para el cual se ha trazado el perfil del camino que se ve en la Figura N° 16., y cuya distancia entre estaciones es de 11,76 Km. (7,3 millas).

Como la Subestación de Ambato está situada a cerca - de 2.400 m.s.n.m., la torre de antena estará situada a 2.480 m.s.n.m. y las alturas de las torres para obtener una perfecta línea de señal, deberán ser de:

Estación San Diego:

Altura de torre: 18 m. (60')

Subestación Ambato:

Altura de torre: 20 m. (65')

Longitud de cable coaxial 120 m.

#### II.2.3.5. Cálculo de la atenuación o pérdidas del camino entre enlaces

Para llegar a establecer las características más importantes del sistema de enlace por micro-ondas es necesario asumir valores respecto a:

Potencias de equipos terminales de micro-ondas: Transmisores a Klystron son capaces de dar 0,5 watos (27 dBm) de potencia de salida; y los últimos equipos a transistores y con circuitos integrados de potencia de 1 watio proveen 30 dBm mínimo de potencia a la entrada de antenas; asimismo la sensibilidad o señal usual mínima de receptores está entre -75 y -80 dBm para 30 db de

relación señal/ruido (S/N). (6)

El ruido en el receptor (noise figure) es factible que sea de 15 db, aunque los últimos desarrollos industriales pueden reducirlo bajo 10 db (6).

Las pérdidas en guías de onda (cable coaxial) se pueden asumir para los 2 terminales de un enlace, como de 5 db; y para cubrir cualquier otra pérdida, como pérdidas en conectores, se asume 0,5 db (10).

Las pérdidas totales del camino para cada enlace se detallan a continuación:

#### II.2.3.5.A. Enlace Cotopaxi - Subestación Quito

La pérdida del camino en espacio libre es una función de la distancia entre antenas y en decibeles esta pérdida está dada por la ecuación:

$$\text{Pérdida} = 20 \log. \frac{4 \pi d}{\lambda}$$

d = distancia entre antenas (m.)

$\lambda$  = longitud de onda (m.)

La figura N° 17 muestra las pérdidas del camino en espacio libre (db) - vs - la frecuencia, con d (en millas) como parámetro. (6)

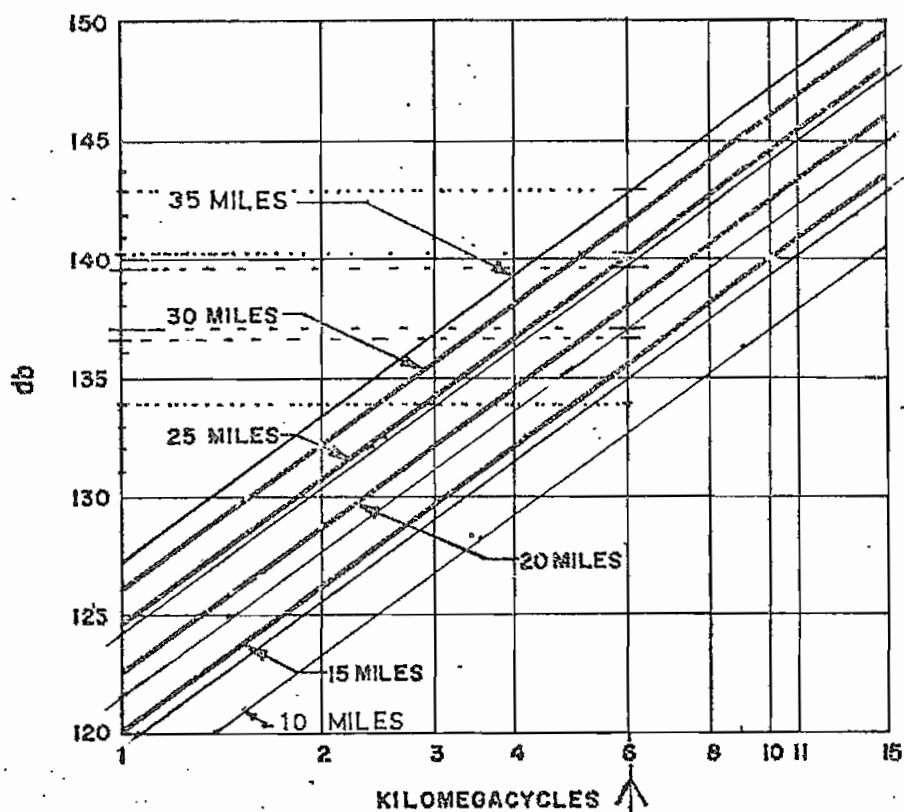


FIG. Nº 17 PERDIDAS DEL CAMINO EN ESPACIO LIBRE

El presente enlace tiene 41,5 Km. (25,8 millas) entre estaciones terminales, que dan de la figura anterior, 140 db de pérdida.

La pérdida del camino, en forma total, con las consi-

deraciones anteriores se calcula de la siguiente forma:

Potencia transmitida	+	30	dbm
Pérdidas en guías de onda	-	5	db
Otras pérdidas	-	0,5	db
Pérdidas del camino en espacio libre	-	140	db
			<hr/>
Pérdidas totales del camino	-	115,5	db

#### II.2.3.5.B. Enlace San Diego - Cotopaxi

La pérdida del camino en espacio libre para esta distancia de 58 Km. (36 millas), leída del gráfico N° 17, da 143 db.

Las pérdidas totales llegan a:

Potencia transmitida	+	30	dbm
Pérdidas en guías de onda	-	5	db
Otras pérdidas	-	0,5	db
Pérdidas del camino en espacio libre	-	143	db
			<hr/>
Pérdidas totales del camino	-	118,5	db

#### II.2.3.5.C. Enlace Pucará - San Diego

La distancia de este enlace es de 22,5 Km (14 millas) y la pérdida del camino en espacio libre, leída de la figura N° 17, es 135 db.

Las pérdidas totales resultan ser de:

Potencia transmitida	+	30	dbm;
Pérdidas en guías de onda	-	5	db
Otras pérdidas	-	0,5	db
Pérdidas del camino en espacio libre	-	<u>135</u>	<u>db</u>
Pérdidas totales del camino	-	110,5	db

#### II.2.3.5.D. Enlace San Diego - Ambato

La distancia total que alcanza este enlace contabilizada entre torres terminales llega a 11,76 Km (7,3 millas). Las pérdidas del camino en espacio libre, de la figura N° 17, alcanza a 134 db.

Las pérdidas totales para este enlace serán:

Potencia transmitida	+	30	dbm
Pérdidas en guías de onda	-	5	db
Otras pérdidas	-	0,5	db
Pérdidas del camino en espacio libre	-	<u>134,</u>	<u>db</u>
Pérdidas totales del camino	-	109,5	db

#### II.2.3.6 Ganancia de Antenas

Para reducir las pérdidas totales del camino entre 2 estaciones terminales o repetidoras de micro-ondas, figura como de primera importancia la ganancia de las antenas; esta ganancia es la misma tanto si se habla de antenas transmisoras como receptoras.

La General Electric ha elaborado cartas para la selección de la óptima combinación de antena - reflector pa-



ra cuando se usa el sistema de antenas periscópicas o la selección de antenas simples cuando no se usa el sistema periscópico. (9)

Estas cartas destinadas una para cada banda de frecuencia a 6 GHz, para facilitar la determinación de la ganancia y dimensiones de las antenas tienen escalas para longitud del camino (en millas), ganancia del sistema de radio y altura de las torres a cada terminal del camino; la relación sobre la que se basan estas escalas es la ecuación:

$$GA = \frac{1}{2} (36,6 + 20 \log. F + 20 \log. D + M - GS)$$

donde:

- GA = ganancia de antena (db) a cada terminal
- F = Frecuencia (MHZ)
- D = Longitud del camino (en millas)
- M = Margen de debilitamiento de la señal (db)
- Gs = Ganancia del sistema de radio (db)

El margen de debilitamiento escogido como típico es 35 db, que es necesario cuando se utiliza equipo multiplex. También en estas cartas se ha incluido por conveniencia una escala que indica el ancho del haz o línea de radiación, determinante de la estabilidad de las torres. Una antena consigue ganancia concentrando la potencia en un estrecho haz, por lo tanto el ancho del haz de radiación decrece como la ganancia de la antena aumenta. Estrechar el haz de radiación es deseable para minimizar la

interferencia desde fuentes externas y antenas adyacentes, pero impone severos requerimientos de estabilidad mecánica a las torres y tiende a crear problemas de desviación de la señal sobre las antenas y debilitamientos de la misma (fading).

#### II.2.3.6.A. Enlace Cotopaxi - Subestación Quito (Loma de Puengasí)

Este es un enlace que da acceso a una estación terminal y compuesto de estaciones repetidoras activas. La separación entre terminales es 41,5 Km (25,8 millas) y la altura de las torres de antenas es de 25 m (82') para la loma de Puengasí que da acceso a la Subestación Quito - en la que habrá una torre de 10 m (33'), y para la estación de Cotopaxi, una torre de 20m. (65'). El equipo de radio que podrá usarse deberá tener una potencia de salida del transmisor de + 30 dbm y una sensibilidad del receptor de -77,5 dbm. (6)

Tomando en cuenta las pérdidas en guías de onda y otras pérdidas la ganancia neta del sistema de radio está dada por:

$$+ 30 + 77,5 - 5,5 = 102 \text{ db}$$

Entonces la ganancia de antenas requeridas para este enlace resulta restando la ganancia neta del sistema de radio de las pérdidas totales del camino y añadiendo la tolerancia por fading; esta última, de acuerdo a la dis-

tancia del enlace y la frecuencia utilizada, puede asumirse de -10 db. (9).

El valor de la ganancia de antenas requerida es:

$$-115,5 \text{ db (pérd. camino)} - (-102) \text{ db} + (-10) \text{ db} = -23,5 \text{ db}$$

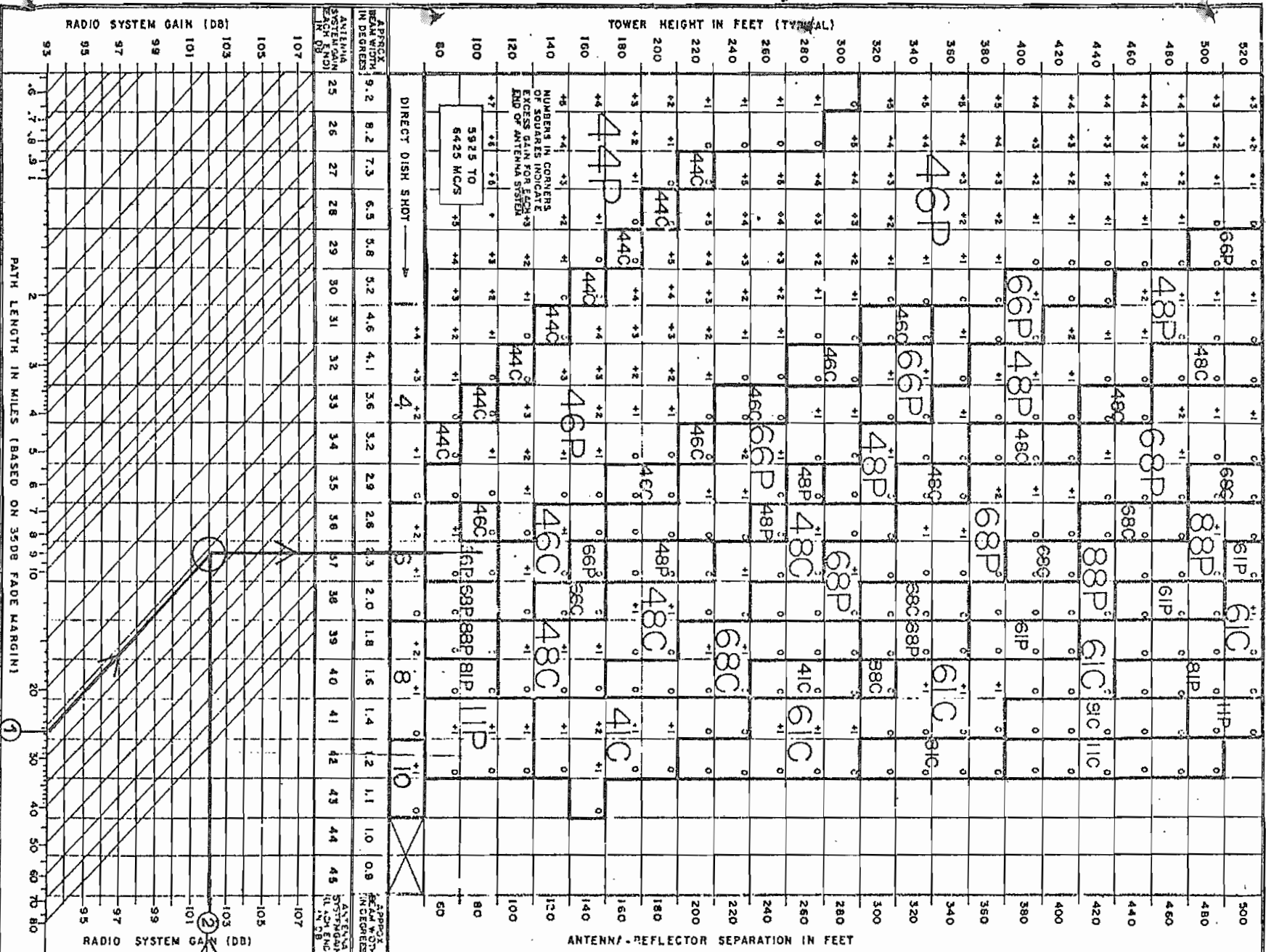
Por lo tanto el valor de la ganancia de antenas debe ser mayor a -23,5 db y cada antena por lo menos tener -11,75 db de ganancia.

En las cartas de selección Antena-Reflector de la General Electric se verá que las ganancias disponibles de cada antena terminal son mayores a 25 db.

La figura N° 18 grafiza el procedimiento seguido para encontrar la ganancia de antenas: para tal fin se entra a la carta en el punto de 25,8 (millas)(1), luego se sigue diagonalmente hasta 102 db (2) de ganancia del sistema de radio y de ahí subiendo verticalmente hasta la intersección con las alturas de las torres (65' para la estación de Cotopaxi y 82' para la estación de la Loma de Puengasí) se encuentra que los discos parabólicos para las dos estaciones deben medir 6' de diámetro (sobredimensionado) y una ganancia de 37 db, con un ancho aproximado de haz de radiación de 2,3 grados.

Para el corto enlace desde la estación terminal (Subestación Quito) y la estación repetidora (Loma de Puengasí) serán suficientes antenas parabólicas de 4' de diámetro.

FIG. No 18 ENLACE : COTOPAXI - SUBESTACION QUITO



NOTE: (1) NO ALLOWANCE MADE FOR WAVEGUIDE LOSSES - SUBTRACT WAVEGUIDE LOSSES AT BOTH ENDS OF PATH FROM SPECIFIED EQUIPMENT GAIN TO OBTAIN RADIO SYSTEM GAIN. TYPICAL WAVEGUIDE LOSSES FOR ROUTE-MOUNTED ANTENNAS IS 1.0DB EACH ANTENNA. TYPICAL RADOME LOSS IS 0.5DB EACH (UNLINED) OR 0.75DB EACH (HEATED).

(2) CHART ASSUMES ANGLE OF INCIDENCE AT REFLECTOR IS WITHIN 10 DEGREES OF NORMAL. BEYOND THESE LIMITS, GAIN WILL BE LESS THAN INDICATED VALUE BY AN APPRECIABLE AMOUNT.

(3) PATH LENGTH SCALE IS BASED ON 35DB FADE MARGIN AND FREE SPACE ATTENUATION. ACTUAL FADE MARGIN WILL BE GREATER THAN 35DB BY AN AMOUNT EQUAL TO THE SUM OF THE EXCESS GAINS OF THE ANTENNA SYSTEMS SELECTED. IF ACTUAL FADE MARGIN WILL EXCEED 45 DB, CHECK THAT RECEIVER WILL NOT BE OVERLOADED.

ANTENNA-REFLECTOR SELECTION CHART



#### II.2.3.6.B. Enlace San Diego-Cotopaxi

Este es un enlace cuyos terminales están formados por estaciones repetidoras activas. La separación entre terminales es de 58 Km (36 millas) y las alturas de las torres son: 18 m (60') para San Diego y 20 m. (65') para Cotopaxi.

Siguiendo el mismo proceso anterior, se llega al valor de la ganancia requerida para antenas, que es:

$$-118,5 \text{ db (pérd. camino)} - (-102) \text{ db} + (-10) \text{ db} = -26,5 \text{ db}$$

De la fig. N° 19 se determina la dimensión de los discos parabólicos que serán de 6 pies de diámetro para el enlace, dando una ganancia de 38 db por terminal.

#### II.2.3.6.C. Enlace Pucará-San Diego

Este enlace cubre una distancia de 22,5 Km (14 millas) y las torres escogidas son de 10 m (33') y 18 m (60') para Pucará y San Diego respectivamente.

La ganancia de antenas requerida es:

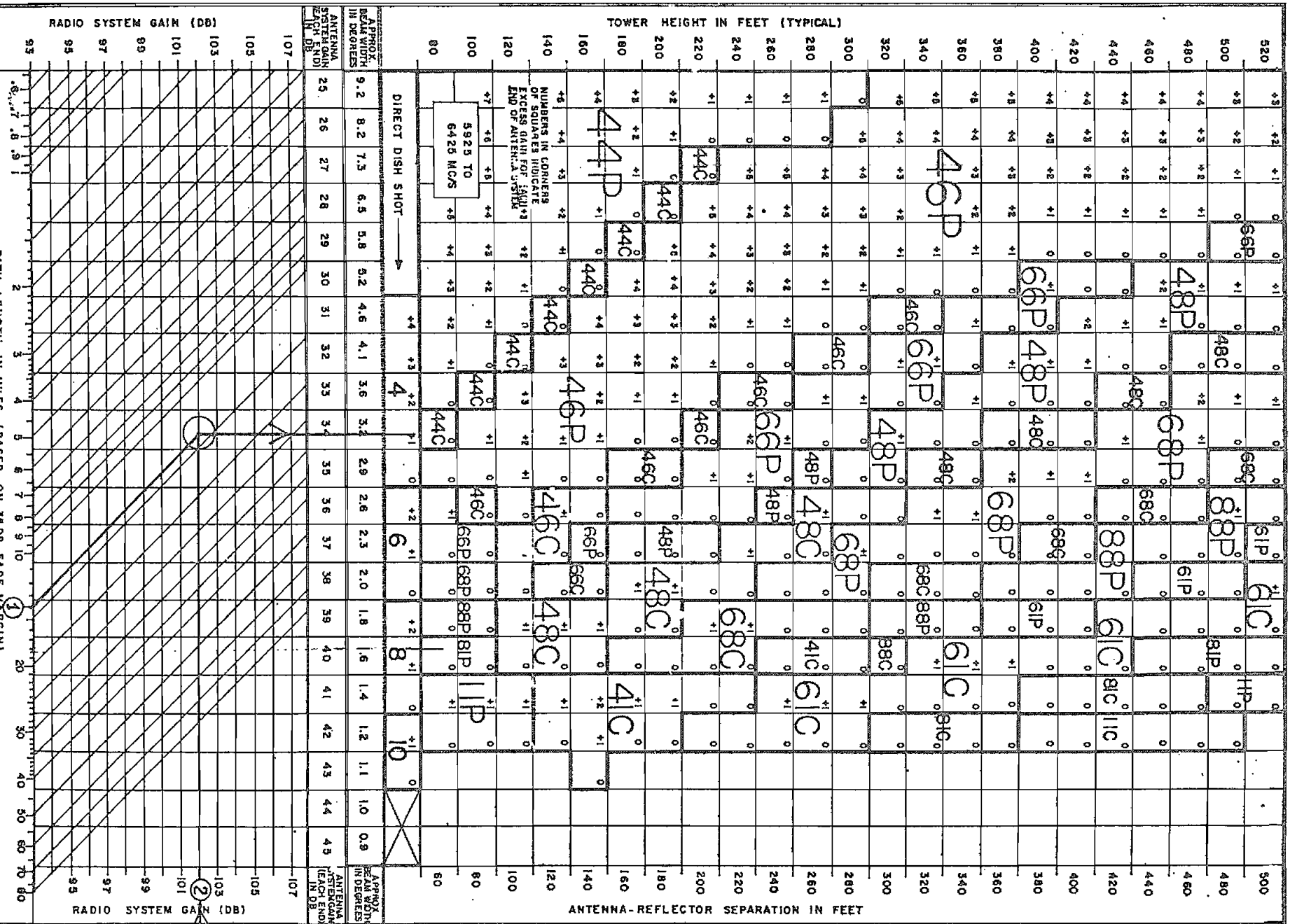
$$-110,5 \text{ db (pérd. camino)} - (102) \text{ db} + (-10) \text{ db} = -18,5 \text{ db}$$

La fig. N° 20 muestra los valores para las antenas de este enlace y su ganancia; resultan necesarios discos parabólicos de sólo 4 pies de diámetro y que darán una ganancia de 34 db por cada terminal.

#### II.2.3.6.D. Enlace San Diego-Subestación Ambato

Este enlace tiene una distancia de 11,76 Km (7,6 millas) y la torre de la subestación de Ambato se ha determinado que sea de 20 m. (65'); para San Diego se





NOTES: (1) NO ALLOWANCE MADE FOR WAVEGUIDE LOSS - SUBTRACT WAVEGUIDE AND/OR RADOME LOSSES FOR BOTH ENDS OF PATH FROM SPECIFIED EQUIPMENT GAIN TO OBTAIN RADIO SYSTEM GAIN. TYPICAL WAVEGUIDE LOSS FOR ROOF-MOUNTED ANTENNAS IS 1.0DB EACH ANTENNA. TYPICAL RADOME LOSS IS 0.5 DB EACH (UNHEATED) OR 0.75DB EACH (HEATED).

(2) CHART ASSUMES ANGLE OF INCIDENCE AT REFLECTOR IS WITHIN ±10 DEGREES OF NORMAL. BEYOND THESE LIMITS GAIN WILL BE LESS THAN INDICATED VALUE BY AN APPRECIABLE AMOUNT.

(3) PATH LENGTH SCALE IS BASED ON 35DB FADE MARGIN AND FREE SPACE ATTENUATION. ACTUAL FADE MARGIN WILL BE GREATER THAN 35DB BY AN AMOUNT EQUAL TO THE SUM OF THE EXCESS GAINS OF THE ANTENNA SYSTEMS SELECTED. IF ACTUAL FADE MARGIN WILL EXCEED 45 DB, CHECK THAT RECEIVER WILL NOT BE OVERLOADED.

**ANTENNA-REFLECTOR SELECTION CHART**



**TELECOMMUNICATIONS**

utilizará la misma torre ya especificada en el enlace anterior.

La ganancia de antenas necesaria para el enlace es:

$$-109,5 \text{ db (pérd. camino)} - (-102) \text{ db} + (-10) \text{ db} = -17,5 \text{ db}$$

La fig. N° 21 indica para este enlace el uso de antenas de disco parabólico de 4 pies de diámetro con las que se obtiene una ganancia de 31 db por terminal.

#### II.2.3.7. Señal de recepción obtenida en los enlaces

La señal de recepción o potencia de entrada al receptor para cada enlace viene determinada por la ecuación:

Potencia de entrada al receptor = potencia transmitida - pérdidas en guías de onda - otras pérdidas - pérdidas del camino en espacio libre + ganancia de antenas. (6)

Esta ecuación, según los cálculos realizados, se reduce a:

Potencia de entrada al receptor = Pérdidas totales del camino + ganancia de antenas.

Para los diferentes enlaces se tienen los siguientes valores:

Enlace Cotopaxi - Subestación Quito:

$$\text{Potencia de entrada al receptor} = -115,5 + 37 \times 2 = -41,5 \text{ db}$$

Enlace San Diego-Cotopaxi:

$$\text{Potencia de entrada al receptor} = -118,5 + 38 \times 2 = -42,5 \text{ db}$$





Enlace Pucará-San Diego:

Potencia de entrada al receptor =  $-110,5+34x2= -42,5$  db

Enlace San Diego-Ambato:

Potencia de entrada al receptor =  $-109,5+31x2= -47,5$  db

#### II.2.4. Valores guías para la determinación de equipos

De acuerdo al diseño preliminar del camino de micro-on das, se ha llegado a la determinación de los sitios donde estarán las estaciones terminales, las estaciones repetidoras, así como las dimensiones de torres, antenas y la potencia mínima de equipos (transmisor-receptor) que satisfagan la condición óptima de transmisión de señales.

Para cada sitio se detalla a continuación los equipos principales que deberán proveerse:

##### Estación terminal de Pucará

Equipo transmisor-receptor con equipo multiplex para proveer canales de voz, control y teledidada, señalización y protección por relés; los canales de servicio iniciales serán 12 con posibilidad de ampliación futura hasta 24 canales; antena de disco parabólico de 4' de diámetro para cubrir el enlace Pucará-San Diego montada sobre una torre de 10 m. (33')

La fuente de energía eléctrica tendrá desde la subestación y contará con un banco de baterías con cargador rectificador para el voltaje apropiado al equipo.

### Estación repetidora de San Diego

Consiste de una torre de 18 m. (60') para soportar 3 antenas de disco parabólico, 1 de 6' y 2 de 4' de diámetro para los enlaces con las estaciones de Cotopaxi, Pucará y Ambato, respectivamente.

Un equipo transmisor-receptor dual ubicado dentro de casa apropiada; la alimentación de potencia eléctrica se extenderá desde la población de San Diego a través de una línea de 1.500 m. a tensión primaria de la red; además contará con un banco de baterías con cargador rectificador para el voltaje apropiado al equipo.

### Estación repetidora de Cotopaxi

Tendrá una torre de 20 m. (65') que debe soportar 2 antenas de disco parabólico de 6' de diámetro para los enlaces con San Diego y con la Subestación Quito. El equipo de micro-ondas será similar al de la estación San Diego; la alimentación de potencia eléctrica será propia de la estación con generación termoeléctrica de equipos duales y banco de baterías con cargador rectificador para el voltaje apropiado al equipo de micro-ondas.

### Estación repetidora de Loma Puengasí

La torre de soporte de antena será de 25 m. (82') para soportar 2 antenas parabólicas de 6' y 4' de diámetro para los enlaces con la estación de Cotopaxi y la estación terminal de Quito respectivamente; además en el futuro tendrá antenas para enlaces con Ibarra

y con la E. E. Quito; el equipo de micro-ondas será similar al de la estación San Diego y la alimentación de potencia eléctrica se hará desde la subestación - Quito a través de una línea de 700 m. aproximada - mente; contará también con un banco de baterías - con cargador rectificador para el voltaje apropiado del equipo.

#### Estación terminal de Subestación Quito

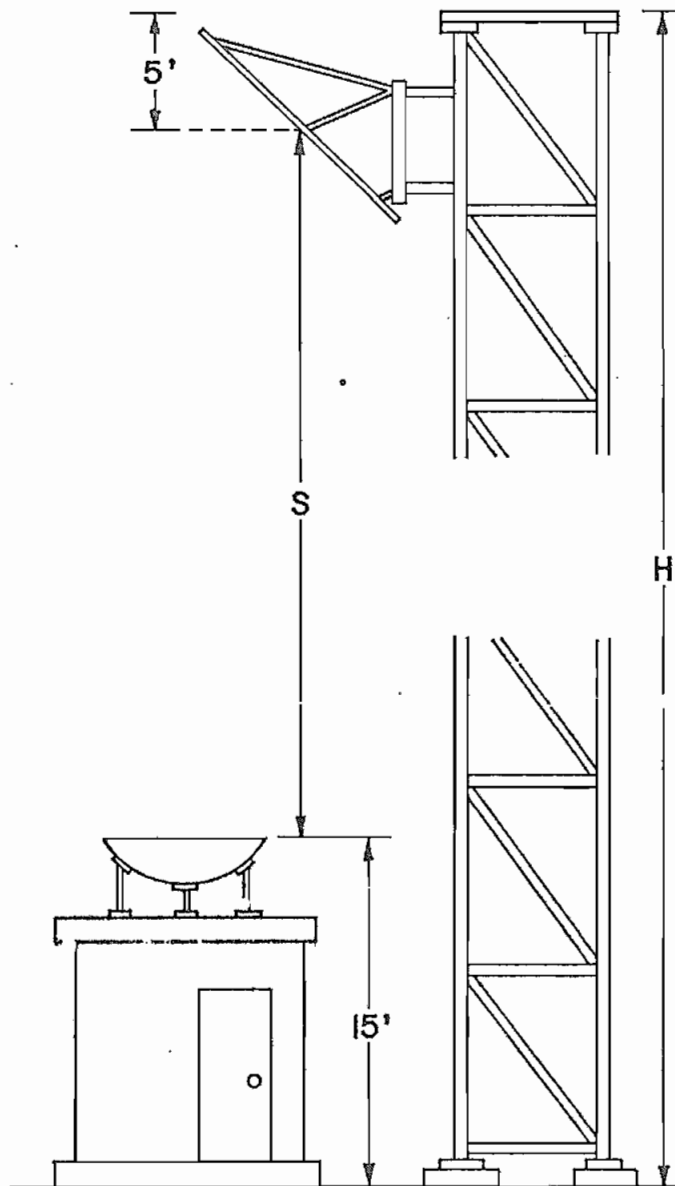
El equipo terminal de micro-ondas y la alimentación de potencia serán similares a los de la estación Pucará y tendrá una antena de disco parabólico de 4' de diámetro para el enlace con la estación de Loma de Puengasí; montada sobre una torre de 10 m (33') o como alternativa podrá usarse un sistema periscópico con combinación de antena-reflector, similar al esquema que se indica en la fig. N° 22.

#### Estación terminal de Ambato

Una torre de 20 m (65') con una antena de disco parabólico de 4' de diámetro para su enlace con la estación repetidora de San Diego.

El equipo de micro-ondas será similar al de la estación Pucará con alimentación de potencia eléctrica desde el servicio de la subestación y banco de baterías con cargador rectificador para emergencia.

Para cada estación se proveerán los accesorios necesarios (cable coaxial, línea aérea, etc. para su completa instalación.



H = ALTURA DE TORRE  
 S = ESPACIO DE ANTENA REFLECTOR  
 H ES TÍPICAMENTE 20' MAS LARGO QUE S

FIG.Nº 22 ESQUEMA DE SISTEMA PERISCOPICO DE ANTENAS

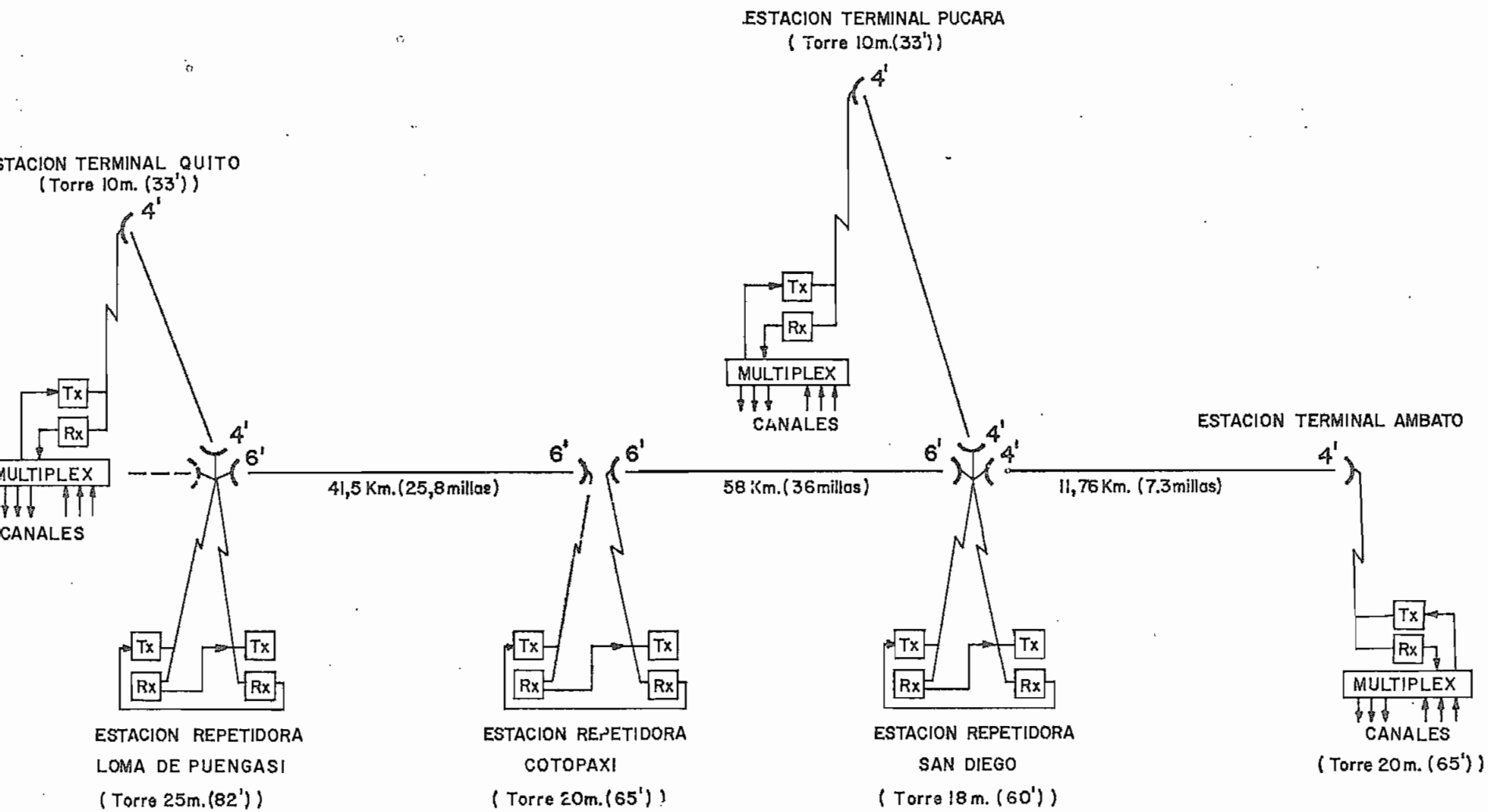


FIG. Nº 23: ESQUEMA DE ENLACE POR MICRO-ONDAS PARA SISTEMA PISAYAMBO

El equipo de radio frecuencia (RF) por micro-ondas tendrá un dual en cada sitio de servicio con transferencia automática y serán también duales los canales de protección por relés; su fabricación será del tipo estado sólido; las estaciones activas estarán especialmente protegidas contra descarga atmosféricas; un esquema indicativo de los principales elementos que compondrán el sistema de micro-ondas para el proyecto Pisayambo se muestra en la fig. N° 23.

#### II.2.5. Costo estimativo de equipos

Para visualizar de manera global el costo parcial y total del sistema de enlace por micro-ondas, sólo entre las estaciones terminales de Pucará-Quito con fines de comparación, éste ha sido avaluado en porcentaje y en base al valor significativo de los equipos de radio frecuencia estimado para 1975 (11)

Descripcion	Costo unitario y en % del costo base		Cantidad	Costo Total \$x1.000
	\$x1.000	%		
Equipo de RF 1,0 W, estado sólido, 6575-6875 MHz, 24 ó 48 V.D.C. Terminal dual RF (Hot Standby)	550	100	8	4.400
Equipo multiplex, 24 canales terminales transistorizado	775	141	2	1.450
Canales para relés de protección (para comparación de fase dual - transmisor - receptor)	89	16,2	2	178
Torre soporte de antena de 25 m (82')	90	16,4	1	90
Torre soporte de antena de 20 m (65')	75	13,6	1	75
Torre soporte de antena de 18 m (60')	60	10,9	1	60
Torre soporte de antena de 10 m (33')	40	7,3	2	80
Antena disco parabólico de 6' de diámetro	12,5	2,3	4	50
Antena disco parabólico de 4' de diámetro	8	1,45	4	32
Equipos termoeléctricos para 5 HP con su instalación bajo cubierta	30	5,5	2	60
Banco de baterías con cargador-rectificador (hasta 48 V.D.C.)	19	3,5	5	95
Cable de RF o línea aérea (100 m. por terminal promedio)	8	1,45	5	40
Costo total del enlace				6.610



## II.3. PROTECCION POR ONDA PORTADORA (O.P.)

### II.3.1. Introducción.

La O.P. es uno de los 3 canales pilotos de comunicación - comúnmente usados en la operación de sistemas de potencia eléctrica para protección y transmisión de información.

A diferencia de la transmisión por radio en el espacio y de las líneas telefónicas, las ondas portadoras son conducidas por los mismos conductores de las líneas de transporte de energía en alta tensión.

Entre las funciones que son de importancia capital en la operación de un sistema de potencia eléctrica y que a través de las O.P. tienen una garantía de servicio están:

- el despeje a alta velocidad de todo tipo de fallas en líneas de transmisión de alta tensión y extra alta tensión (encima de los 220 KV) con un inherente aumento del límite de estabilidad y de la carga admisible de la línea;
- la provisión de canales económicos para la telemedición de información continua de carga a los despachadores para operación eficiente de un sistema;
- la supervisión y control remotos de importantes subestaciones, como también el control automático de carga de grandes unidades generadoras.

Las razones principales que hacen al sistema de O.P. tan adecuado para la solución de los problemas de comuni

cación relacionados a la operación de sistemas de alta y extra alta tensión pueden resumirse en:

- a) Las grandes distancias de líneas de transmisión, en especial de extra alta tensión, sobre las 400 millas, pueden ser cubiertas por enlaces directos de O.P. a diferencia de otros medios que requieren estaciones repetidoras; en consecuencia el equipo de transmisión y recepción está geográficamente localizado a los terminales de la línea de potencia, lo que significa estar situado en estaciones con facilidades de suministro de energía y que siempre poseen equipo apto para mantenimiento rutinario.
- b) La línea de potencia, desde el aspecto mecánico, es un medio de transmisión extraordinariamente robusto y confiable y que es menos afectada por los fenómenos atmosféricos que cualquier otro tipo de línea a excepción del cable subterráneo.
- c) La construcción de eficientes y confiables equipos de O.P. (basados en circuitos integrados) ha alcanzado tal alto nivel que, para las funciones técnicas vitales al transporte de energía como la protección de distancia de alta velocidad, ha sido preferido el enlace por O.P..
- d) El costo de los equipos de acoplamiento de O.P. sobre líneas de alta tensión asume considerable proporción conforme las altas tensiones y corrientes de fase suben, por lo que se recomienda la instalación de O.P. bajo los 380 Kv. por resultar más barata especialmen

te en largas distancias (17) (7).

## II.3.2. Características de esta protección.

### II.3.2.1. Rango de frecuencia.

Los equipos de O.P. operan generalmente en el rango entre los 40 y 450 KHz (la gama de frecuencia asignada en EE.UU. es de 30 a 200 KHz), aunque experiencias prácticas han mostrado como rango más conveniente el que está entre 50 y 300 KHz ya que a frecuencias superiores la atenuación causada por las pérdidas debidas a escarchas es excesivamente alta y bajo los 50 KHz la dimensión, complejidad del equipo de acoplamiento y su costo excesivo, debidos a la dificultad de obtener suficientemente claros circuitos sintonizados, (\*) limita su uso (12).

### II.3.2.2. Equipos de Telecomunicación a Onda Portadora.

Los equipos de transmisión y recepción a O.P. pueden clasificarse según sus funciones, sin necesidad de entrar en detalles técnicos referentes a su construcción. La Fig. No 24 muestra una sinopsis de las posibilidades de aplicación, así como de los anchos de banda requeridos para los canales de transmisión.

#### II.3.2.2.A. Equipos de dos bandas laterales y de banda lateral única.

Como medida de la calidad de transmisión telefónica, el

(\*) circuito de inductancia y capacitancia que se puede ajustar a resonancia a una frecuencia dada.

CLASE \ TIPO		EQUIPO DE DOS BANDAS LATERALES	EQUIPO DE BANDA LATERAL UNICA
		EQUIPO DE APLICACION UNICA	TRANSMISION DE IMPULSOS
TRANSMISION DE VOZ	<p>2400 300 0 300 2400</p>		<p>0 300 2580</p>
EQUIPO DE APLICACION MULTIPLE	TRANSMISION DE IMPULSOS Y DE VOZ	<p>8KHZ</p> <p>2500 2400 300 0 300 2400 2820 3500</p>	<p>4KHZ</p> <p>0 300 2400 2820 3300</p>

RELACION ENTRE CLASE DE EQUIPO, MODO DE OPERACION Y ESQUEMA DE ASIGNACION DE FRECUENCIAS

CCI (\*) ha fijado los anchos de banda: así las frecuencias vocales se transmiten entre 300 y 2400 Hz y, en enlaces internacionales, hasta 3400 Hz; las asignaciones de frecuencias tienen como intervalo de 2,5 ó 4 KHz.

Los equipos de onda portadora con transmisión de dos bandas laterales se han empleado preferentemente en la técnica de telecomunicaciones de las usinas de electricidad, por ser los más baratos y de disposición clara y sencilla, lo que facilita su mantenimiento. Si se emplean equipos de aplicación única (Fig. N° 25 A), éstos transmiten la frecuencia portadora y las dos bandas laterales originadas por la transposición, es decir, portadora + 2,4 KHz y portadora -2,4 KHz, lo que origina naturalmente un esquema de asignación de frecuencias de 5 KHz.

Debido a que para transmitir la banda vocal, se requiere el doble ancho de banda, es decir, la banda lateral superior y la inferior se hace sentir pronto la escasez de frecuencias. Por tal razón, los equipos de dos bandas laterales se emplean en líneas con pocas bandas de frecuencia y de alta tensión hasta 110 KV. Además la potencia del amplificador de transmisión se reparte entre la portadora y las dos bandas laterales, disminuyendo, por consiguiente, el alcance.

La escasez de frecuencias en sistemas de transmisión interconectados y la enorme cantidad de información que de

(\*) CCI: Comité Consultivo Internacional.

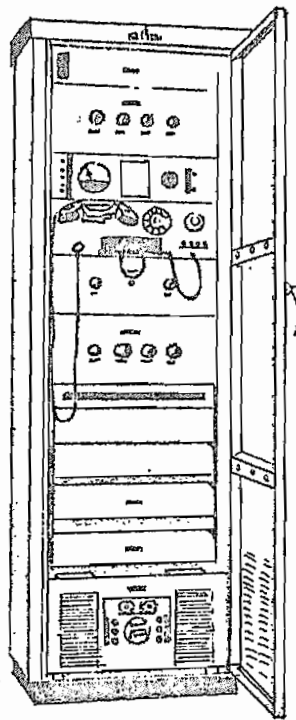


Fig. N° 25 A Equipo telefónico por OP  
de dos bandas laterales

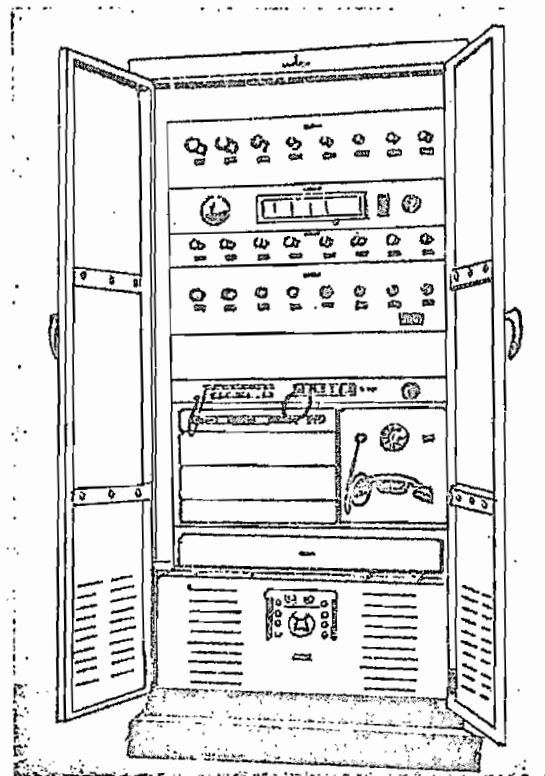


Fig. N° 25 B Equipo telefónico por OP  
de banda lateral única

be transmitirse obliga a emplear equipos de banda lateral única (BLU) (Fig. N° 25 B), que transmiten todo el mensaje con una sola banda y suprimen la portadora y la banda lateral opuesta. En consecuencia el receptor capta menos energía perturbadora (mejor modulación en lo referente a la relación señal/ruido) y el alcance de estos equipos es mayor, ya que la potencia transmisora puede emplearse exclusivamente para amplificar una banda lateral; este hecho se aprovecha para emplear los equipos en líneas de 220 KV. que poseen un nivel de ruido mayor que las líneas de 110 KV.

#### II .3.2.2.B. Equipos de aplicación única y de aplicación múltiple.

Como en la transmisión de señales puede trabajarse con anchos de banda mucho menores que en la transmisión de voz, empleando un principio telegráfico, por ejemplo: la telemedición por el método de frecuencia de impulsos, entonces varios canales de transmisión de impulsos pueden superponerse en un canal telefónico ensanchando la banda de frecuencias transmitidas, llegando a 8 KHz con el método de 2 bandas laterales y a 4 KHz en el de banda lateral única. Así los distintos canales pueden equiparse para telefonía, telefonía con tráfico superpuesto, telemaniobra y transmisión de datos o para transmisión de señales de protección de la línea (equipos de aplicación múltiple). En este tipo de equipos, la potencia del amplificador se reparte entre las varias finalidades. En cambio con equipos de aplicación única y banda lateral única se aprovecha mejor la potencia del amplificador (consiguiendo relación se-

ñal/ ruido suficientemente grande) dando mayor alcance y mayor seguridad del servicio; todo esto gracias a que se usa aparatos de banda lateral única para la transmisión telefónica y señales de telemaniobra independientes de los de protección selectiva y conmutación rápida.

Por tales razones, en la actualidad se utilizan predominantemente equipos de banda lateral única para las comunicaciones por O.P.

Por principio, un equipo de aplicación múltiple no puede operar con cambio de onda, ya que los canales de transmisión de impulsos tienen que permanecer conectados directamente, pues no se puede establecer con ellos sino distritos telefónicos con dos puntos terminales.

Existen equipos de un canal con un ancho de banda de 2,5 ó 4 KHz en cada dirección de servicio, equipos de dos canales con dos bandas de 2,5 ó 4 KHz de anchura en cada dirección de servicio, así como equipos de cuatro y seis canales con 4 y 6 bandas respectivamente, de 2,5 KHz de anchura para cada dirección de servicio.

En los equipos monocanal para telefonía o telemaniobra puede dejarse una separación entre las bandas ocupadas en el esquema de frecuencias (equipos con separación de bandas), pero también pueden ser adyacentes las bandas de ambas direcciones de transmisión (equipos sin separación de bandas), ocupándose así óptimamente la banda de frecuencias disponible. Esto, sin embargo, impone severos requerimientos a filtros y moduladores, que deben di-



señarse por el método de las "Pérdidas de Inserción" (insertion loss) y con cálculos a través de computadoras. En la actualidad estos equipos están constituidos por tarjetas - intercambiables o circuitos impresos, con uso exclusivo de elementos semiconductores, que hacen de ellos, equipos - compactos y confiables, que logran satisfacer todos los re querimientos de operación (18).

### II.3.2.3. Potencia de transmisión.

En transmisión de onda portadora sobre líneas de alta ten - sión no es usual exceder la potencia transmisora de 10 wa - tios, que referidos al nivel de potencia absoluto (\*) corres - ponden a un nivel de transmisión absoluto, en decibeles, de:

$$P = 10 \log_{10} \frac{N}{N_0} = 10 \log_{10} \frac{10 \text{ W}}{1 \text{ m W}} = 40 \text{ decibeles}$$

En muchos países este límite es mantenido por debajo por re gulaciones oficiales para reducir la posibilidad de interferen - cia a transmisiones inalámbricas; además sobre este límite de potencia de transmisión el costo de un equipo crece consi - derablemente, teniéndose que considerar otras ventajas que justifiquen su gasto. Por ejemplo: para reducir en pequeño margen el nivel de ruido presente en un punto de recepción - de un sistema de O. P., la única forma práctica es mejorar la relación señal/ ruido levantando el nivel de señal al pun - to de recepción; y para levantar el nivel de señal no es usual

(\*) Nivel de potencia absoluto  $N_0 = 1 \text{ m W}$  y es la potencia - desarrollada por un generador standard, con una impedan - cia interna de 600 ohmios y una f.e.m. de 1,55 voltios que alimenta a una impedancia externa de igual valor.

mente factible aumentar el nivel de potencia transmitida - porque para tener apreciable ganancia en términos de decibelios se requiere excesivo incremento de potencia; así para levantar el nivel de señal de un transmisor de 10 vatios en 20 decibelios se requerirá un incremento de potencia de :

$$P = 10 \log_{10} \frac{N}{N_0} = 60 \text{ db.}$$

$$\frac{N}{N_0} = \text{antilog}_{10} 6,0$$

$$N = 1'000.000 \times N_0 = 1.000 \text{ W.}$$

Consecuentemente una solución más práctica será reducir - la atenuación del canal por aplicación sensata de trampas de onda para eliminar derivaciones cortas y caminos alternos.

#### II.3.2.4. Acople a las líneas de Potencia de Alta Tensión.

##### II.3.2.4.A. Bobinas de bloqueo de alta frecuencia. (trampas de onda)

Las corrientes de onda portadora de alta frecuencia de un - sistema de telecomunicaciones se evitan que fluyan a tierra a través de barras colectoras y equipos de poder de alta tensión con el uso de bobinas de bloqueo de alta frecuencia ( - trampas de onda), conectadas en serie con la línea de fuerza y antes que ésta entre a la fuente de poder en cada punto de - acoplamiento; estas trampas de onda localizadas a cada terminal de una línea de transmisión a protegerse confinan la - potencia de onda portadora a la sección protegida, elevando - así el nivel de señal y evitando que esta señal de onda portadora sufra interferencia desde canales similares adyacentes o sea afectada por fallas en circuitos externos.

Las trampas de onda consisten de un reactancia diseñada de -

acuerdo con las corrientes nominales y de cortocircuito características de la línea de alta tensión en que está insertada y completada mediante circuitos desintonización en paralelo; ofrecen alta impedancia a frecuencias específicas de las corrientes de ondas portadoras mientras a la frecuencia de las corrientes de potencia tienen impedancia despreciable, que no afecta a la corriente de servicio de la línea.

Según sea el valor de la inductancia el devanado principal es construido en forma de bobina cilíndrica o en capas del mismo material (aluminio/acero) que el empleado para los conductores de las líneas de alta tensión; dentro del cilindro o junto a él está la unidad o circuitos de sintonización usados para sintonizar la bobina a la resonancia de la frecuencia deseada. Un pararrayos es provisto a través de la trampa para proteger la unidad de sintonización de daños por sobretensiones.

Los circuitos de sintonización se emplean para trampas de onda con una inductancia de aproximadamente 0,2 mH; cuando el valor de la inductancia es de 1 ó 2 mH no se usan circuitos de sintonización, a menos que se deseen corregir fenómenos de resonancia; en este caso la impedancia de la trampa de onda es casi puramente inductiva y suficiente para el bloqueo de la frecuencia de ondas portadoras.

La bobina principal y los circuitos de sintonización incorporados forman "un circuito de bloqueo de resonancia" para simple o doble frecuencia portadora; la apariencia externa de una trampa de doble frecuencia es la misma que una de

simple o doble frecuencia portadora; la apariencia externa de una trampa de doble frecuencia es la misma que una de simple frecuencia de la misma capacidad, ya que los circuitos extras usados para obtener la característica de doble resonancia están dentro de la bobina principal que es la misma en ambos casos.

Cuando se requieren bloquear no sólo 2, sino 4 bandas de frecuencia portadora, se conectan en serie 2 circuitos de bloqueo de resonancia. La conexión en serie de 3 circuitos de bloqueo de resonancia ya presenta dificultad de montaje y para el bloqueo de más de 6 bandas de frecuencia portadora resulta más económico emplear un circuito de bloqueo de toda onda, o sea con una inductancia de aproximadamente 2,0 mH que bloquea todas las frecuencias portadoras entre 50 y 300 KHz. Unos esquemas de bobinas de bloqueo de alta frecuencia con sus conexiones se muestran en la Fig. No 26.

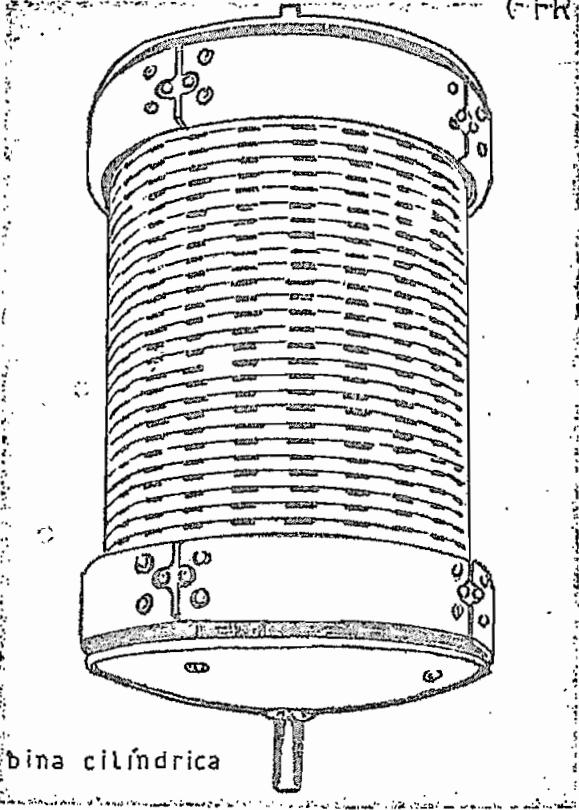
#### II.3.2.4.B. Equipos de acoplamiento de O.P. a líneas de alta tensión.

Los equipos de onda portadora (unidad transmisor-receptor) se conectan a las líneas de alta tensión a través de equipos de acoplamiento que se componen de:

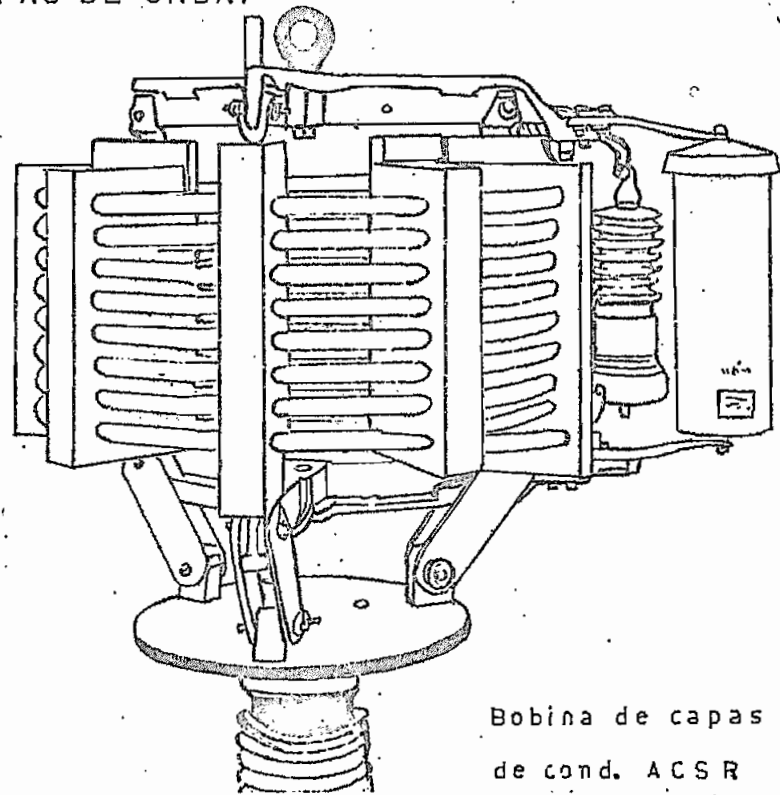
- a) condensador de acoplamiento.
- b) filtro de bloqueo.
- c) filtro de acoplamiento (sintonizador de línea) y;
- d) un descargador de alta tensión o dispositivo de protección de acoplamiento para ondas portadoras.

Cuando la unidad transmisor-receptor es instalada a la intemperie cerca al condensador de acoplamiento va conec-

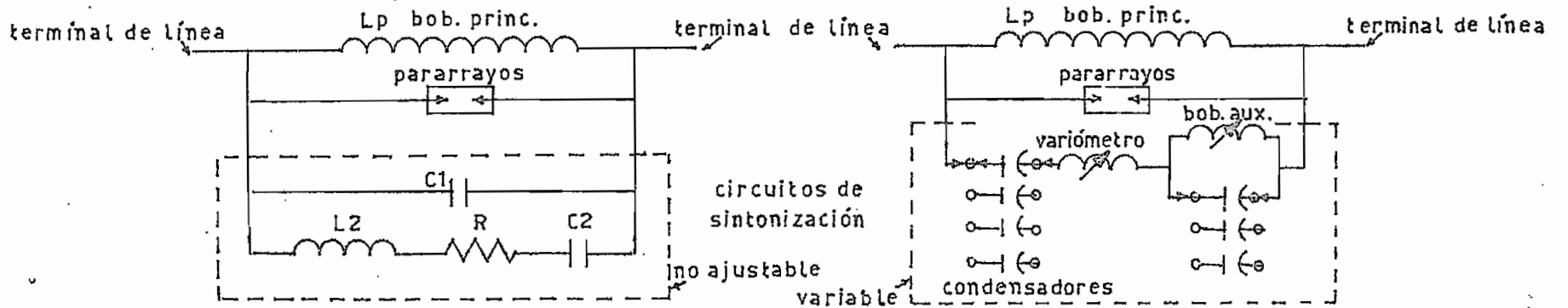
BOBINAS DE BLOQUEO DE ALTA FRECUENCIA  
(TRAMPAS DE ONDA)



Bobina cilíndrica



Bobina de capas de cond. ACS R



tada a este último por una corta línea aérea; si es instalada en interior se conecta al condensador de acoplamiento a través de un cable de alta frecuencia (cable coaxial).

- a) Condensador de acoplamiento. - El Condensador de acoplamiento sirve de unión entre el sistema de potencia y el sistema de protecciones; tiene una capacidad de alrededor de  $0,003 \mu f$  para tensiones del orden de 220 Kv. y da una impedancia de algunos millones de ohmios a la corriente de potencia de 60 Hz y sólo unos pocos miles de ohmios a la de onda portadora; es diseñado para la tensión de servicio de las líneas de alta tensión y está formado por unidades individuales de condensadores de diferente capacidad de voltaje conectados en serie y contenidos en un cilindro de porcelana terminado a los extremos en molde metálico. El cilindro descansa sobre una base metálica y encierra el filtro de bloqueo cuya función es proteger el equipo de onda portadora y partes del acoplamiento contra sobretensiones.

Cuando el condensador de acoplamiento es usado como un divisor de potencial, el transformador de potencial va alojado en un compartimiento especial, aislado del compartimiento que aloja el filtro de bloqueo y adaptado en la misma base del condensador.

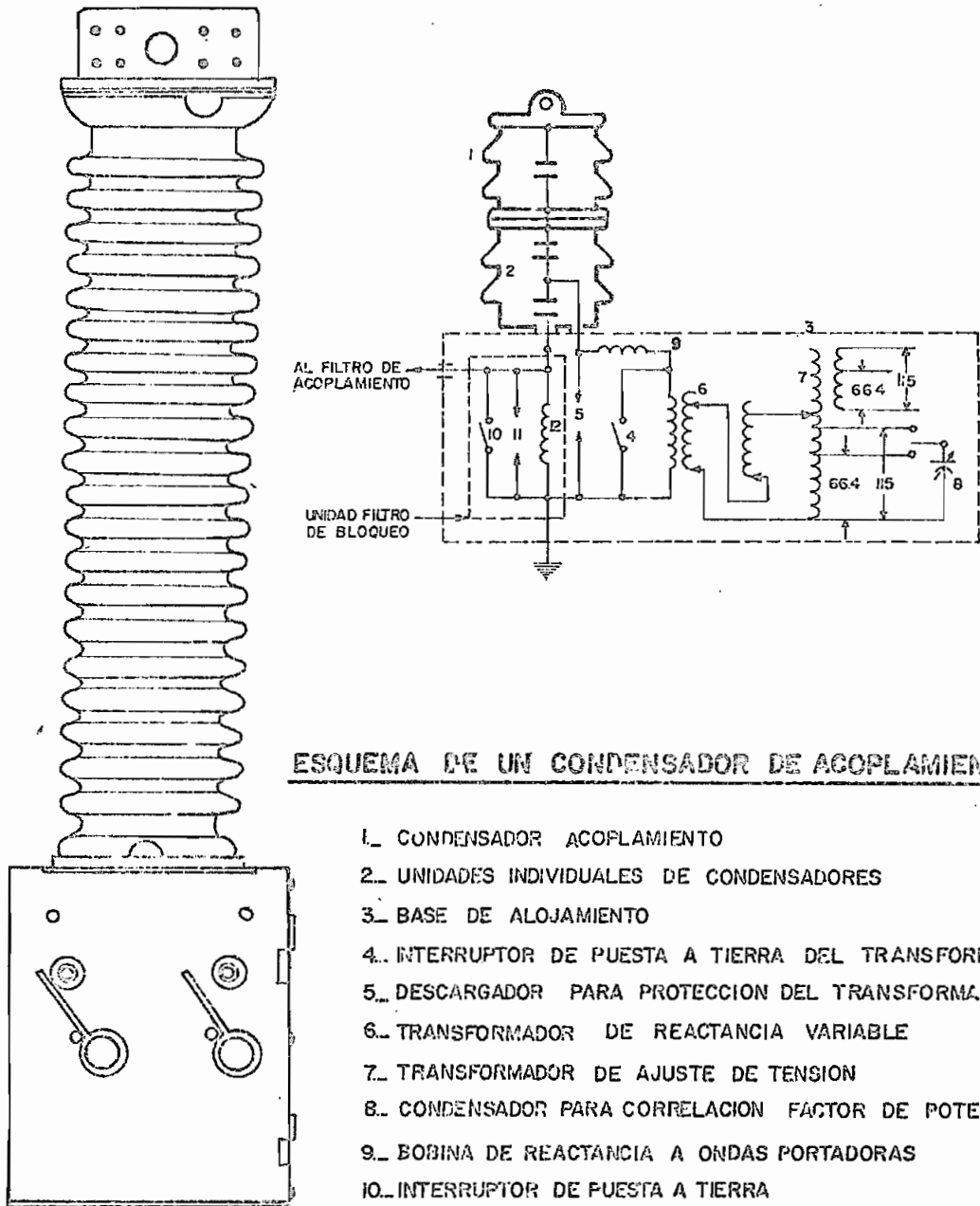
El transformador de potencial está conectado a través de una sección inferior del condensador, deri-

vándose, por lo tanto, una tensión proporcional a la tensión de línea de acuerdo a las propiedades del transformador de potencial; la conexión al condensador se hace a través de una bobina de reactancia a la frecuencia portadora que aísla al transformador desde el capacitor a las frecuencias portadoras.

Son provistos también un transformador de reactancia variable para ajustar el ángulo de fase del voltaje derivado y un transformador de ajuste de tensión para ajustar las magnitudes de salida. El esquema de un condensador con el diagrama de conexiones se muestra en la fig. No 27.

- b) Filtro de bloqueo. - En el filtro de bloqueo se alojan: un interruptor de puesta a tierra, el descargador de sobretensiones y una bobina de drenaje; el propósito de ésta última es poner a tierra el terminal del condensador opuesto al terminal de acople a la línea de 60 Hz, ofreciendo un camino de baja impedancia al flujo de corriente del sistema de potencia con el fin de reducir a un mínimo la tensión que pueda aparecer entre el terminal del condensador (lado opuesto al de acople a la línea) y tierra; al mismo tiempo ofrece alta impedancia a la frecuencia de onda portadora.

El interruptor de puesta a tierra es usado para puentear la bobina de drenaje, poniendo a tierra directamente el condensador durante labores de mantenimiento en el equipo de acoplamiento.



**ESQUEMA DE UN CONDENSADOR DE ACOPLAMIENTO DE OP**

- 1\_ CONDENSADOR ACOPLAMIENTO
- 2\_ UNIDADES INDIVIDUALES DE CONDENSADORES
- 3\_ BASE DE ALOJAMIENTO
- 4\_ INTERRUPTOR DE PUESTA A TIERRA DEL TRANSFORMADOR
- 5\_ DESCARGADOR PARA PROTECCION DEL TRANSFORMADOR
- 6\_ TRANSFORMADOR DE REACTANCIA VARIABLE
- 7\_ TRANSFORMADOR DE AJUSTE DE TENSION
- 8\_ CONDENSADOR PARA CORRELACION FACTOR DE POTENCIA
- 9\_ BOBINA DE REACTANCIA A ONDAS PORTADORAS
- 10\_ INTERRUPTOR DE PUESTA A TIERRA
- 11\_ DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES
- 12\_ BOBINA DE DRENAJE



El descargador de sobretensiones (pararrayos) protege la bobina de drenaje y el filtro de acoplamiento cortocircuitando a tierra cualquier sobretensión durante la operación normal; en el caso de muy altas corrientes debidas, por ejemplo, a la perforación del condensador, los electrodos de este pararrayos se funden y forman una conexión segura a tierra garantizando en estos casos la protección de los equipos de onda portadora.

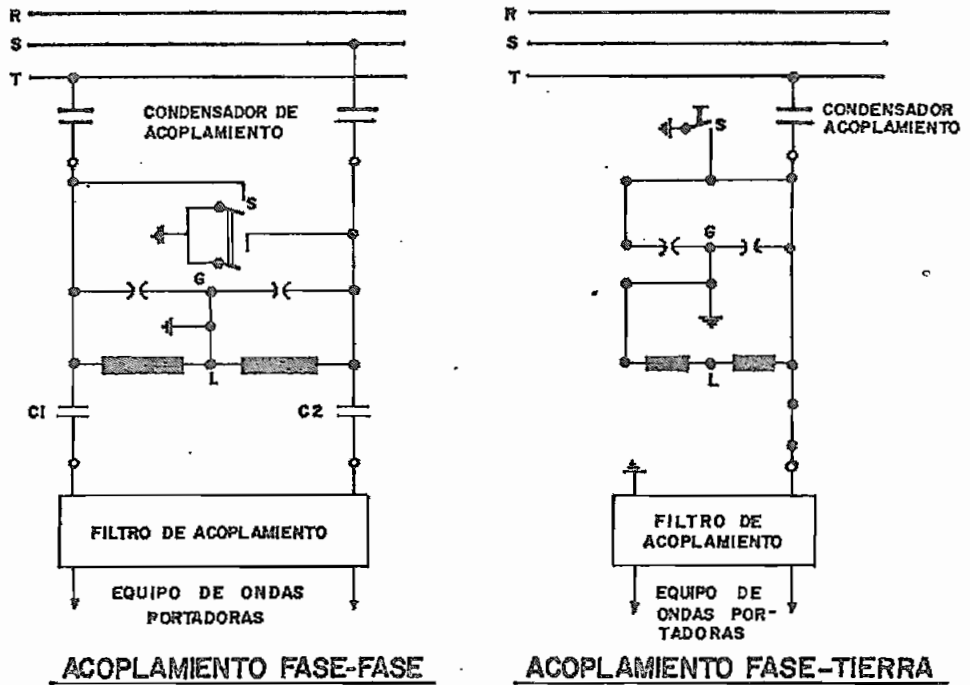
De esta forma la unidad transmisor-receptor de onda portadora está efectivamente aislada de la línea de transmisión y puesta a tierra a 60 Hz y por otro lado está conectada a la línea y aislada de tierra a la frecuencia de onda portadora.

Un esquema de conexiones se indica en la fig. No 28.

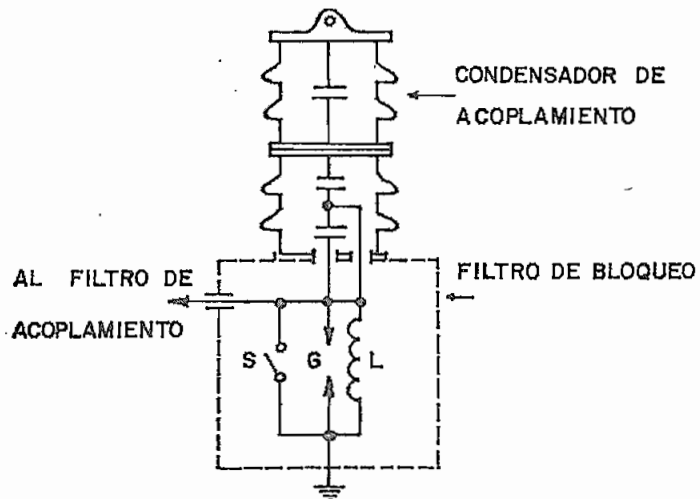
c) Filtro de acoplamiento (sintonizador de línea)

Como la línea de transmisión de potencia presenta una carga resistiva al rango de frecuencias portadoras y que está en serie con la reactancia de los condensadores de acoplamiento y siendo estos valores apreciables deben ser compensados para obtener máxima eficiencia del acoplamiento y obtener una condición de carga resistiva para el transmisor de onda portadora; esto se logra con el filtro de acoplamiento o sintonizador de línea que consiste de una inductancia ajustable y en serie con el condensador de acoplamiento y que compensa la reactancia capacitiva de este último a las frecuencias de onda portadora.

FILTROS DE BLOQUEO



- L BOBINA DE DRENAJE
- G DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES
- S INTERRUPTOR DE PUESTA A TIERRA
- CI-C2 CONDENSADOR DE AISLAMIENTO (PARTES INTEGRANTES DEL FILTRO DE ACOPLAMIENTO)



dora, evitándose así las reflexiones de onda. Para prevenir la saturación magnética del transformador de entrada al filtro de acoplamiento se usa condensadores de aislación.

Si la unión desde el filtro de acoplamiento a la unidad transmisor-receptor se hace por cable coaxial, debe proveerse de un transformador para acoplamiento de impedancia que transforma la impedancia característica de la línea al valor que termina el cable coaxial.

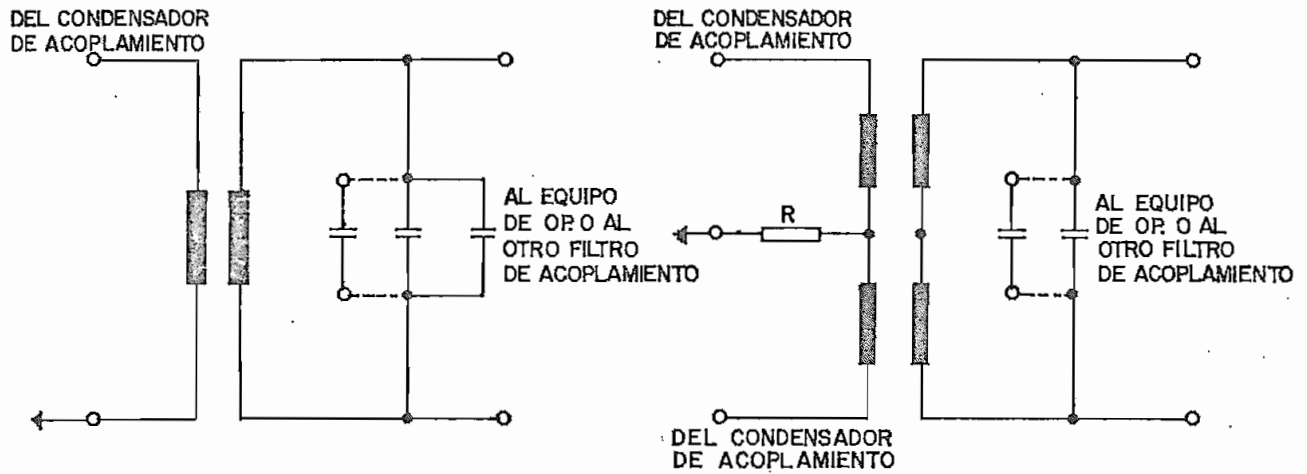
Ver diagramas de la Fig. No. 29.

#### II.3.2.5. Circuitos de acoplamiento.

En la Fig. No 30 se indican los circuitos de acoplamiento comunes de equipos de ondas portadoras a las líneas de alta tensión.

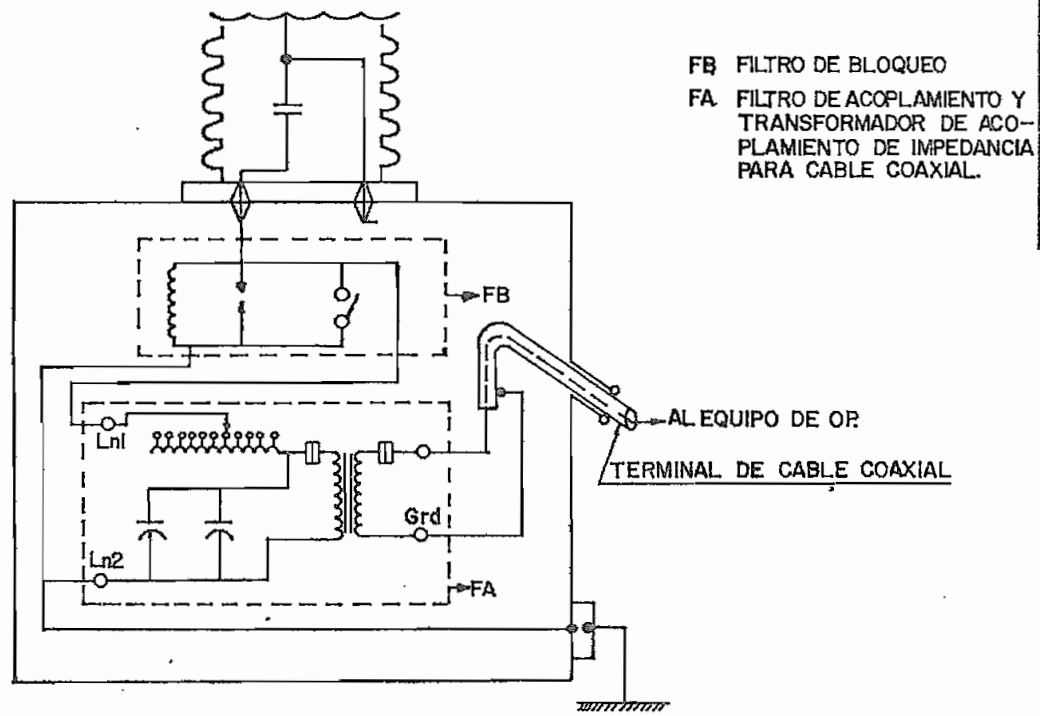
De ellos, los circuitos con retorno por tierra (acoplamiento monofásico) tienen más grande atenuación y mayor interferencia que los circuitos metálicos (acoplamientos bifásico y de entrefase), aunque requieren menor cantidad en condensadores de acoplamiento y trampas de onda; en la práctica el efecto de antena de los conductores no acoplados de una línea de alta tensión basta frecuentemente para lograr una conversación comprensible, aún con el conductor de acoplamiento roto o puesto a tierra.

El circuito con retorno por tierra es usualmente satisfactorio para propósitos de protección por relés; pero el circuito metálico es preferible para comuni

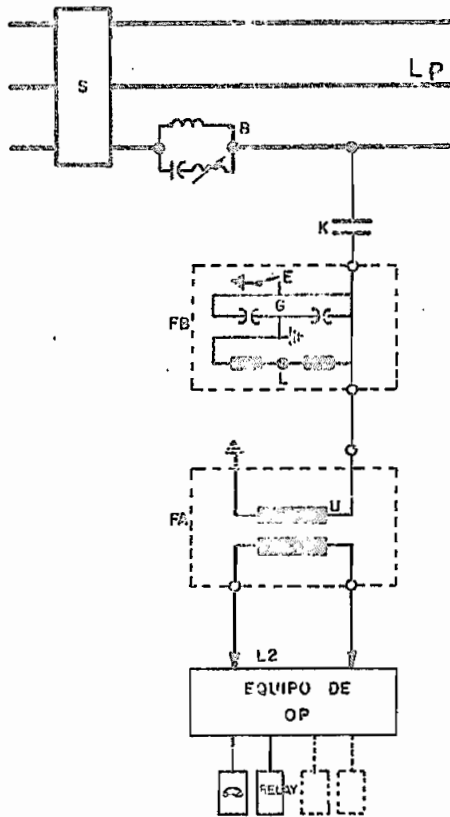


FILTRO DE ACOPLAMIENTO ENTRE FASE Y TIERRA

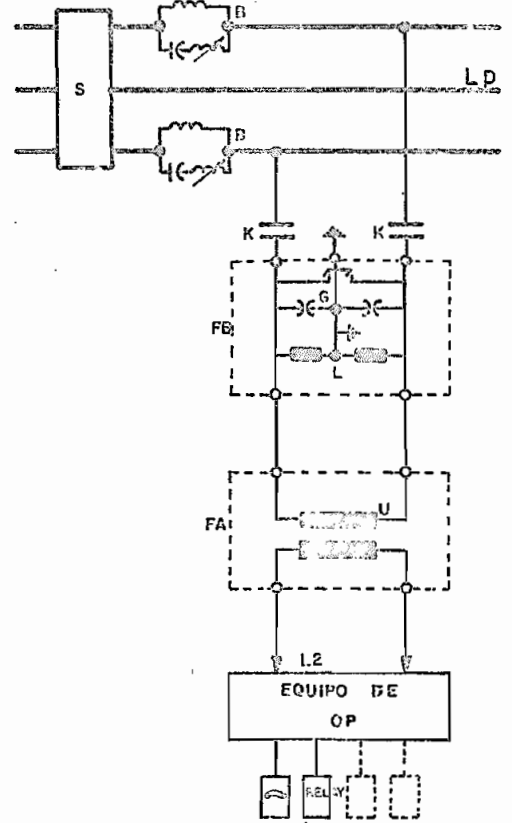
FILTRO DE ACOPLAMIENTO ENTRE 2 FASES



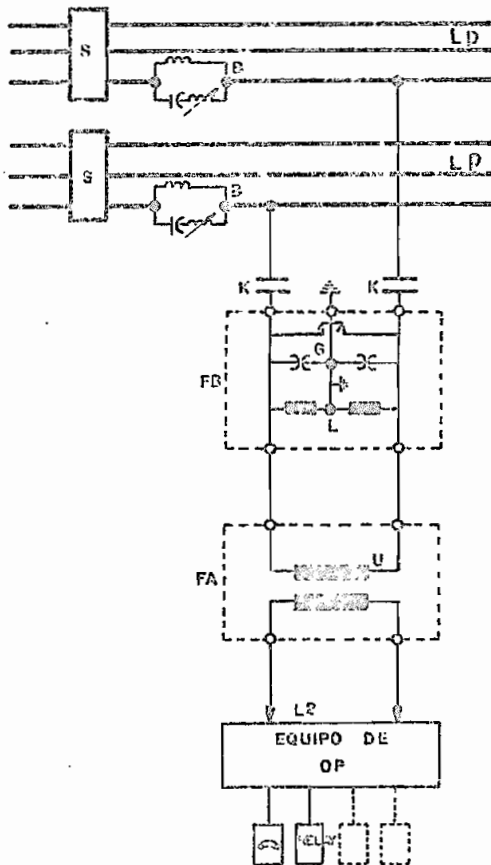
SECCION DE CONDENSADOR DE ACOPLAMIENTO



A. ACOPLAMIENTO MONOFASICO



B. ACOPLAMIENTO BIFASICO



C. ACOPLAMIENTO DE ENTREFASE

LEYENDA

- Lp LINEA DE ALTA TENSION
- S INTERRUPTOR DE FUERZA
- B BOBINA DE BLOQUEO DE A.F
- K CONDENSADOR DE ACOPLAMIENTO
- FB FILTRO DE BLOQUEO (DISPOSITIVO PROTECT.)
- L BOBINA DE DRENAJE (DERIVACION)
- G DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES
- FA FILTRO DE ACOPLE(SINTONIZ. DE LINEA)
- U TRANSFORMADOR
- L2 CABLE HACIA EL EQUIPO DE OP
- E INTERRUPTOR DE PUESTA A TIERRA

cación.

En el acoplamiento bifásico y el acoplamiento de entre- fase (para líneas de doble circuito) a más de su ventaja de mayor seguridad en la transmisión de señales, con su menor atenuación de acoplamiento se llega a conseguir una ganancia de atenuación de 0,25 a 0,40 Np(\*) mejorando las condiciones de transmisión ; este factor depende también de la posición de los conductores acoplados, como se verá más adelante en la aplicación de este sistema de acople.

La transmisión queda asegurada aún después de romperse un conductor de acoplamiento; principalmente con el acoplamiento entrefase, que permite mantener la transmisión aún estando cortocircuitados y puestos a tierra los tres conductores de un sistema trifásico, como ocurre durante los trabajos de reparación de líneas de alta tensión .

Los acoplamientos bifásicos o de entrefases que, aunque representan mayor gasto en comparación con el acoplamiento monofásico, se justifican especialmente cuando se tienen que salvar distancias de transmisión muy grandes , teniendo en este caso especial importancia que los equipos a frecuencia portadora se conecten a la línea con la menor pérdida de línea posible (menor pérdida en cable coaxial). Ref. (12) (13) (15) (21) (22) (23) (24).

(\*) Neper unidad de medida de nivel de potencia de sonido.

### II.3.3. Planificación de comunicaciones por onda portadora para la línea Pucará - Quito.

#### II.3.3.1. Generalidades.

La calidad de una comunicación por onda portadora está determinada fundamentalmente por la separación entre el nivel útil y el nivel de ruido en el punto de recepción.

Por consiguiente debe investigarse en primer lugar el grado con que las líneas de muy alta tensión atenúan - el nivel útil a transmitir y cuál es el nivel de ruido que es de esperar en las mismas. (15).

Por tal razón al proyectar instalaciones por onda portadora (O.P.) se consideran las magnitudes características de los circuitos de alta tensión que son descritas adecuadamente mediante los valores de: reactancias, atenuación y nivel de perturbaciones.

Los valores numéricos de las magnitudes características dependen de la disposición y de las dimensiones físicas del circuito, de su acondicionamiento para frecuencias altas y de su tensión de trabajo. Se determinan por medición y cálculo .

Es conveniente, al realizar estos proyectos de instalaciones de O.P., fijar con antelación valores mínimos para la separación admisible entre el nivel de señal y el nivel de ruido exterior en el punto de recepción y contar con valores guías específicos para las magnitudes características. Este aspecto es importante al in

cluir el caso en que se esperen o se comprueben desviaciones de los valores normales, o también, cuando desde un principio no se pueden suponer valores gufas unívocos, ya que estos dependen sensiblemente de algunas particularidades en el tendido y en la estructura de la red de A.T. (más adelante se indican las particularidades en relación a los valores gufas a aplicarse para el Sistema Pisayambo) (16).

### II.3.3.2. Nivel de ruido y su separación mínima con el nivel de señal.

#### A) Nivel de ruido en líneas de alta tensión .

Para el dimensionamiento de sistemas de comunicación por líneas de A.T., se deben considerar dos variedades de tensiones de ruido, ambas provocadas por la circulación de corrientes fuertes.

1. Tensión de ruido permanente, semejante a un murmullo, que se presenta principalmente en telecomunicaciones verbales y en otras comunicaciones como telemedidas, en las cuales existe una transmisión permanente; esta tensión de ruido es provocada por efluvios debidos al efecto corona en los conductores.
2. Perturbaciones del tipo impulso, principalmente en instalaciones con transmisiones breves, por Ej. - instalaciones de protección selectiva, son debidas a arcos voltaicos provocados por cortocircuitos o en los procesos de maniobra que tienen lugar en la línea de corriente fuerte. (15)



Las mediciones de perturbaciones de tipo murmu -  
llo hechas con relación a un ancho de banda de 5 KHz  
y para condiciones climáticas adversas en circui -  
tos de 110 Kv hasta 220 Kv pueden llegar a un nivel -  
absoluto de ruido por efecto corona de  $-4N_p$  hasta -  
 $-2N_p$  (-34,7 db hasta -17,4 db). (\*). Estos niveles  
de potencia de ruido se les supone presentes directa -  
mente en el circuito. (16).

Para una tensión de servicio dada las magnitudes  
dependen de las mediciones (influencia de intensida -  
des de campo marginales) y del estado en que se  
encuentra la línea. Un circuito desfavorecido de  
110 Kv puede exhibir un mayor nivel de ruido que  
uno de 220 Kv más favorable.

En general en circuitos de 380 Kv construídos con  
especial consideración en relación a las pérdidas  
por efecto corona, según la experiencia acumulada  
hasta ahora, se presentan solo escasas tensiones  
de ruido debidas a este efecto. Un margen de  $-1N_p$   
puede incluirse como suficiente en un proyecto.

Para líneas de 735 Kv el nivel del ruido por efecto  
corona se ha determinado que es algo mayor del va -  
lor de  $-1N_p$  recomendado para la planificación de  
líneas de 380 Kv , vale  $-0,8 N_p$ . (15)

(\*) Neper es la unidad para medir nivel de potencia  
de ruido; el nivel de potencia es:

$$p = 1/2 \ln P_1/P_2 \text{ (Np)} = 10 \log P_1/P_2 \text{ (db)}$$

$$1 \text{ (Np)} = 8,686 \text{ (db)} \text{ y } \log_e N = 2,302585 \log_{10} N$$

Los niveles absolutos son referidos a la potencia

$P^a = 1 \text{ mW}$  o en su defecto a la tensión correspon-

Los niveles de ruido en circuitos con tensiones más bajas son empíricamente menores que los valores que se señalan anteriormente. Están determinados, no tanto por apariciones locales de efecto corona, como por descargas irregulares en aisladores sucios o dañados por contactos deficientes, y dependen fuertemente de las condiciones en que se encuentra el circuito y su postación, de modo que no pueden darse valores generales aplicables.

B) Separación admisible del nivel de ruido exterior

El nivel de ruido exterior, originado por los ruidos de corona, en el orden de magnitud de los  $-5N_p$  en el nivel relativo 0, es a saber, aún debilmente perceptible, pero no se le considera molesto.

Un nivel de perturbación exterior  $2N_p$  más alto, o sea de unos  $-3N_p$ , es calificado como "aún tolerable"

De este modo, una separación mínima entre el nivel de señal y el de perturbación exterior igual a  $3N_p$ , referido a  $1mW$  en el nivel relativo 0, puede ser considerada como "aún permisible"

Para señales de telemando por modulación de amplitud, en canales telegráficos de 80 Hz de anchura (120 Hz separación entre canales), una separación de  $3N_p$  entre la portadora no modulada y el nivel de ruido exterior por efecto

(\*) ..diente  $U^\circ = 775 \text{ mV}$  y que es la caída de tensión en una resistencia de 600 ohmios que disipa una potencia de 1 mW.

corona se ha mostrado satisfactoria.

En caso de modulación por frecuencia en canales de igual ancho de banda y a igualdad de condiciones, puede tolerarse una separación de 2,3 Np entre el nivel de utilización y el de perturbación exterior. Al hacer los proyectos de comunicaciones por onda portadora es aconsejable incluir 1 Np adicional como reserva en la separación de los niveles, en resguardo a las variaciones de la atenuación y del nivel de ruido . (16)

Con esto resultan los siguientes valores de planificación para la separación de los niveles de la señal y del ruido exterior (corona):

Para la transmisión de voz (*)	
(para 1mW en nivel relativo 0)	4Np
Para el telemando con modulación de amplitud	
(con portadora no modulada)	4Np
Para telemando con modulación de frecuencia	3,3Np

(\*) Nota: Para la transmisión de voz mediante las técnicas de onda portadora , en el rango usual de transmisión 0,3 hasta 2,4 KHz , correspondería una separación de ruidos (según la curva A del CCIF para la dependencia de la sensibilidad del oído a la frecuencia) de unos 4,3 Np.(16)

II.3.4. Valores de las magnitudes características asumidas para el proyecto.

II.3.4.1. Atenuación

Para valorar el nivel de señal, a partir del nivel de transmisión, deberá calcularse la atenuación "a" de la comunicación, la cual se compone de diferentes partes.

Se tiene que:

$$a = \alpha_1 L_1 + (A_{ad} + 2A_{cpl} + 2A_{st}) + \alpha_{cab} L_{cab}$$

$$a = \alpha_1 L_1 + a_f + \alpha_{cab} L_{cab} \quad (A)$$

donde:

a = atenuación total

$\alpha_1$  = atenuación por unidad de longitud en circuitos con acoplamiento a dos fases

$L_1$  = longitud del circuito con acoplamiento a dos fases

$A_{ad}$  = atenuación adicional equivalente al acoplamiento a una fase

$2A_{cpl}$  = atenuación del acoplamiento

$2A_{st}$  = atenuación originada por las estaciones receptoras en los extremos del circuito.

$\alpha_{cab} L_{cab}$  = atenuación de los cables de alimentación para alta frecuencia. (16)

Los términos dentro del paréntesis se deberán sumar para cada segmento de circuito incluido.

Para un cálculo exacto de  $\alpha_1$  se deberán considerar un sinnúmero de parámetros. Por tal razón se emplean va

lores guías , productos de mediciones ya realizadas.

II.3.4.2. A) Valores guías para la atenuación obtenidos de valores de medición conocidos

La atenuación en redes de alta tensión depende, además de las pérdidas en los conductores, en muy alto grado de las pérdidas en el suelo (corrientes parásitas) y de las pérdidas dieléctricas. Las pérdidas en el suelo predominan en redes de tendido desfavorable y prácticamente solo ellas determinan la atenuación. Dependen de la conductividad del suelo y del tipo de postación del circuito de alta tensión, y aumentan al disminuir la altura de los conductores con respecto al suelo y al aumentar la separación entre las fases. No se ha podido encontrar una relación simple, que sea cómodamente aplicable a los distintos tipos de tendidos de líneas y que considere todas las influencias fundamentales.

Tampoco, para el caso de sistemas de transmisión de información, se dispone fácilmente de los datos necesarios para una predicción adecuada. Por esta razón convendrá el empleo de valores guías que son el resultado de medidas experimentales y consideraciones teóricas.

De las numerosas medidas realizadas en líneas de elevada tensión, aproximadamente de 60 a 400 Kv, y de diferente diseño, se ha establecido que la atenuación de una línea depende grandemente de la relación  $d/h$ , en que  $d$  es la distancia media entre los conductores empleados para el acoplamiento, considerando las variaciones que dicha separación puede exhibir por cruces entre los conduc

tores mencionados a lo largo de todo el circuito ( para acoplamiento a una sola fase  $\underline{d}$  es la distancia media entre el conductor acoplado y las dos fases adyacentes) y  $\underline{h}$  es la altura media del conductor sobre el suelo medida en los postes, lo que resulta normalmente más fácil de determinar que la que se deduce de evaluar la lisura del suelo y la flecha de los conductores entre los postes, valores que en sí serían más precisos.

Los valores de atenuación (acoplamiento a dos fases) disponibles sobre esta base, para los distintos tendidos de redes, varían en un rango extraordinariamente amplio. Se hallan condensados en el cuadro 1,

La secuencia de los renglones está escogida de tal manera que los valores de atenuación ( $\alpha_1$ ) para 300 KHz crecen al leerlos de arriba hacia abajo.

Dicho cuadro contiene además datos acerca de la construcción de los circuitos de alta tensión (no disponibles de todos los circuitos).

En la Fig. No 1 se hallan ubicados, en igual orden, los esquemas de las torres con indicación de las fases empleadas para el acoplamiento.

A partir de la secuencia de los diagramas se puede apreciar ya claramente la influencia ejercida sobre la atenuación por la disposición de las fases: así los circuitos con los conductores dispuestos uno encima del otro o formando un triángulo muestran menor atenuación que aquellos dispuestos paralelos al suelo; se explica pues para este últi-

mo caso la separación entre fases de acoplamiento es siempre mayor que en el primer caso y la altura media sobre el suelo de este último caso es menor que la respectiva altura sobre el suelo del primer caso.

La tercera columna del cuadro 1 contiene la razón  $d/h$  de los circuitos; esta razón crece desde aproximadamente 0,2 , para circuitos de baja atenuación, hasta alrededor de 1,0 para los circuitos con grandes pérdidas.

La Fig. No 2 muestra los valores medidos para la atenuación vs. la razón  $d/h$  para las frecuencias de 50, 100, 200 y 300 KHz ; los valores están en cierto rango delimitado por una curva superior y otra inferior; además , para cada frecuencia se ha indicado una curva media; de estas curvas del valor medio se han obtenido las curvas de la atenuación vs. la frecuencia, con la razón  $d/h$  como parámetro (Fig No 3) , las cuales corresponden en su recorrido a las curvas medidas (Fig No 4 según el cuadro 1).

Estas curvas permiten obtener , de un modo fácil y rápido, una apreciación estimable de la atenuación partiendo de la configuración (dimensiones) de las torres, recordando que deberá contarse con una desviación de la atenuación real comprendida en el rango de dispersión de la fig. No. 2 .

Para un circuito de construcción semejante a los mostrados en la Fig. No 1 se podrá determinar la atenuación a partir de los valores del cuadro 1 y de la Fig. No 4 .

Para casos críticos y en estructuras de circuitos que se alejan notoriamente del tipo normal , se aconseja determinar la atenuación por medición .

Esta información ha sido tomada de publicaciones e informes para el Comité No. 14 de CIGRE (20).



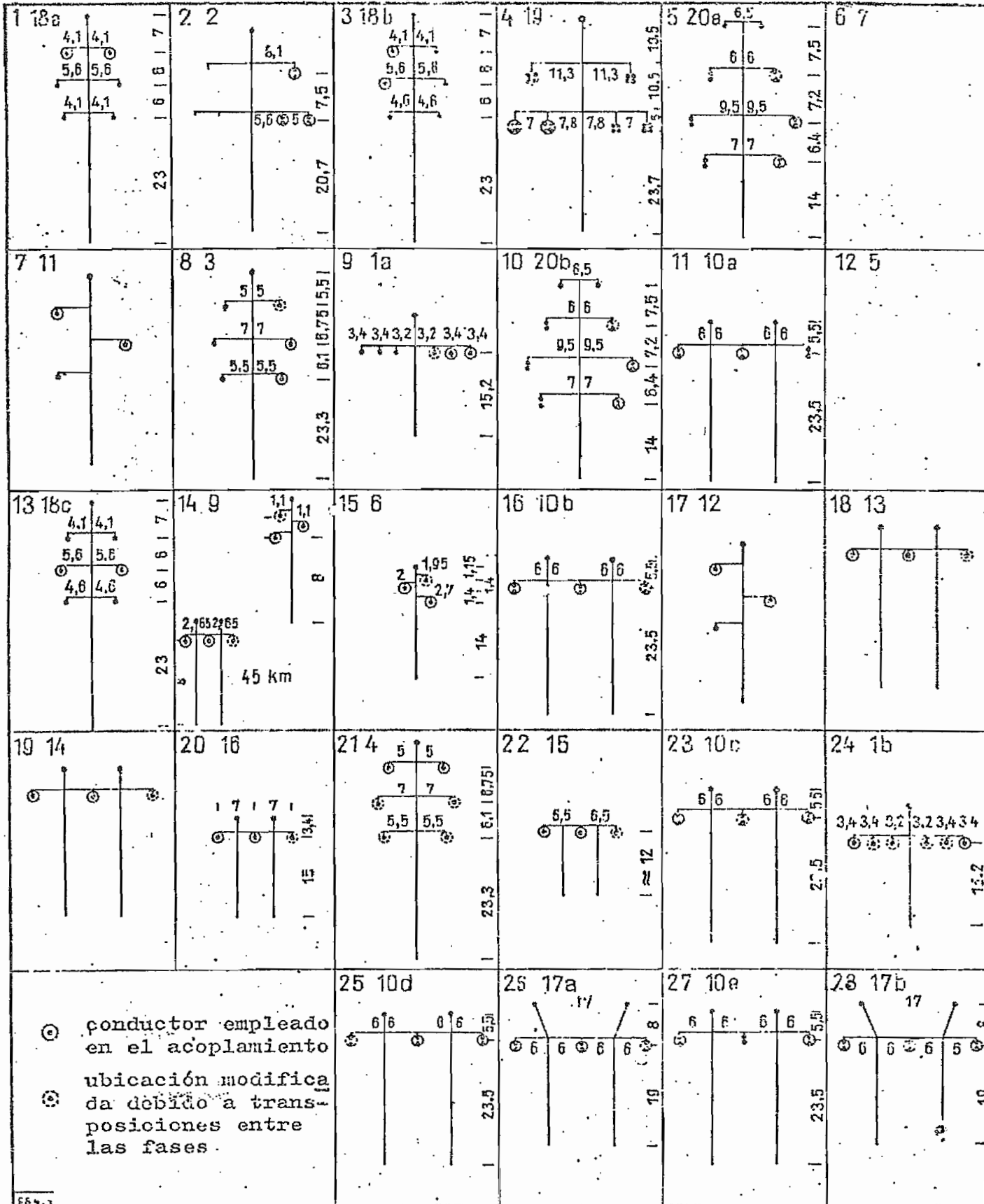


Figura 1. esquemas de la postación de los circuitos especificados en el cuadro 1.

Número (fig. 1)	(ver Cuadro 2)	d/h	$\alpha_L = f(f)$ $\alpha_L$ in Np/100 km f in kHz							Tensión kV	Transposiciones	Longitud km	Material y sección del conductor mm <sup>2</sup>	Diámetro del conductor mm	Material y sección del conductor tierra. mm <sup>2</sup>
			50	100	150	200	250	300	400						
1	18a	0,23	0,13	0,23	0,35	0,43	0,53	0,65	220	0	89	AlFe 625/79	34,6	FeCu 74	
2	2	0,20	0,22	0,32	0,42	0,52	0,62	0,68	0,9	220	6	2xAlFe 185/32		AlFe 185/32	
3	18b	0,28	0,17	0,28	0,4	0,51	0,6	0,7		220	0	AlFe 625/79			
4	19	0,33	0,2	0,34	0,45	0,56	0,67	0,78	1,0	380	4	4xAlFe 240/40	21,7/400	Fe 240/40	
5	20a	0,46	0,23	0,47	0,56	0,65	0,72	0,8	0,92	275	4	2xAlFe 240/56	22,4	2xFe 70	
6	7		0,25	0,38	0,53	0,66	0,79			110					
7	11		0,33	0,45	0,6	0,74	0,78	0,86		110		Cu 95		Fe 50	
8	3	0,29	0,2	0,4	0,53	0,65	0,77	0,9		220	7	AlFe 451	28	AlFe 119/41	
9	1a	0,3	0,17	0,32	0,46	0,6	0,78	0,95	1,2	110	2	AlFe 185/32		Fe 50	
10	20b	0,46	0,23	0,53	0,63	0,73	0,85	0,96	1,21	275	4	2xAlFe 240/56			
11	10a	0,51	0,41	0,5	0,63	0,73	0,9	1,13		380	0	2xAlFe 593	32	2xFe	
12	5		0,3	0,53	0,7	0,9	1,03	1,2	1,4	220		AlFe 185/32		Fe 40	
13	18c	0,39	0,26	0,40	0,69	0,92	1,08	1,2		220	0	AlFe 625/79			
14	9	0,4	0,37	0,6	0,78	0,95				60		Cu 50		Fe 35	
15	6	0,3	0,42	0,61	0,78	0,92				150		Aldrey 150			
16	10b	0,63	0,43	0,73	0,94	1,13	1,4	1,65		380	4	2xAlFe 593			
17	12		0,4	0,66	0,91	1,17	1,44	1,66		110		AlFe 150	21,7	Fe 50	
18	13		0,53	0,74	1,01	1,25	1,49	1,66		110		AlFe 185		2xFe 50	
19	14		0,58	0,8	1,04	1,28	1,48	1,7		220		AlFe 350		2xFe 50	
20	16	0,62	0,36	0,58	0,86	1,1	1,4	1,78		220	32	AlFe 451	28	2xFe 50	
21	4	0,47	0,35	0,65	1,0	1,35	1,68	2,0		220	20	AlFe 451	28	AlFe 119/41	
22	15	0,72	0,35	0,61	0,9	1,25	1,64	2,04		130	20	Cu 185			
23	10c	0,68	0,5	1,02	1,45	1,83	2,04	2,15		380	4	2xAlFe 593			
24	1b	0,87	0,55	0,91	1,27	1,62	1,95	2,22	2,66	110	2	AlFe 185/32			
25	10d	0,68	0,5	1,02	1,7	2,4	2,04	3,7		380	4	2xAlFe 593			
26	17a	0,84	0,69	1,55	2,17	2,78	3,45	3,9	4,85	380	3	2xAlFe 593	32	2xFe 50	
27	10e	1,02	0,73	1,45	2,17	2,9	3,6	4,55		380	0	2xAlFe 593			
28	17b	0,84	0,9	1,6	2,45	3,35	4,25	5,18	7,05	380	3	2xAlFe 593			

Cuadro 1. La atenuación  $\alpha_L$  de distintos circuitos, ordenada para valores medidos con 300 kHz.

Figura 3 (derecha). La atenuación  $\alpha_L$  de redes de A.T. en función de la frecuencia  $f$ , para distintos valores de  $d/h$ .

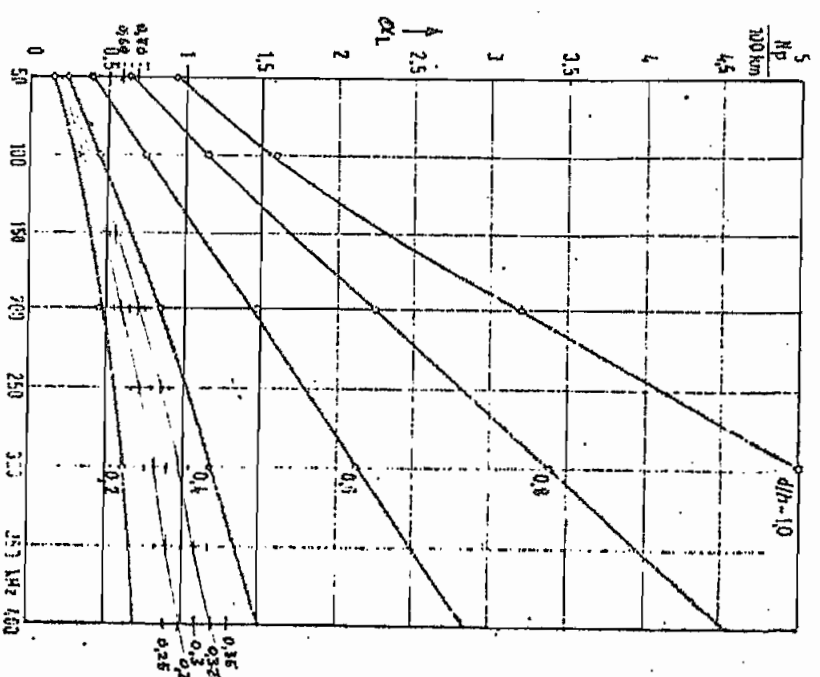


Figura 2 (abajo). La atenuación  $\alpha_L$  de circuitos con distintas razones  $d/h$  tomados del cuadro 1.

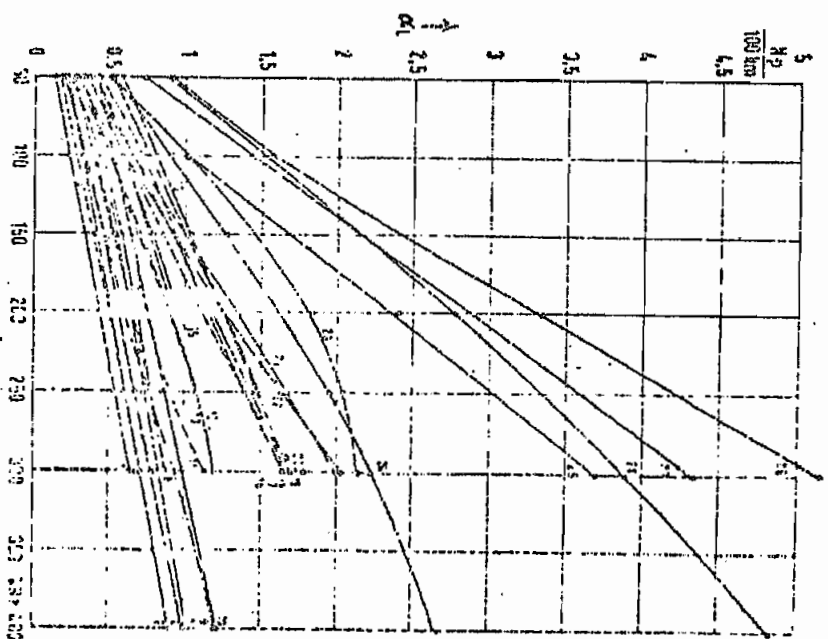
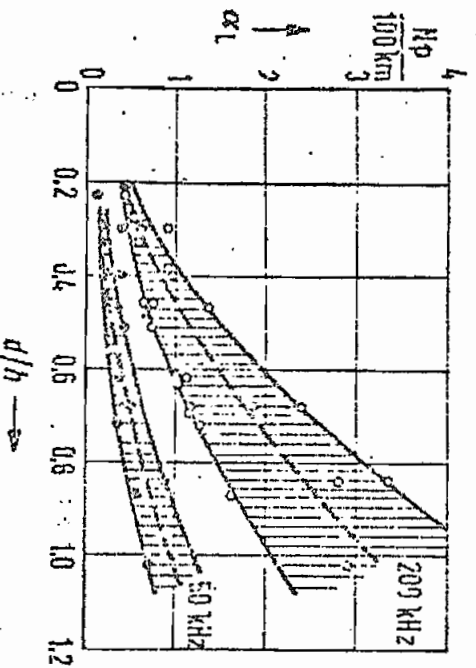
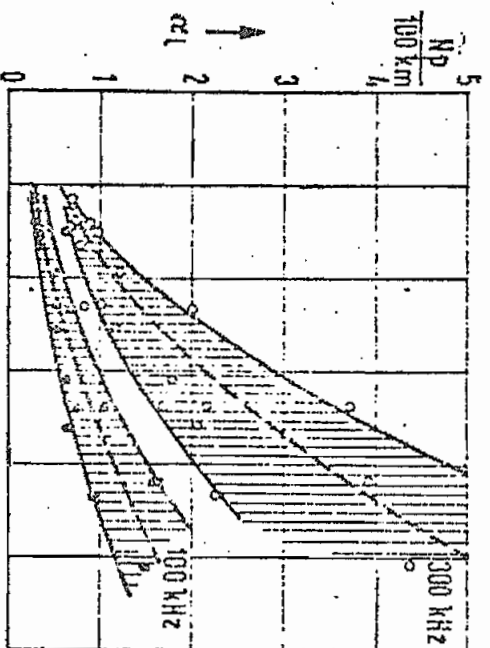


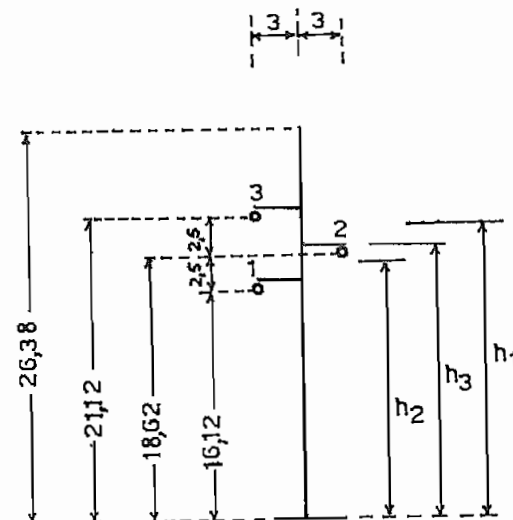
Figura 4 (derecha). La atenuación de redes en función de la frecuencia, para los casos especificados en el cuadro 1. Las cifras al lado de las curvas corresponden a la numeración de la primera columna del cuadro 1.

II.3.4.2. B) Dimensiones geométricas de la línea de 138 Kv. Pucará - Quito.

De acuerdo a las especificaciones preparadas por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación, las dimensiones aproximadas de las torres se indican en la Fig. No 1 - (Cap. I); el número de las mismas para el tramo Pucará - Quito y de acuerdo a los diversos tipos (I), se detalla a continuación:

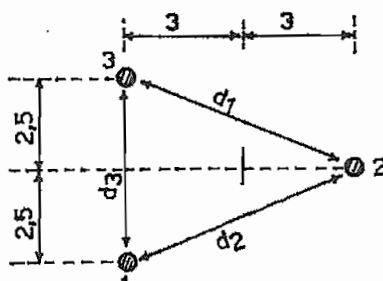
<u>Clave</u>	<u>Tipo</u>	<u>Número de Torres</u>
		138 Kv.
N	Suspensión	209
C	Anclaje-remate	47
TOTAL		256

Un esquema indicativo de la postación con sus medidas promedias, así como las distancias promedias de los conductores al suelo medidas en las torres se ve a continuación en la Fig. No 31



Tomando en cuenta las transposiciones de la línea Pucará - Quito que, de acuerdo a los estudios realizados para la misma, será dos, la distancia media entre fases (d) (para el caso del sistema de acoplamiento de PLC a dos fases) y la altura media (h) de dichas fases medida desde el suelo, serán de:

a) Sistema de acople de PLC a fases 2 y 3:



$$d_1 = \sqrt{6^2 + 2,5^2} = 6,5$$

$$d_2 = \sqrt{6^2 + 2,5^2} = 6,5$$

$$d_3 = 5$$

Las transposiciones de tipo directas a realizarse en esta línea, toman lugar completamente en 3 vanos consecutivos cada una, o sea que en 4 postes de todo el trayecto los conductores ocupan posiciones diferentes; de esta forma la distancia media entre las fases 2 y 3 tiene el valor de:

$$d = \frac{(N-4) \times d_1 + (2 \times d_2) + (2 \times d_3)}{N}$$

donde:

d = distancia media

N = número total de estructuras de la línea Pucará-  
Quito

entonces:

$$d = \frac{(256-4) \times 6,5 + (2 \times 6,5) + (2 \times 5,0)}{256}$$

$$d = 6,48$$

La distancia media a tierra de los conductores acoplados, medida en las estructuras y según los valores y consideraciones anteriores valdrá:

$$h = \frac{(N-4) \times h_1 + (2 \times h_2) + (2 \times h_3)}{N}$$

donde:

h = altura media de los conductores acoplados medida desde el suelo

h<sub>1</sub> = distancia media de fases 2 y 3 desde el suelo

h<sub>2</sub> = distancia media de fases 1 y 2 desde el suelo

h<sub>3</sub> = distancia media de fases 1 y 3 desde el suelo

entonces:

$$h = \frac{(256-4) \times \frac{21,12+18,62}{2} + 2 \times \frac{18,62+16,12}{2} + 2 \times 18,62}{256}$$

$$h = 19,84$$

La relación d/h obtenida de los valores anteriores, resulta ser de:

$$d/h = 6,48/19,84$$

$$d/h = 0,326$$

b) Sistema de acople de PLC a fases 1 y 2

El valor de la relación  $d/h$  aumenta por cuanto la altura media ( $h$ ) disminuye.

c) Sistema de acople de PLC a fases 1 y 3

Relacionando las fórmulas dadas en el numeral (a) para esta posición, los valores resultantes de  $d$  y  $h$  y la relación  $d/h$ , son:

$$d = 5,023$$

$$h = 18,62$$

$$d/h = 0,269$$

De la Fig. No 3 (pág.79) y considerando una frecuencia alta de 200 KHz para dar margen suficiente al equipo de ondas portadoras a usarse en la línea Pisayambo - Quito, se tiene que la atenuación por unidad de longitud para los valores de  $d/h$  calculados, vale:

$$\alpha_L = 0,70 \text{ Np/100 Km. para } d/h = 0,326$$

$$\alpha_L = 0,60 \text{ Np/100 Km. para } d/h = 0,269$$

De estos valores se nota claramente que el acople de O.P. a las fases 1 y 3 da menor atenuación.

Según la ecuación (a) dada en la sección II.3.4.1. y para las atenuaciones parciales ( $a_p$ ) independientes de la longitud de la línea Pucará - Quito, se podrán emplear los siguientes valores:

1. Para  $A_{ad}$  atenuación adicional por acoplamiento a una fase.

Según la teoría de Chevalier (16), cuando solo la fase acoplada esté equipada con trampas de onda,

$$A_{ad} = 0,4 N_p = 3,47 \text{ db}$$

Para casos en los que igualmente se dispone de trampas para las otras fases, a más de la fase de acoplamiento:

$$A_{ad} = 0,25 N_p = 2,17 \text{ db}$$

En caso de marcha en vacío de los otros dos conductores (desconexión del circuito) no es necesario considerarlo, pues si bien aumenta la atenuación, disminuye correlativamente el nivel de perturbación foránea, de modo que se compensa dicho aumento.

Para el acoplamiento a dos fases:

$$A_{ad} = 0 N_p = 0 \text{ db}$$

2. Atenuación adicional inherente al circuito de acoplamiento (inclusive la atenuación del punto de unión - por desequilibrio de las cargas) a causa de que el circuito de acoplamiento está trabajando a una impedancia de carga más baja que la impedancia característica de la línea; esta pérdida es calculada como de 1 db para cada circuito adicional, más el 1 db normal para el acople del circuito principal

Según la teoría de Chevalier, para los 2 extremos de una línea, la atenuación del acoplamiento (acoplamiento de banda ancha) vale:

$$2 A_{cpl} = 0,4 N_p = 3,47 \text{ db}$$



3. Atenuación debida a la estación acoplada con trampas de onda; según el tipo de trampas y el rango de frecuencias, se tendrán valores menores para la atenuación en trampas no sintonizadas de mayor inductancia y frecuencia suficientemente alta, valores mayores para la atenuación en trampas sintonizadas a bandas más anchas y de menor inductancia:

$$2 A_{st} = 0,2 \quad \text{a} \quad 0,5 \quad N_p = 1,73 \quad \text{a} \quad 4,34 \text{ db}$$

Atenuación de la línea Pucará - Quito de 105 Km. de longitud.

Para calcular la atenuación de la línea Pucará - Quito y de acuerdo al esquema unifilar general del sistema servido por la Central Pucará, Fig. No 10 Cap. I, para las Subestaciones principales se prevén los siguientes circuitos:

- Subestación Pucará : 2 circuitos de salida a 138 Kv.  
(1 a Quito y 1 a Ambato)
- Subestación Quito : 3 circuitos de salida a 138 Kv.  
(2 a Subestaciones de E. E. Quito y 1 a Ibarra).
- Subestación Ambato : 2 circuitos de salida a 138 Kv.  
(1 a Riobamba (futuro) y 1 a Ambato con transformador).

Las atenuaciones parciales para la línea Pucará - Quito tendrán los siguientes valores:

1. Para acoplamiento de O.P. a una fase, y con trampa de onda solo en la fase acoplada.

$$A_{ad} = 0,4 N_p = 3,47 \text{ db}$$

Para acoplamiento de O.P. a dos fases:

$$A_{ad} = 0 N_p = 0 \text{ db}$$

2. Para la atenuación del acoplamiento:

$$\text{En Subestación Pucará: } 0,23 N_p = 2 \text{ db (2 circ.)}$$

$$\text{En Subestación Quito: } 0,46 N_p = 4 \text{ db (4 circ.)}$$

$$\text{Atenuación total } 2 A_{cpl} : 0,69 N_p = 6 \text{ db}$$

3. Si en los circuitos se utilizan trampas sintonizadas, se tendrán valores de atenuación mayores, o sea:

$$2 A_{st} = 0,4 N_p = 3,47 \text{ db}$$

La suma de las atenuaciones parciales da el valor de  $a_f$ :

$$\text{Para acoplamiento a 2 fases } a_f = 1,1 N_p = 9,5 \text{ db}$$

$$\text{Para acoplamiento a 1 fase } a_f = 1,5 N_p = 12,9 \text{ db}$$

Para la atenuación del cable de alimentación de alta frecuencia  $\alpha_{cab}$   $L_{cab}$  se tomarán los datos proporcionados por el fabricante del producto, pero como guía se tomarán los valores de la siguiente tabla:

Las atenuaciones parciales ( $a_f$ ) para acoplamiento a 1 so  
la fase :

$$1) \text{ Aad} = 0,4 \text{ Np} = 3,47 \text{ db}$$

$$2) \text{ 2 Acpl} = 0,58 \text{ Np} = 5 \text{ db}$$

$$3) \text{ 2 Ast} = 0,4 \text{ Np} = 3,47 \text{ db}$$

$$a_f = 1,38 \text{ Np} = 11,94 \text{ db}$$

La atenuación a , según la ecuación (A) anterior valdrá:

$$a = \frac{0,6 \text{ Np}}{100 \text{ Km}} \times 30 \text{ Km} + 1,38 \text{ Np} + \frac{0,08 \text{ Np}}{1000 \text{ pies}} \times 300 \text{ pies}$$

$$a = 1,584 \text{ Np} = 13,8 \text{ db}$$

#### II.3.4.3.A) Impedancias de adaptación.

Para el acoplamiento equilibrado a la línea de alta tensión Pucará - Quito se proponen los siguientes valores medios para las impedancias de diseño (16):

acoplamiento a 2 fases, conductor de A.T. simple (no en -  
haz) 700 ohmios;

acoplamiento a 1 fase, conductor de A.T. simple (no en -  
haz) 400 ohmios.

Para el equilibrio de los cables de alimentación de frecuenci  
as portadoras, se podrá contar, según el producto, para:  
cables asimétricos (cable coaxial) con 75 ... 125 ohmios.

#### II.3.4.3. B) Reactancias de las estaciones de alta tensión.

Como guía se anota que la reactancia hasta 150 KHz es pre

dominantemente capacitiva; (rango usual 0,5 ...10 pF); sobre los 150 KHz , aproximadamente, pueden aparecer zonas de resonancia (resonancia en serie o en paralelo) originadas principalmente por barras largas abiertas - en sus extremos y por transformadores de poder, de modo que la reactancia puede variar entre inductiva y capacitiva.

#### II.3.4.4. Arreglo del Sistema de Comunicación por O.P. para el Proyecto Pisayambo.

##### II.3.4.4. A) Generalidades

El sistema de comunicación por O.P. servirá para establecer un medio de transmisión y recepción de voz, de señales de relés de protección, control supervisor e información de telemida entre las estaciones.

En la operación de la línea Pucará - Quito, los tonos de relés de protección serán transmitidos sobre el canal de O.P. entre los terminales de la línea proveyendo información de apertura de los interruptores automáticos para proteger la línea de potencia en caso de falla; para otros problemas del sistema, los canales por O.P. proveerán un rápido medio de comunicación entre las estaciones para coordinar la operación.

##### II.3.4.4. B) Canales y circuitos de acople de O.P. para protección y comunicaciones.

En razón de las previsiones de operación actual y futura

del sistema, según esquema unifilar del mismo, ( ver Fig. No 9 Cap. I ), y en vista de la importancia y alta seguridad del suministro de energía al principal centro de carga, Quito, se ha determinado proveer 2 canales duales de O. P. en cada dirección entre Quito y Pucará utilizando el acoplamiento fase-fase; un canal en cada dirección entre Pucará y Ambato y un canal en cada dirección entre Quito e Ibarra (futuro) con acoplamiento fase - tierra. Para la línea Pucará - Quito, un tono de relés de protección será transmitido por cada canal , dando completa duplicación de los canales de relés de protección.

También se ha previsto la instalación de un puesto central, Quito, que enviará señales de control remoto a Pucará, Ambato e Ibarra (futuro) y que recibirá de estas localidades información de indicación de equipos , alarma y datos de teledada. Todas las estaciones deberán tener comunicación de voz entre ellas para para ser usada por el personal de operación del sistema en asuntos de administración y operación misma del sistema; las señales de relés de protección de la línea de potencia llegará también a todas las estaciones. Para este fin en cada estación se debe instalar una central telefónica con funciones de servicio interno, servicio urbano y servicio teleselectivo con red propia, que permitirá alcanzar números internos de o

tras localidades rápida y automáticamente, aún sin intervención de operadores intermediarios.

II.3.4.4. C) Equipos necesarios para el Sistema de Comunicación por O.P.

El Sistema de Comunicación por O.P. sobre líneas de alta tensión comprende, según se describió en la sección II.3.2., dos partes principales de equipos: el equipo de ondas portadoras (O.P.) y el equipo de acoplamiento a la línea.

El equipo de O.P. acoge los varios tonos y señales de voz y los traslada a más alta frecuencia y potencia para transmitirlos sobre la línea de alta tensión hasta el terminal remoto, donde las señales de alta frecuencia son recibidas y convertidas a su baja frecuencia y nivel de potencia originales.

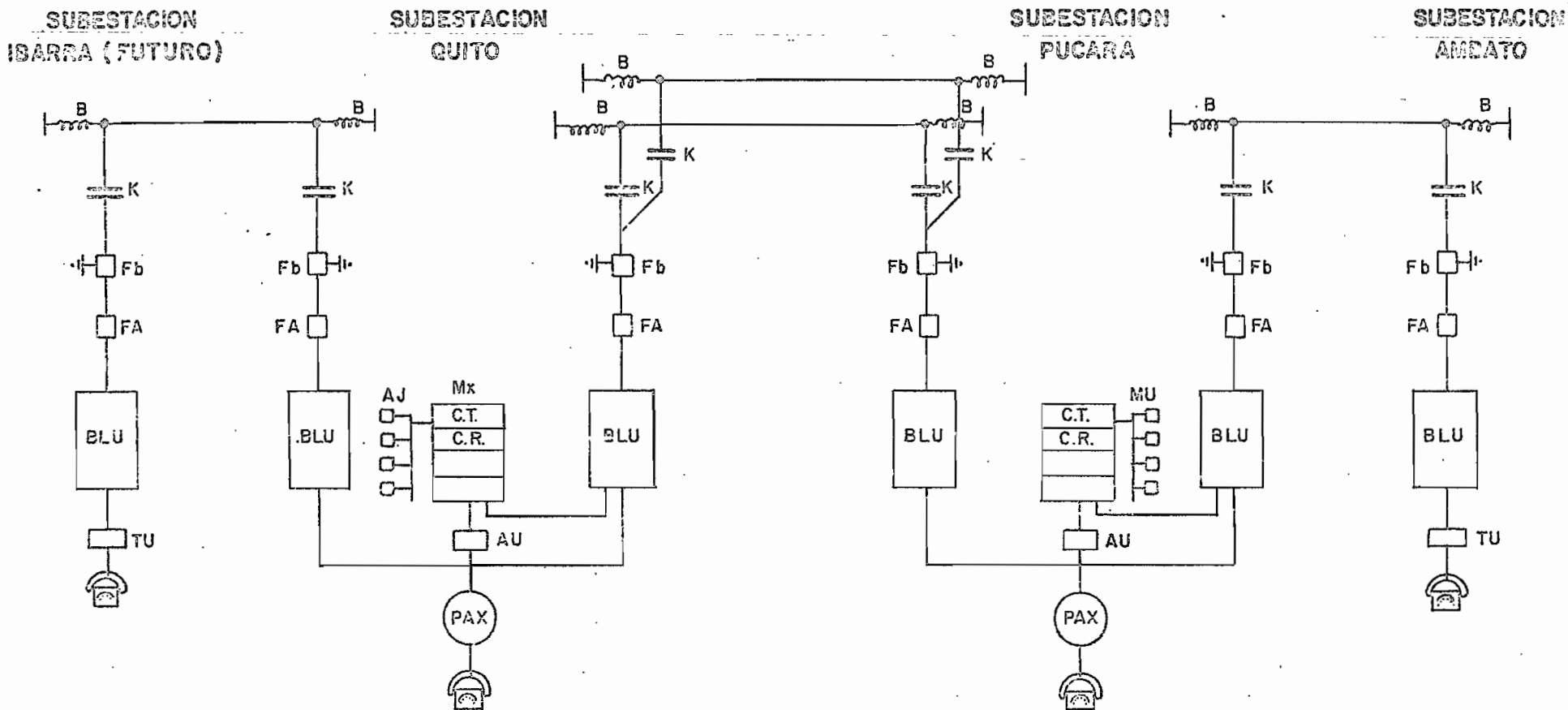
El equipo de acoplamiento consiste de las trampas de línea, los condensadores de acoplamiento y las unidades de adaptación a la línea que proveen los medios para conectar y adaptar en forma segura las señales de alta frecuencia a la línea de transmisión de alta tensión.

Un diagrama de bloque del sistema de comunicación por ondas portadoras para las estaciones de Ibarra, Quito, Pucará y Ambato se muestra en la Fig.No 32.

II.3.4.5. Plan de frecuencias.

En base a la configuración de la red y a las necesidades

## ESQUEMA DE COMUNICACION POR ONDAS PORTADORAS PARA SISTEMA PISAYAMBO



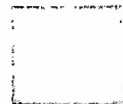
### LEYENDA

**B** : Bobina de bloqueo (Trampa de onda)  
**K** : Condensador de acoplamiento  
**Fb** : Filtro de bloques (Protector)  
**FA** : Unidad de acoplamiento  
**BLU** : Equipo de O.R. de banda lateral unica  
**TU** : Selector de comunicaciones

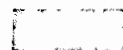
**AU** : Selector de conferencia  
**PAX** : Central telefónica automática  
**CT.** : Canal telemetria  
**C.R.** : Canal relés  
**A.J.** : indicador de medida  
**M.U.** : Convertidor de medida

PROYECTO PISAYAMBO - PLAN DE FRECUENCIAS

PARA SISTEMA DE COMUNICACION POR ONDAS  
PORTADORAS



TRANSMISOR - 8KHZ - ANCHO BANDA DE TODOS LOS  
CANALES



RECEPTOR

- 4KHZ - CONTROL SUPERVISION Y TONOS  
FUTUROS

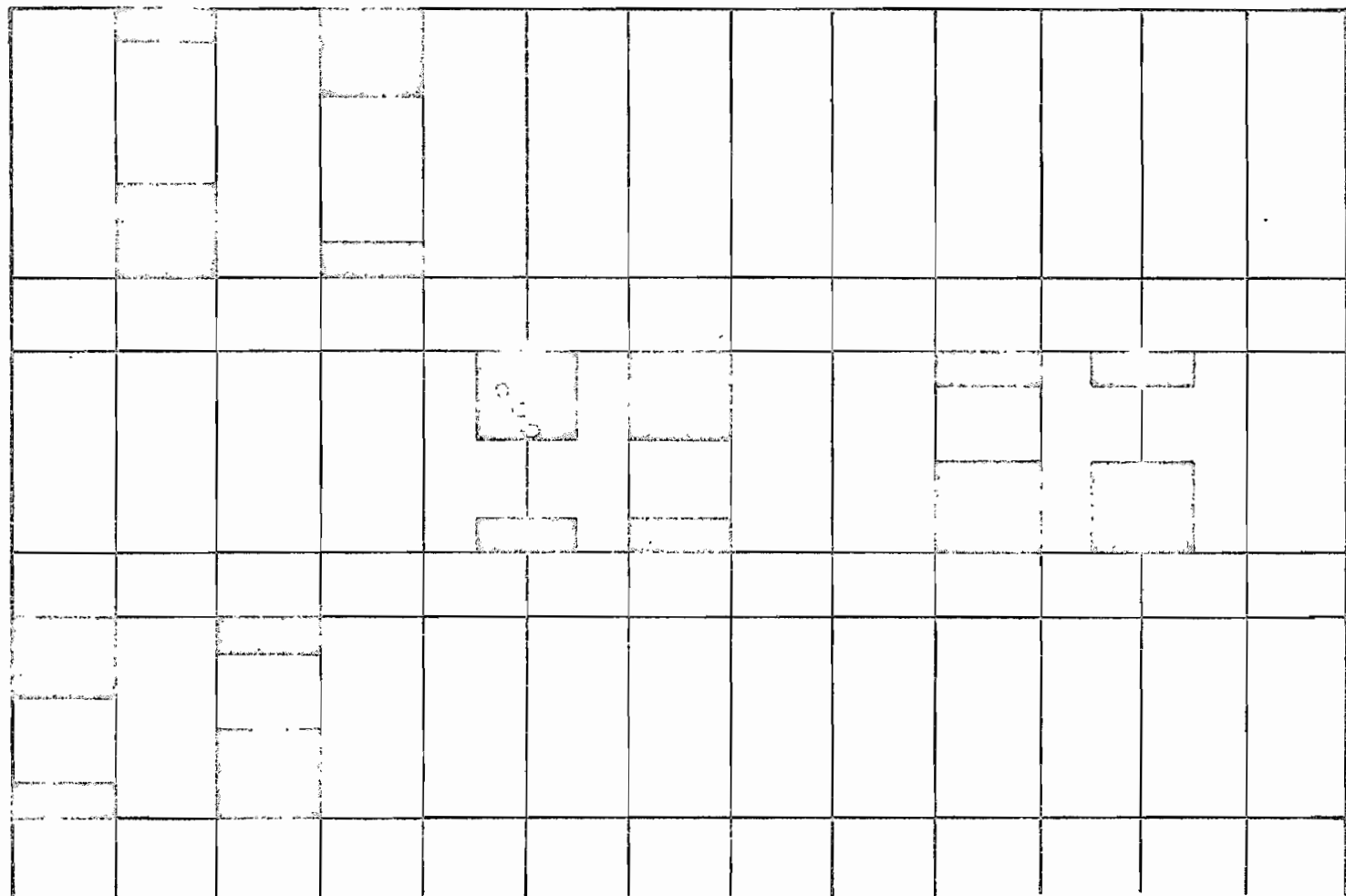
- 4KHZ - VOZ Y TONOS DE TELEPROTECCION

IBARRA  
SUR

NORTE  
QUITO  
SUR

NORTE  
PUCARA  
SUR

NORTE  
AMDATO



92 100 108 116 124 132 140 148 156 164 172 180 188 196

FRECUENCIA EN KILOHERTZ



la Fig. No 34, en donde la combinación de 2 bandas de frecuencia de 4 KHz que permitirá la ampliación fuku-  
ra de tonos, conforma una banda de 8 KHz , desde 12 a  
20 KHz.

La frecuencia de voz (300-2200 Hz), los tonos de protec-  
ción por relés (2,4-3,4 KHz)y los tonos de señalización  
y piloto (3825 Hz) forman una señal compuesta en la ban-  
da de 0-4 KHz. Esta banda de frecuencia a través de  
un canal modulador se traslada a la banda de 16 a 20 KHz.

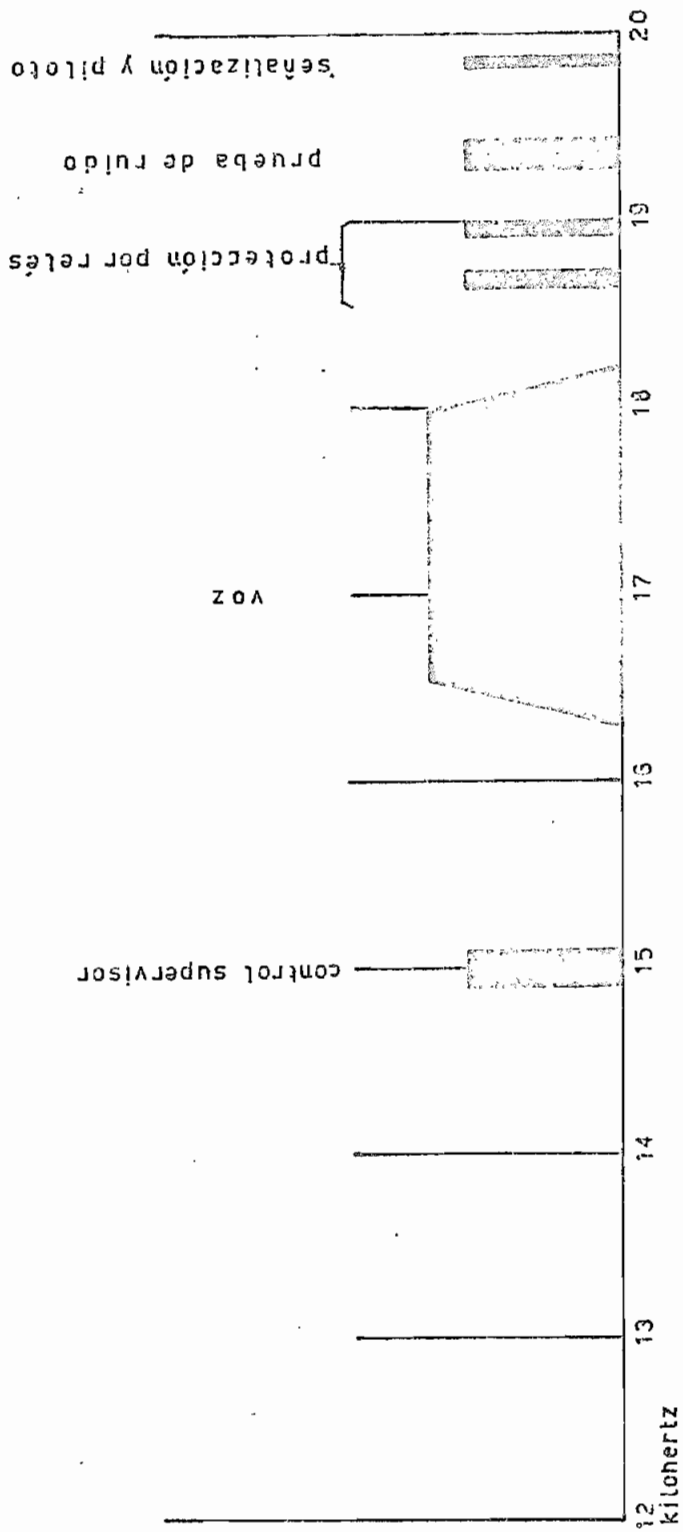
Una segunda banda de frecuencias adyacente a la anterior  
se usa para los tonos de supervisión y se extiende desde  
12 a 16 KHz. El tono de supervisión se genera a 15 KHz  
y así no requiere traslado.

La banda de señal de información descrita (12-20 KHz) es  
obtenida en forma similar en todos los terminales de O.P.  
del sistema.

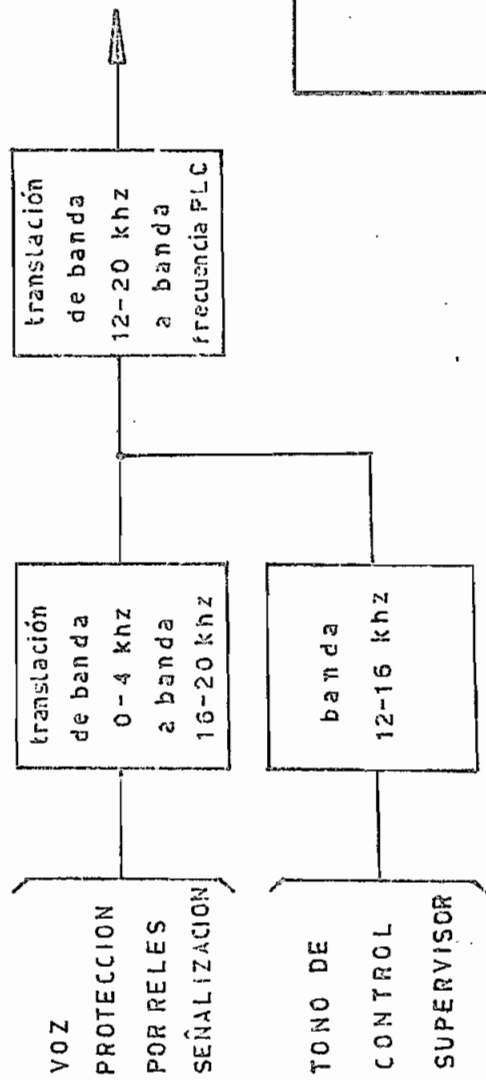
Esta misma banda es aplicada a otro canal modulador y  
trasladada al canal de frecuencia deseado en la banda de  
92 a 184 KHz de la O.P. (19)

#### II.3.4.6. Clase de equipos de O.P. y niveles de potencia de opera- ción.

Los equipos de comunicación por O.P. a usarse serán  
de banda lateral única (BLU), capaces de entregar 20 W  
mínimo de salida a las frecuencias portadoras. Bajo con-  
diciones de operación normales la potencia de salida será  
repartida entre las varias señales en el canal y la canti-



LOCALIZACION RELATIVA DE VOZ Y TONOS DENTRO DE UN ANCHO DE BANDA DE 8 KHZ



UTILIZACION DEL PLAN DE  
FRECUENCIA DE 8 KHZ PARA  
COMUNICACION POR ONDAS  
PORTADORAS

dad de potencia asignada a cada señal será seleccionada para proveer una operación adecuada del sistema y una razonable relación señal a ruido.

Así para transmisión de voz, la separación del nivel de señal y de ruido exterior, se recomendó en 4 Np; la señal será atenuada en la línea y el acoplamiento en 1,754 Np (del cálculo hecho en sección II.3.4.2.B); si la potencia usada en el canal de voz fuera de 11 W., que expresada en Np es:

$$\frac{1}{2} \ln \frac{11 \text{ W}}{1 \text{ mW}} = 4,76 \text{ Np},$$

y, si de este valor se restan las pérdidas en la línea, resulta:

$$4,76 \text{ Np} - 1,754 \text{ Np} = 3,006 \text{ Np}$$

valor que da aún un buen nivel de relación señal a ruido.

Las varias señales que estarán presentes en el canal de O.P. entre Pucará - Quito con su nivel de potencia normal se indican a continuación:

Señal	Frecuencia	Ancho de banda	Potencia normal
Voz	300 - 2200 Hz	1900 Hz	11 W
Protección N°1	2635 ± 85 Hz	170 Hz	3,5 W
Protección N°2	2975 ± 85 Hz	170 Hz	3,5 W
Señalización y tono piloto	3825 ± 40 Hz	80 Hz	1 W
Control de supervisión	15 KHz ± 160 Hz	320 Hz	1 W

## II.3.5. Equipos Principales

### II.3.5.1. Condensador de acoplamiento.

De acuerdo al voltaje nominal de las especificaciones de diseño (150 Kv) y la tensión de prueba de impulso para los equipos de poder del Proyecto Pisayambo (750Kv), de las tablas normalizadas para condensadores de acoplamiento, tanto de Brown Boveri, como de General Electric, se tiene los siguientes valores:

capacidad nominal	4300 pf
nivel onda impulso (BIL)	750 Kv
frecuencia	60 Hz

El condensador tendrá divisor de potencial con relación 700: 1 y 1.200: 1 para dar 115 voltios secundarios, tensión a utilizarse en equipos de protección ó medida.

El margen de frecuencia para comunicaciones por onda portadora es de 20 a 500 KHz, pero para el presente proyecto se usará en el rango de 90 a 200 KHz.

El condensador en la base contiene el filtro de bloqueo, compuesto de: bobina de drenaje, pararrayos o entrehierro de protección e interruptor de puesta a tierra.

La unidad de acoplamiento compuesta del filtro de banda sintonizado en la banda de 90 a 200 KHz y del transformador de acoplamiento de impedancia irá también en la estructura de la base del condensador, que será instalado sobre una fundación.

### II.3.5.2. Trampa de línea o bobina de bloqueo de alta frecuencia

La trampa de línea ó de onda es especificada para la corriente nominal y de cortocircuito de la línea de transmisión Pucará - Quito.

La corriente nominal, de acuerdo a la capacidad inicial de funcionamiento ( año 1976) de 52 MW a F.P. = 0,85, es:

$$I = \frac{52 \times 10^6 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 138 \times 0,85 \text{ V}} = 256 \text{ Amp.}$$

Suponiendo una plena capacidad de conducción de acuerdo a la máxima potencia desarrollada en Pucará (45 MVA por unidad generadora), la corriente será de:

$$I = \frac{90 \times 10^6 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 138 \times 10^3 \text{ V}} = 376 \text{ Amp.}$$

La corriente de cortocircuito, de acuerdo a la capacidad nominal de ruptura de los interruptores de la línea, que es de 3.500 MVA, será de:

$$I_k = \frac{3,5 \times 10^9 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 138 \times 10^3 \text{ V}} = 14,65 \times 10^3 \text{ Amp.}$$

De acuerdo a estos valores y según los estandarizados por los fabricantes de trampas de ondas, se pueden escoger de entre los siguientes tipos:

SIEMENS      In            : 400 Amp.  
                   Ik (1 seg) : 16 KAm.  
                   Inductancia: 0,5 mH.

General Electric In : 400 Amp.  
 Ik (2 seg) : 15 KAmP.  
 Inductancia: 0,35 mH.

Los circuitos de sintonización tendrán el ancho de banda de 90 - 200 KHz y de acuerdo a la fabricación, este ancho de bando es una función de la inductancia y la impe-dancia específica de la trampa. La fórmula que los rela-ciona es:

$$\text{ancho de banda (KHz)} = \frac{8,93 F_m^2 \times L_p}{R}$$

donde:

Fm es la frecuencia central KHz ( $F_m = \sqrt{F_1 \times F_2}$ )

Lp = inductancia de la bobina principal

R = resistencia en ohmios del sintonizador

### II.3.5.3. Equipos de comunicación por O. P.

Como se indicó en la sección II.3.4.6. el equipo de O. P. será para transmisión en banda lateral única (con porta-dora suprimida), con un nivel de potencia de transmisión mínimo de 20 W (+ 43 db), plenamente transistorizado ; debe operar en la frecuencias de 90 - 200 KHz y de acuer-do a las localizaciones determinadas en el plan de fre - cuencias Fig. No 33.

Tendrá previsión de alimentación de voltaje d.c. y más accesorios propios para su funcionamiento.

En las subestaciones de Quito y Pucará, para proveer los canales necesarios tanto de comunicación de voz (centra - le telefónica), control, señalización, alarma, telemedi-

da y protección será necesario un equipo Multiplex de hasta 24 canales que dará un amplio margen de crecimiento futuro para la operación del Sistema Nacional Interconectado, aunque de comienzo solo se ocupe parte de estos canales

### II.3.6. Costo estimativo de equipos.

De acuerdo a la descripción de equipos principales que han sido determinados para lograr el enlace por ondas portadoras con fines de utilización para comunicaciones y protección de la línea Pucará - Quito y tomando como base de costo (100%) un valor de equipo significativo, se muestra a continuación un precio estimativo para 1975 de dicha instalación (22), tomando de la Fig. No 32, como base para la determinación de la cantidad de equipos solo los correspondientes a las subestaciones de Pucará y Quito para fines de comparación con el enlace por micro-ondas.

Descripción	Costo Unitario y en % del costo base		Cantidad	Costo total \$x1.000
	\$x1.000	%		
Equipo de onda portadora de BLU: nivel de potencia de amplificador 20W (+43db), rango de frecuencia 90-200KHz para el plan de frecuencia según Fig. N°33, totalmente transistorizado.	185	100	2	370

Equipo multiplex para 24 canales, transistorizado.	775	420	2	1.550
Canales para relés de protección (para comparación de fase dual) (transmisor-receptor)	89	48	2	178
Condensador de acoplamiento (2/terminal)	76(2)	41(2)	4	304
Bobinas de bloqueo de alta frecuencia (trampas de onda) 400A., 16KA de corriente c.c. y 0,235 mH(2/term.)	60(2)	32,5(2)	4	240
Filtros de acoplamiento para adaptación de impedancia de la línea de transmisión con los equipos de onda portadora de R.F, para servicio a la intemperie	15	8,1	2	30
Descargadores de alta tensión (2/terminal)	5(2)	2,7(2)	4	20
Cable de radio frecuencia balanceado especial para interconexión de equipos de O. P. con sistema de acoplamiento en las subestaciones (60 m. por terminal)	4,8	2,6	2	9,6
Costo total por terminal	1.350,8	731,1		
Costo total de la instalación .....				2.701,6



## II.3.7. Operación de la Protección.

### II.3.7.1. Generalidades

De acuerdo al sistema de protección dispuesto para la línea de transmisión Pucará - Quito con relés de distancia para fallas de fase y de tierra (21/21N), según se vé del esquema unifilar mostrado en la Fig. No 35, y para determinar el tipo y cantidad de relés junto con el arreglo operacional que debe usarse para su aplicación al canal de ondas portadoras, se han analizado las características de la línea de transmisión Pucará-Quito así como las condiciones de operación previstas para el Sistema Pisayambo.

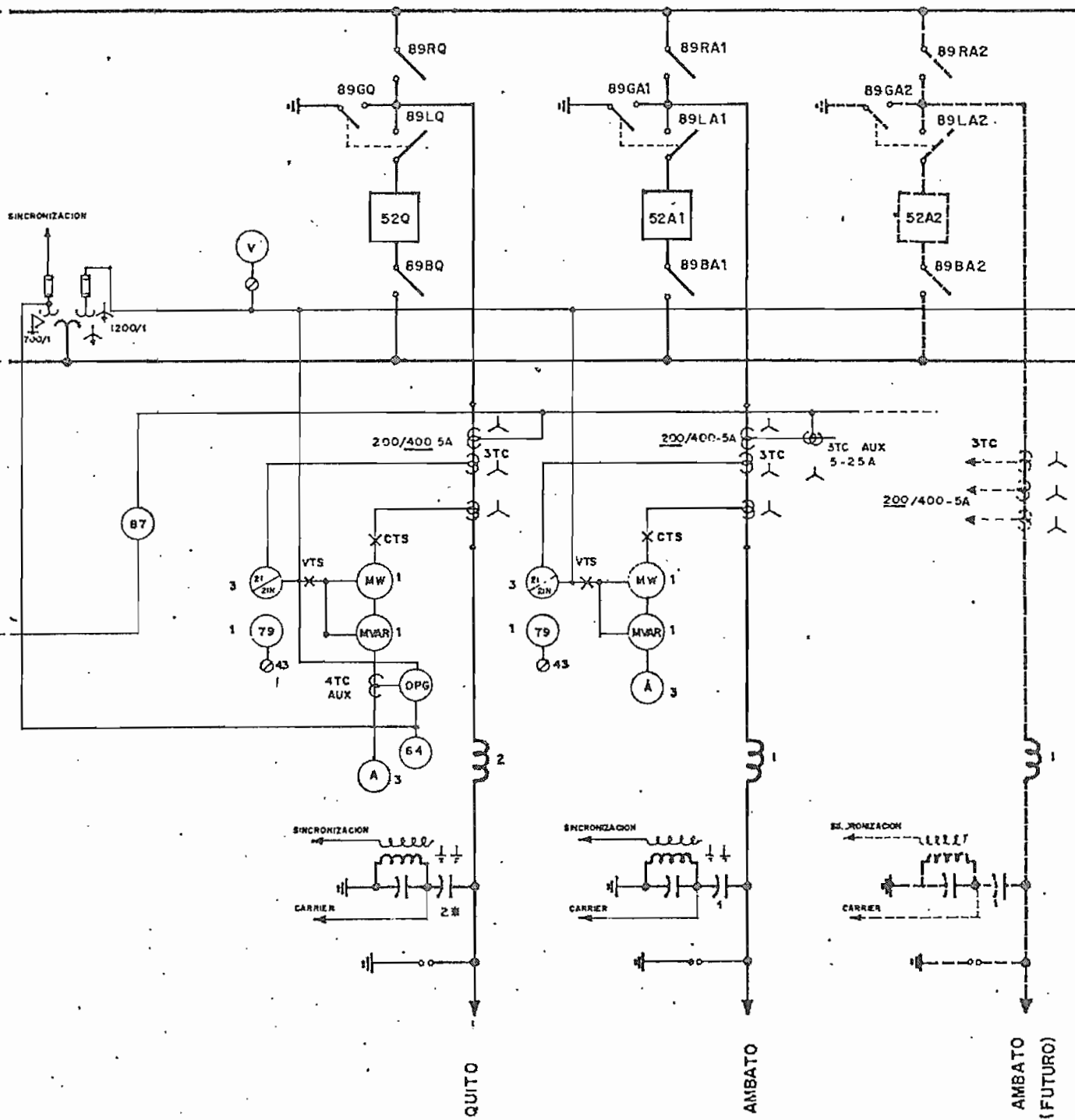
Entre las principales consideraciones se anotan las siguientes:

a) La línea de transmisión Pucará - Quito será de un solo circuito trifásico con hilo de guardia; en la subestación de elevación de Pucará, el lado primario de los transformadores tiene conexión estrella con el neutro puesto a tierra directamente y se hallan detrás de las barras de salida de la línea de transmisión, de tal manera que los transformadores no se incluyen en la protección de la línea; en la subestación Quito se tienen barras de seccionalización a 138 Kv; esta subestación tendrá tres terminales adicionales, dos de ellos para empalmar con las subestaciones de la Empresa Eléctrica Quito S.A. y

Proyecto Pisayambo.  
Subestación Pucará

Fig. Nº 35

DIÁGRAMA UNIFILAR



uno (futuro) para la interconexión con la subestación de Ibarra; en esta últimas subestaciones los transformadores de bajada tienen su lado primario con conexión es trella y neutro puesto a tierra directamente.

b) La línea de transmisión Pucará - Quito puede considerarse como una línea no compensada, pues aunque del estudio de flujo de carga realizado por INECEL para el Sistema Pisayambo (ver abajo cuadro de resultados ) se desprende que para las condiciones iniciales de opera ción (año 1976) hay necesidad de entregar en Quito 30 MVAR sea por generación de centrales o por condensado res estáticos que se ubicarán en la subestaciones, a fin de obtener un mejoramiento en la regulación del voltaje, sin embargo esta compensación con condensadores en se rie estará en las barras de 46 Kv (en subestaciones de la Empresa Eléctrica Quito S.A.) de manera que la lí nea de transmisión desde Pucará hasta la Subestación Quito puede considerarse como línea no compensada.

---

ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA PARA CONDICIONES  
INICIALES DE FUNCIONAMIENTO (AÑO 1976)

Condiciones de carga:

En Quito se entregará	52 MW. a F.P.0,85 induct.
En Amtato se entregará	11,3 MW. a F.P.0,80 induct.
En Latacunga se entregará	6,5MW. a F.P.0,80 induct.

### Resultados

Los valores de voltajes , en porcentaje son los siguientes:

	Barra	V (%)
Quito	(46 Kv)	98,5
Ambato	(69 Kv)	98,2
Latacunga	(13,8 Kv)	98
Pucará	(138 Kv)	105,2

Para obtener estas condiciones de voltajes es necesario generar en Quito una potencia reactiva de 30 MVAR y en Latacunga 4,4 MVAR , los cuales deben ser entregados al sistema, sea por generación de centrales o por condensadores estáticos que se ubicarán en dichas subestaciones.

La posición de los taps de los transformadores es la siguiente:

Pucará	105	%	
Ambato	97,5	%	
Latacunga	102,5	%	
Quito	100	%	(26)

c) Para líneas de transmisión en sistemas interconectados la práctica corriente es usar un solo recierre inmediato (24) y de acuerdo a los estudios de estabilidad del Sistema Pisayambo (26) se tiene que por la existencia de una sola terna entre Pucará y Quito hay inestabilidad en el sistema para una falla de tipo trifásico ya que se elimina la transfe

rencia de potencia entre estos puntos. La condición de falla trifásica ha sido analizada al comienzo de la línea Pucará - Quito y cuando esta transporta su máxima carga (52 MW) . Aún con la condición de fallas monofásicas en el mismo lugar y con apertura y recierre trifásicos (apertura en 4,5 ciclos y recierre en 10 ciclos ) se tiene como resultado la inestabilidad en el sistema.

La condición para obtener estabilidad en el sistema con falla monofásica ha sido establecer apertura y reconexión monofásica , aún con tiempos de operación relativamente altos, del orden de 6 ciclos para apertura del interruptor y 18 ciclos (0,3 seg.) para su recerrado. La Fig. No 36 muestra estos resultados.

d) Será necesario proveer una protección de distancia escalonada para hacer posible una protección propiamente coordinada del sistema. La seguridad en la operación de este sistema de alta tensión conduce también a la provisión de protección de respaldo de alta velocidad y selectiva, lo que se consigue con un esquema de respaldo local a más del esquema de respaldo remoto.

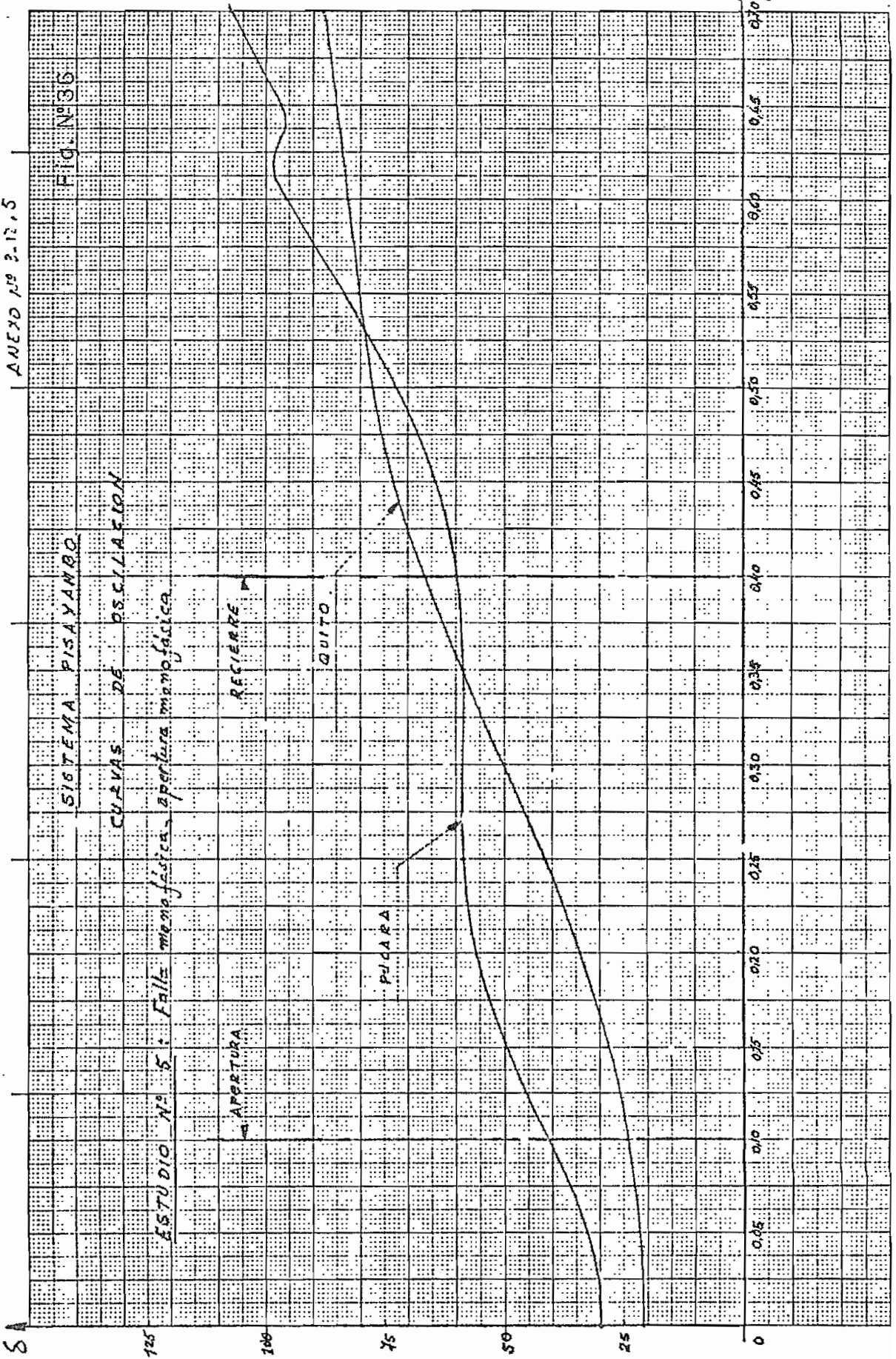
De acuerdo con la moderna filosofía en protección por relés , se recomienda la instalación de relés de protección primaria y de respaldo con transformadores de corriente separados.

Por el costo no es usual duplicar también los transformadores de potencial, sin embargo cuando se usa relés de

SISTEMA PISA YAMBO

CURVAS DE OSCILACION

ESTUDIO Nº 5: Falta momentánea de potencia



distancia de tierra se puede separar colocando a un devanado secundario los relés de protección primaria de fase y de tierra y, a un devanado terciario, los relés de protección de respaldo de fase y de tierra.

Con respecto a los circuitos de control de corriente directa es práctica común separar eléctricamente la operación primaria y de respaldo para evitar que una falla en estos circuitos anule toda la protección (28) .

e) Puesto que la señal de O.P. es transmitida por la misma línea protegida, puede no siempre haber completa seguridad que la señal llegue desde un terminal a otro cuando la falla está presente en el mismo camino de la señal de O.P. de la sección protegida; por esta razón el canal de protección por O.P. es más conveniente que se use como un piloto de bloqueo para la protección de la línea de transmisión, donde la señal de O.P. se transmite para - bloquear la apertura de interruptores en caso de fallas externas a la línea protegida (28).

#### II.3.7.2. Esquema de protección por relés.

Las protecciones por comparación direccional y comparación de fase se aplican normalmente sobre canal piloto de ondas portadoras, como piloto de bloqueo; para la línea Pucará- Quito se ha escogido la protección por comparación direccional pues proporciona protección de respaldo local y remoto (a líneas adyacentes y barras), lo que no lo hace la protección por comparación de fase; también

la comparación direccional es capaz de operar con corrientes más pequeñas de falla a tierra .

Estas cualidades que dan mayor seguridad de operación, despreciando cualquier desventaja económica en relación al equipo de comparación de fase , indujeron a escoger la protección por comparación direccional para la línea Pucará - Quito (25) (28).

### II.3.7.3. Características y tipos de relés a usarse.

Los relés de distancia, de acuerdo a las anotaciones de la sección II.3.7.1.C, se usan en líneas de transmisión para protección primaria y de respaldo en fallas de fase , cuando no es necesario el recierre automático de alta velocidad para mantener la estabilidad y donde puede tolerarse la corta acción retardada para fallas en el extremo de la zona. También para fallas de tierra se está usando cada vez más los relés de distancia .

Los relés de distancia, como característica principal, no se ven afectados por los cambios en la magnitud de la corriente de cortocircuito, como los relés de sobrecorriente, y así mismo son menos afectados por los cambios en la capacidad de generación y en la configuración del sistema; , esto porque los relés de distancia logran la selectividad , con base en la impedancia en lugar de basarse en la corriente.

Para protección de fallas de fase en líneas de longitud intermedia, como la línea Pucará - Quito, se ha visto que



es más adecuado el uso del relé tipo de impedancia; el arco de falla lo afecta menos que a un relé mho, aunque más que a un relé de reactancia; así mismo un relé de impedancia es menos afectado por las ondas de potencia de sincronización que un relé de reactancia, aunque lo afectan más que a un relé mho. Si se usa un relé de impedancia modificado, entonces se requerirá una unidad direccional separada.

Para protección de fallas a tierra se prefirió relés de reactancia porque estos no son afectados por las grandes variaciones de la resistencia de falla (27).

Para apertura monopolar de interruptores según la condición de estabilidad de la línea Pucará - Quito el arreglo más simple será el que solo un polo sea abierto y recerrado para una falla de una línea a tierra y los tres polos sean abiertos para otros tipos de falla.

Además si el recierre monopolar no fuera exitoso, todos los tres polos serán abiertos y bloqueados para evitar interferencias inductivas sostenidas en circuitos telefónicos causadas por corrientes de secuencia cero aparecidas en el sistema por la apertura no simétrica del circuito.

Las fallas de fase serán despejadas por los relés de impedancia de alta velocidad que estarán conectados para abrir todos los tres polos de los interruptores; estos relés no son actuados para fallas de una línea a tierra porque el voltaje línea a línea no se anula completamente

por tales fallas.

Las fallas de tierra serán despejadas por los relés de reactancia direccionales de alta velocidad que operarán con voltajes y corriente de secuencia cero porque los relés que operan con voltajes y corrientes de fase no pueden depender de la distinción entre condiciones normales de carga y fallas a tierra de alta resistencia .

Como los relés de tierra de secuencia cero no pueden determinar cual es la fase fallosa, ellos se complementarán con relés selectores de fase para el uso de la apertura monopolar .

#### Equipo terminal:

3 relés de distancia para fallas de fase de 3 zonas:

Zona 1 tipo impedancia (Westinghouse KD)

Zona 2 tipo impedancia (Westinghouse KD)

Zona 3 tipo impedancia modif.(Westinghouse KD-1)

Temporizador para protección de respaldo (Zona 2 y 3)  
(Westinghouse TD-2).

Sistemas de protección para fallas línea a tierra:

1 relé de reactancia (Westinghouse HXS) compuesto de unidades direccionales X1 - X2 - X3 (de 3 zonas de protección).

Unidad instantánea de distancia : de Zona 3 mirando hacia atrás .

Relé selector de fase (Westinghouse HPS)

Equipos auxiliares para onda portadora consistente de:

Relé de recepción RR (Westinghouse)

Relé de alarma AL (Westinghouse)

Unidades auxiliares CSP y CSG (Westinghouse)

Interruptor de doble posición para onda portadora  
(Westinghouse 85-CO)

El relé KD de la Westinghouse posee dos unidades polifásicas que se utilizan para cada una de las tres zonas de protección; una unidad opera en fallas fase-fase, mientras otra lo hace en fallas trifásicas y una o ambas unidades operan en fallas de dos fases a tierra.

#### II.3.7.4. Zonas de protección y calibración de relés.

El esquema unifilar general del Sistema Pisayambo mostrado en la Fig. No 10 del Capítulo I, para fines de determinar las zonas de protección de la línea Pucará - Quito se representa a continuación en la Fig. No 37.

La práctica recomienda ajustar la zona 1 (de alta velocidad) de 80 a 90 % de la longitud de la línea.

La zona 2 se ajusta para proteger más allá del terminal de la línea y ser capaz de funcionar aún en fallas de arco en el extremo de la línea; aún si no se consideran las fallas de arco, se toma en cuenta la tendencia de subalcance por efecto de corrientes intermedias y errores en los datos de ajustes, transformadores de corriente y potencial y relés; se acostumbra conservar el alcance de zona 2 a un mínimo de 20% de la sección de línea adyacente.

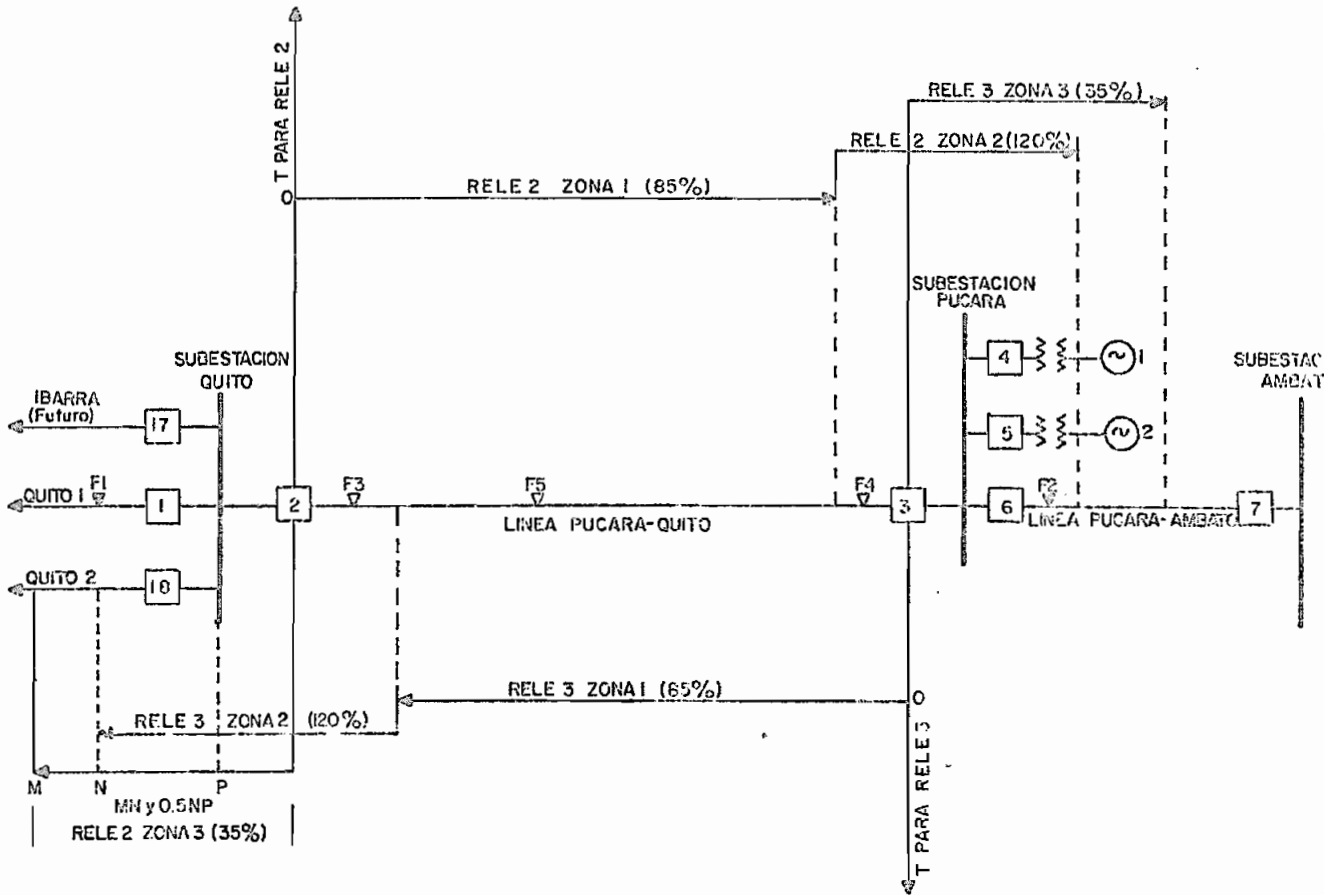


FIG. No. 37 ZONAS DE PROTECCION DE LINEA PUCARA-QUITO

La zona 3 que mira hacia atrás se recomienda que al alcance más allá de la zona 2, al menos en un 50% del alcance de esta zona 2 en la parte externa de la línea.

Para la calibración de los relés de distancia se toma como base la impedancia de secuencia positiva entre la localización del relé y la localización de la falla, más allá de la cual debe detenerse el funcionamiento del re lé.

Los relés de distancia de tierra responden a la impedan cia de secuencia cero.

Las impedancias calibradas o la distancia correspon - diente se llaman "el alcance" o "punto de balance" del relé .

Para la línea Pucará - Quito, la impedancia de secuen - cia positiva y negativa según referencia (26) vale:

$$Z_1 = Z_2 = 2,93 + j 10,83\% \text{ en base de potencia de } 40\text{MVA.}$$

Reduciendo a valor en ohmios:

$$1) \text{ valor en } \% = \text{valor p.u.} \times 100$$

de donde:

$$\text{valor p.u. } Z_1 = Z_2 = 0,0293 + j 0,1083 \text{ en base de } 40\text{MVA}$$

$$2) Z \text{ p.u.} = \frac{\text{Pot. base}}{(\text{volt. base})^2} \times Z \text{ ohmios}$$

de donde:

$$Z \text{ ohmios} = Z_{\text{p.u.}} \times \frac{(\text{Volt. base})^2}{\text{Pot. base}}$$

$$\text{y } Z \text{ ohmios} = (0,0293 + j 0,1083) \times \frac{138^2}{40}$$

$$Z_1 = Z_2 = 13,95 + j 51,56 \text{ ohmios}$$

Para la línea Pucará - Ambato:

$$Z_1 = Z_2 = 4,04 + j 14,75 \text{ ohmios}$$

Para las líneas de empalme desde la Subestación Quito con las subestaciones de la Empresa Eléctrica Quito S.A., considerando una distancia de 10 Km. y con iguales características de construcción que la línea Pucará - Quito: líneas Quito 1 y Quito 2:

$$Z_1 = Z_2 = 1,47 + j 5,42 \text{ ohmios}$$

Las impedancias de secuencia cero valen:

Para la línea Pucará - Quito:

$$R_0 = 18,6 \text{ ohmios}$$

$$X_0 = 196 \text{ ohmios}$$

Para la línea Pucará - Ambato:

$$R_0 = 5,33 \text{ ohmios}$$

$$X_0 = 56 \text{ ohmios}$$

Para las líneas Quito 1 y Quito 2, de acuerdo a las condiciones anteriores, aproximadamente:

$$R_0 = 1,96 \text{ ohmios}$$

$$X_0 = 20,6 \text{ ohmios}$$

El valor de impedancia que sirve de ajuste para el relé de distancia de fase o tierra es un valor de impedancia convertida de primaria a secundaria, a través de la fórmula:

$$Z_{\text{sec.}} = Z_{\text{pri.}} \times \frac{\text{relación de TC}}{\text{relación de TP}}$$

donde la relación de TC (transformador de corriente) es la corriente de fase de alta tensión / corriente de fase del relé; y la relación de los TP (transformador de

potencial) es la tensión fase-fase de la línea/tensión fase-fase del relé; todos en condiciones trifásicas equilibradas.

Estos valores, de acuerdo al equipo especificado para el Sistema Pisayambo (ver Fig. No 35), línea Pucará - Quito, son:

$$\text{TC relación } 400/5$$

$$\text{TP relación } 1.200/1$$

Entonces los valores para ajustar los relés, sin despreciar la resistencia, serán:

Línea Pucará - Quito:

$$Z1 \text{ sec.} = Z2 \text{ sec.} = (13,95 + j 51,56) \times \frac{400/5}{1.200/1} \text{ ohmios}$$

$$Z1 \text{ sec.} = Z2 \text{ sec.} = 0,93 + j 3,44 \text{ ohmios}$$

$$Z0 \text{ sec.} = 1,24 + j 13,0 \text{ ohmios}$$

Línea Pucará - Ambato:

$$Z1 \text{ sec.} = Z2 \text{ sec.} = (4,04 + j 14,75) \times \frac{400/5}{1.200/1} \text{ ohmios}$$

$$Z1 \text{ sec.} = Z2 \text{ sec.} = 0,269 + j 0,983 \text{ ohmios}$$

$$Z0 \text{ sec.} = 0,355 + j 3,733 \text{ ohmios}$$

Líneas Quito 1 y Quito 2:

$$Z1 \text{ sec.} = Z2 \text{ sec.} = (1,47 + j 5,42) \times \frac{400/5}{1.200/1} \text{ ohmios}$$

$$Z1 \text{ sec.} = Z2 \text{ sec.} = 0,098 + j 0,362 \text{ ohmios}$$

$$Z0 \text{ sec.} = 0,13 + j 1,374 \text{ ohmios}$$

Valores de calibración de relés de distancia de fase:

Subestación Quito - Relés de interruptor [2]

Zona 1 (85%)	0,79 + j2,924 ohmios
Zona 2 (100% + 20% próx.secc.)	0,983 + j3,634 ohmios
Zona 3 (35% sección atrás)	0,034 + j0,126 ohmios

Subestación Pucará - Relés de interruptor [3]

Zona 1 (85%)	0,79 + j2,924 ohmios
Zona 2 (100% + 20% próx.secc.)	0,95 + j3,51 ohmios
Zona 3 (35% sección atrás)	0,0942 + j0,344 ohmios

Valores de calibración de relés de distancia de tierra:

Son relés de reactancia , por lo tanto se desprecia la componente resistiva .

Subestación Quito - Relés de interruptor [2]

Zona 1 (85%)	j 11 ohmios
Zona 2 (100% + 20% próx.secc.)	j 13,81 ohmios
Zona 3 (35% sección atrás)	j 0,48 ohmios

Subestación Pucará - Relés de interruptor [3]

Zona 1 (85%)	j 11 ohmios
Zona 2 (100% + 20% próx.secc)	j 13,4 ohmios
Zona 3 (35% sección atrás)	j 1,306 ohmios

Los relés cerrarán sus contactos inmediatamente si el valor escalar de impedancia o reactancia entre el relé y la falla es menor que el valor para el que está calibrado el relé.



Influencia de la resistencia de falla en la calibración de relés

La resistencia de falla varía con la corriente de falla y con la longitud del arco haciendo que el punto de balance del relé de impedancia varíe si la falla se presenta en su punto de alcance; la longitud del arco se prolonga con el viento.

La resistencia de puesta a tierra de las torres no se toma en cuenta para el caso de la línea Pucará-Quito por tener hilo de guardia en cuyo caso esta resistencia no será vista por los relés. (29)

Para calcular la resistencia de falla, A.R. van C. Warrington (25) propone la siguiente fórmula empírica:

$$R_f \text{ (ohmios)} = 50 \text{ KV/I para calibración instantánea}$$

donde:

KV = tensión nominal del sistema

I = corriente de falla en amperios

Si se supone una falla trifásica en barras de la subestación Pucará, que de acuerdo al estudio de fallas del Sistema Pisayambo (26), se tendrá una corriente  $I = 1.350$  Amperios, la resistencia del arco de falla valdrá:

$$R_f = \frac{50 \times 138}{1.350} = 5,1 \text{ ohmios}$$

y este valor, visto por el relé, será:

$$R_f = 5,1 \times \frac{400^5}{1.200^1} = 0,34 \text{ ohmios}$$

Del diagrama R-X del relé de impedancia de Zona 2 situado en el terminal del interruptor 2 (según fig. N° 37), que se muestra a continuación en la fig. N° 37B, el relé operará si el valor de la impedancia aparente de la falla cae dentro del círculo.

Para la falla supuesta, la impedancia de falla  $Z_f$ , será el vector suma de la impedancia de secuencia positiva de la línea al sitio de la falla,  $Z_1$   $(0,93 + j3,40)$ , más la resistencia de falla,  $R_f$   $(0,34)$ .

De esta forma con el alcance dado para Zona 2 se podrá cubrir perfectamente fallas en barras con resistencia de arco.

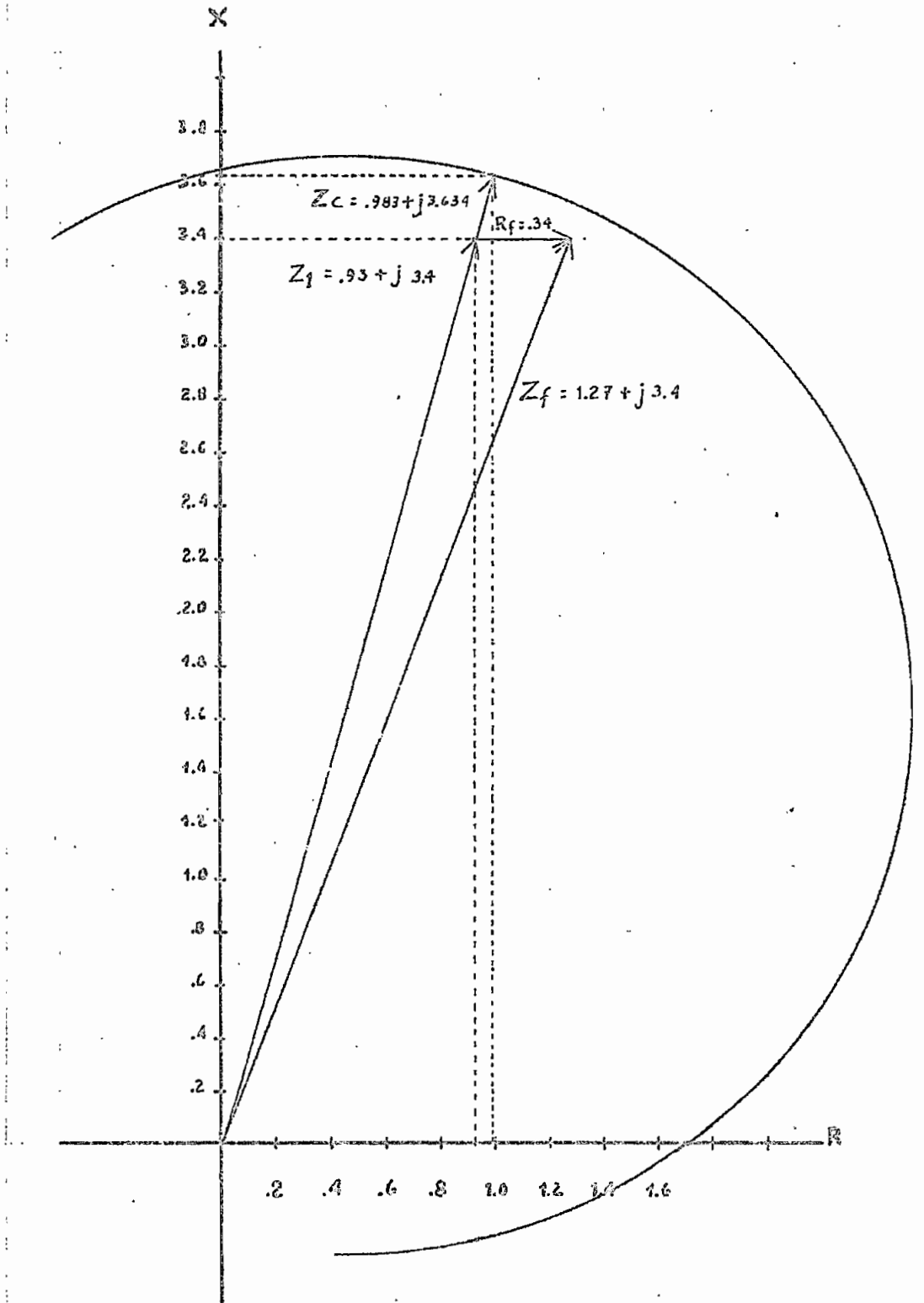


Diagrama R-X de relé de Zona 2 del interruptor [2]

### II.3.7.5. Análisis de un esquema de protección de relés por comparación direccional a través de O.P.

La Fig. No 38 (A y B) indica un diagrama esquemático de protección por comparación direccional a través de canal de O.P. para relés de impedancia tipo KD (Westinghouse) y relés de reactancia de tierra HXS (Westinghouse).

#### Transmisión de señal de bloqueo.

Del esquema Control de O.P. , se vé que tres relés (relés KD-1 de Zona 3) pueden iniciar la transmisión de orden de bloqueo de apertura a los interruptores ubicados en la Sub estación remota ; en efecto las unidades  $Z3(3\phi)$  y  $Z3(\phi\phi)$  miran hacia atrás y operan para fallas de fase externas a la línea protegida; así de la Fig. No 37 para fallas en puntos F1 y F2 se abren sus contactos y desconectan el polo negativo del terminal del control del transmisor, iniciando la transmisión de la señal de bloqueo.

La unidad instantánea de distancia a tierra , Xos, durante fallas a tierra externas a la sección de línea protegida, igualmente abre sus contactos para iniciar la transmisión de señal de bloqueo, de igual manera que los contactos de Z3 con los cuales está conectado en serie, como se muestra en la Fig. No 38 A.

#### Interrupción de la transmisión de señal de bloqueo.

Cuando ocurre una falla interna , por ej. puntos F3 y F4 , la interrupción de la señal de bloqueo se realiza por el cierre de uno de los contactos CSP ó CSG que conectan el

polo negativo de la fuente al terminal del control del transmisor , como se muestra en la Fig. No 38 A .

Estos contactos CSP y CSG son accionados por los relés de control de fallas entre fases y de fallas a tierra respectivamente.

#### Circuito de apertura por onda portadora.

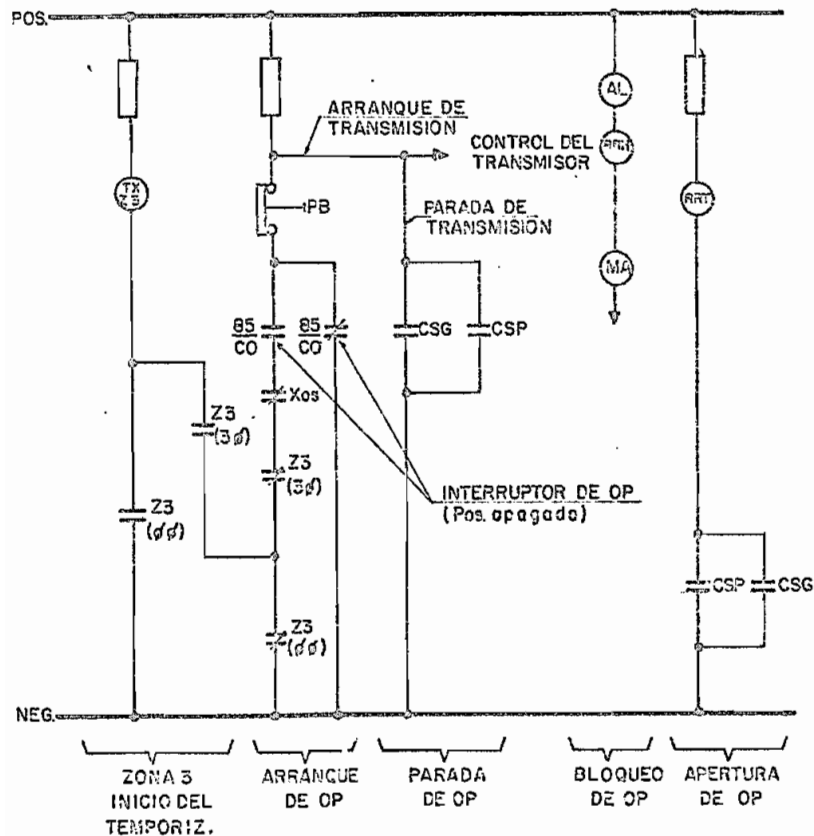
Para fallas de fase , puntos F3 y F4 , el camino de la corriente de apertura va desde el polo positivo a través de los contactos de las unidades  $Z_2(\emptyset\emptyset)$  ó  $Z_2(3\emptyset)$  del relé KD de zona 2; los contactos del interruptor de O.P. , 85-CO; el contacto de supervisión de O.P. , RRP; el contacto de bloqueo para afuera de sincronismo , OS; la bobina del relé de recierre selectivo, SX-O; y de allí a la bobina de apertura del interruptor, 52-TC.

Para fallas de tierra, la corriente de apertura circula desde el polo positivo a través de los contactos Xo y Do del relé de falla a tierra; los contactos 85-CO; el contacto de supervisión de O.P. , RRG; la bobina del relé de recierre selectivo, SX-0 ; y de allí a la bobina de apertura del interruptor, 52-TC.

#### Relé de recepción (RR)

La unidad de recepción RR supervisa la apertura por O.P. RR es una unidad de estructura polar que funciona con corriente continua y que tiene una bobina de retención , RRH, y una bobina para apertura , RRT.

FIG. No 358 RELE DE COMPARACION DIRECCIONAL  
TIPO KD. CONTROL DE OP Y DEL TEM-  
PORIZADOR



ELEMENTO RR  
BOB. DE RETENCION RRH  
BOB. DE APERTURA RRT  
CONTACTOS RRP-RRG

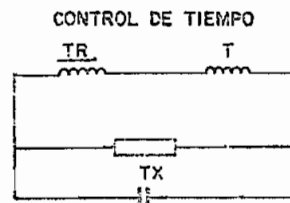
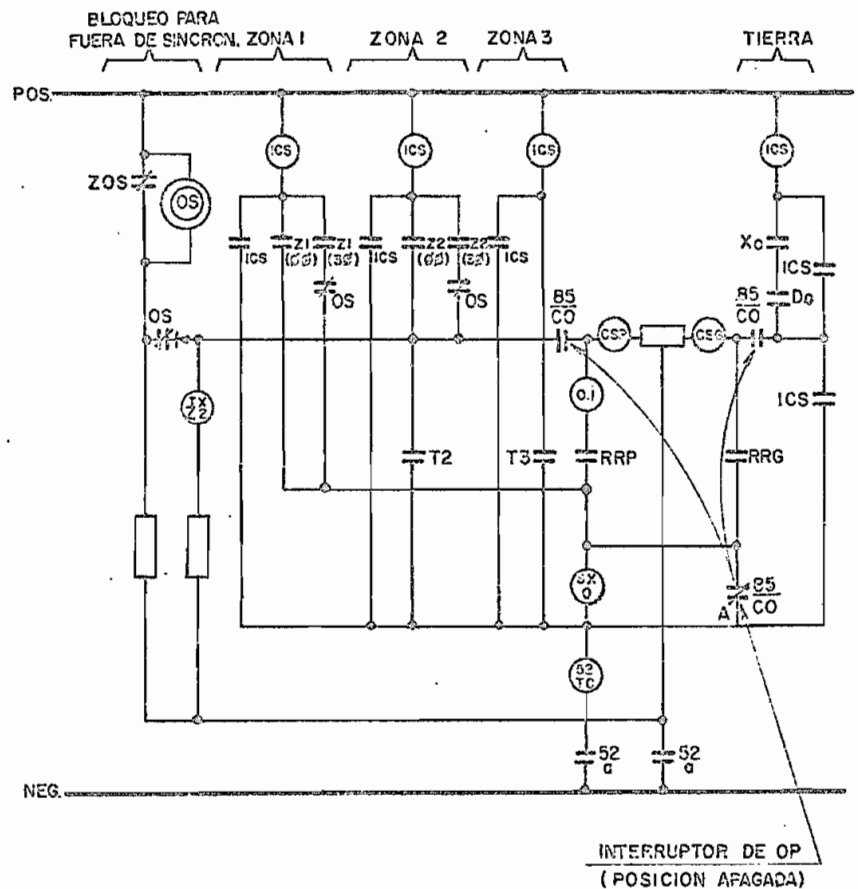


FIG. No 358B RELE DE COMPARACION DIRECCIONAL  
TIPO KD. CIRCUITO DE APERTURA DE  
OP Y DE RESPALDO DE FASE



ELEMENTO TX  
BOBINAS TX-22  
TX-23  
CONTACTO TX

ELEMENTO T  
BOBINA T  
CONTACTOS T2-T3

la bobina CSP que a su vez cierra los contactos CSP para energizar la bobina de apertura RRT (fig. N° 38 A); aún cuando la bobina RRT es energizada, la señal enviada desde el interruptor [3] energiza también la bobina de retención RRH, lo que impide que la bobina RRT haga cerrar los contactos RRT y RRG y así al permanecer abierto el contacto RRP, no se energiza la bobina de apertura 52-TC y se impide la apertura de alta velocidad de la zona 2, permaneciendo los interruptores [3] y [2] cerrados.

Similar operación ocurre para fallas a tierra externas, al otro lado del interruptor [3]. En el interruptor [3], el contacto direccional  $D_O$ , permanece abierto impidiendo la apertura. La señal de bloqueo es enviada cuando el contacto instantáneo de distancia a tierra,  $X_{Og}$ , se abre desconectando el polo negativo del terminal del control del transmisor (fig. N° 38A).

En el interruptor [2],  $D_O$  y  $X_O$  se cierran (fig. N°38B) energizando la bobina CSG que a su vez cierra los contactos CSG y energiza la bobina RRT (fig. N°38A); sin embargo y debido a que también la bobina RRH se energiza por la señal recibida desde el interruptor [3], los contactos RRG permanecen abiertos y la apertura del interruptor [2] no se realiza.

Para fallas de fase internas, por ejemplo puntos  $F_3$  y  $F_4$  de la fig. N°37, los contactos de la zona 2 se cierran en las dos subestaciones, energizando las bobinas CSP (fig. N° 38B).

De la figura N° 38A, se vé que al cerrarse los contactos

CSP en los circuitos de ambos interruptores, se conecta el polo negativo al terminal del control del transmisor impidiendo que haya señal de bloqueo. El otro contacto CSP (fig. N° 38A) energiza la bobina RRT y puesto que no se recibe señal de bloqueo la corriente en la bobina RRT cierra los contactos RRP y RRG y la apertura ocurre a través de la zona 2 y los contactos RRP.

Para una falla interna a tierra, la unidad de distancia instantánea a tierra,  $X_{OS}$ , no abre sus contactos para enviar una señal de bloqueo porque esta unidad mira solo para la sección adyacente; el relé de falla a tierra cierra los contactos CSG asegurando que no haya señal de bloqueo. En todos los siguientes procedimientos las fallas internas a tierra se despejan de la misma forma que las fallas entre fases.

De acuerdo al equipo previsto para el sistema (5) y a los estudios de estabilidad (26) los tiempos de apertura estarán dentro de los siguientes márgenes:

- a) fallas trifásicas, bifásicas máx. 3 ciclos.
- b) fallas línea a tierra, apertura máx. 6 ciclos  
recierre máx. 18 ciclos

#### Recierre monofásico

Cuando ocurra una falla línea a tierra se producirá la apertura del interruptor y un recierre inmediato, en vista de que más del 90% de fallas son de tipo transitorio, de acuerdo a varios datos estadísticos de compañías de fuerza (24) y para mantener la estabilidad como se anota en la sección II.3.7.1.c.



Cuando 52X cierra, se energiza la bobina de cierre del interruptor, 52C; al mismo tiempo se energiza la bobina de operación 79X-0 para abrir el contacto 79X en el circuito de recierre y cerrar el contacto en el circuito del motor 79. De esta forma se produce un recierre único.

Si el interruptor permanece cerrado, luego del recierre, el motor se energizará y después de un intervalo de tiempo preestablecido, su contacto, 79 m. energiza la bobina de parada 79X-R y pone el relé SGR-12 listo para la próxima apertura del interruptor .

Si el cierre no fuere exitoso, el motor no será energizado y todos los 3 interruptores de fases serán abiertos y bloqueados.

Para los recierres de alta velocidad es importante la cantidad de "tiempo muerto" requerido para la desenergización del arco de la falla. Como datos de experiencia (24) se cita a continuación el mínimo tiempo muerto para un recierre exitoso:

Tensión nominal de línea	Mfn. tiempo muerto- en ciclos (base 60 ciclos)	
	95% probabilidad	75% probabilidad
138 KV.	10	7,5

### II.3.8. Protección de reserva o respaldo

La protección de respaldo de fase y tierra es esencialmente la misma que la protección primaria, pero sin utilizar el canal de O.P., de tal manera que si el canal de O.P. está inoperativo su circuito puede abrirse manualmente con el interruptor 85-CO, y la apertura del interruptor prin



De la Sección II.3.6. se tiene para la línea Pucará-Quito con acoplamiento bifásico de ondas portadoras el costo total de la instalación que alcanza al valor de: S/ .2'701.600.

Este sería el costo/canal, para el caso de uso de canal dual, pero si se utiliza el canal dual como medio de aumento de comunicación entre Pucará-Quito el costo/canal baja a la mitad: S/ .1'350.800. De la misma forma cuando se lleguen a utilizar los 24 canales, el costo/canal solo sería de S/ .112.566.

#### II.3.10. Justificación

Los canales pilotos por ondas portadoras y por micro-ondas técnicamente desarrollan igual función y de acuerdo al avance de la tecnología actual uno y otro son confiables y seguros. Cuando la necesidad de un gran número de canales crece con el aumento de complejidad y capacidad de los sistemas de potencia interconectados, entonces se tiende al uso de micro-ondas que tienen más capacidad en bandas de frecuencia. Cuando se requieren muchos canales es innegable su principal ventaja de bajo valor en costo/canal.

Para el Sistema Pisayambo que va a arrancar el Sistema Nacional Interconectado, ya que luego vendrán otros grandes proyectos como Paute, Toachi, Montúfar, Coca, entre los principales, conviene económicamente escoger el canal piloto por ondas portadoras pues su costo/canal es de S/ .2'701.600 en compara-

<sup>x</sup>  
ción del costo/canal obtenido para el canal piloto por  
micro-ondas, que es de \$ 6'610.000 ; sin descartar la  
posibilidad de que cuando crezcan las necesidades de  
comunicación con el crecimiento del Sistema Nacion  
al Interconectado se empiece a utilizar el canal de  
micro-ondas como un medio alternativo de comunicación  
primero y luego para fines de protección como ya se  
lo usa en sistemas de potencia considerables tanto en  
Norteamérica como Europa.

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

## CAPITULO I

### Referencia

- ( 1 ) Proyecto Hidroeléctrico Pisayambo "Suministro de materiales para las líneas de transmisión".  
Especificaciones técnicas contratos P/4/1, P/4/2 y P/4/3 "INECEL" Quito - Ecuador. Mayo 1973.
- ( 2 ) Proyecto Pisayambo - Primera Etapa - " Estudio general del sistema eléctrico" .  
Informe General - Italconsult, Consultores Internacionales, Inconec. Mayo de 1971.
- ( 3 ) EHV Transmission Line - Reference Book - EEI 1968.
- ( 4 ) Power System Transients - Edited by E. Openshaw Taylor
- ( 5 ) Proyecto Pisayambo - Suministro de equipo y Supervisión de Montaje para las Subestaciones - Especificaciones - Técnica - Contrato P/3/4 - Revisado por: Comisión Federal de Electricidad de México, Quito - Ecuador 1971 .

## CAPITULO II

- ( 6 )           Transmission System for Communication.
- ( 7 )           IEEE Electrolatina . Marzo 1972.
- ( 8 )           Power System Communications REa Bulletin 66-2.
- ( 9 )           Handbook for Microwave Path Engineering ~ Prepared  
by Communication Products Department General Elec-  
tric Company.
- ( 10 )          960 MHz Link Evaluation ~  
Cardion Electronics Communications Department.
- ( 11 )          Motorola, Communications Systems .  
Price Guide International 1974.
- ( 12 )          Carrier telephony over High Tension Power Lines.  
Siemens.
- ( 13 )          Electrical Transmission and Distribution.  
Reference Book ~ Westinghouse.
- ( 14 )          Manual Standard del Ingeniero Electricista.  
A.E. Knowlton Tomo II.

- ( 15 ) Transmisión de comunicaciones mediante ondas portadoras por líneas de muy alta tensión.  
Por: Reinhard Bartsch y Gerhard Bergmann .  
Revista Siemens . Febrero 1966.
- ( 16 ) Valores Guía para la Planificación de Comunicaciones de Onda Portadora en Redes de Alta Tensión, e indicaciones para la determinación de las magnitudes características de sus circuitos. (Título del original en Alemán: "Richtwerte Fuer Die Planung Von Traegerfrequenzverbindungen Auf Hochspannungsleitungen Und Angaben Fuer Die Bestimmung Der Kenngrößen Der Leitungen ").  
Autor : Erich Alsleben - Publicación extraordinaria de la revista " Elektrizitäts - Wirtschaft " año 61. Mayo 1962 - Pág. 363 a 373. Traducción de Fernando Kausel B. Enero 1966.
- ( 17 ) Brown Boveri Carrier Equipment used in extra-high-Voltage a.c. system and on d.c. power links, 3260 E-XII 8 (6, 66).
- ( 18 ) Brown Boveri Review Data Processing and Transmission - Mayo / Junio 1965 No. 5/6 Págs. 422 y 439.

- ( 19 )      General Technical Description - Power Line Carrier  
Communication System for Equadorian Institute of  
Electrification Pisayambo Project.  
Prepared by Uni-Tel Limited, Toronto, Canadá.
- ( 20 )      CIGRE Komitee 14, 1960.  
Chevallier . Beama - J. Tomo 60, ( 1953 ) cuaderno 1  
Pág. 21.
- ( 21 )      Equipos de telecomunicación a portadora para líneas  
de alta tensión y sus aplicaciones .  
Siemens.
- ( 22 )      Transmisión de comunicaciones por onda portadora a  
través de líneas de alta tensión. Filtros de bloqueo de  
O.P. para corrientes nominales de 400 A hasta 1600 A.  
Protectores de acoplamiento con interruptor de tierra .  
Filtro de acoplamiento de banda ancha. Descargadores  
de alta tensión .  
Publicaciones Siemens.
- ( 23 )      Red integrada de comunicaciones por O.P. para Sistema  
Regional Sur.  
Preparado por Siemens.



- ( 24 ) Applied Protective Relaying " A New Silent Sentinels"  
Publication Westinghouse 1967.
- ( 25 ) Powe System Stability .  
Kimbark Vol. II
- ( 26 ) Estudio del Sistema Pisayambo.  
Preparado por INECEL - C.F.E.
- ( 27 ) El arte y la ciencia de la protección por relevadores.  
Por C. Russell Mason C.E.C.S. A. 1971.
- ( 28 ) The art of Protective Relaying for EHV Systems; and  
Transmission and Subtransmission Lines .  
By General Electric GET. 7207 y GET. 7206A.
- ( 29 ) Exhibición móvil Westinghouse de equipos de distribu-  
ción .  
Octubre - Noviembre 1966.
-