

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica**



**Estudio de Ingeniería de Enlace OEM  
por Microondas Para la Interconexión de  
Unidades Remotas con Centrales  
Principales de la Red**

**T E S I S**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO ELECTRONICO**

**ROBERTO KUDO HONMA**

**Promoción - 1980 - 2**

**Lima - Perú**

**1986**

*A mis Padres*

*Ricardo y Rosa*

## AGRADECIMIENTO

*Deseo expresar mi gratitud a la Asesoría brindada por el Ing. Percy Fernandez Pilco, en la elaboración de este Proyecto de Tesis.*

"ESTUDIO DE INGENIERIA DE ENLACE PCM POR MICROONDAS  
PARA LA INTERCONEXION DE UNIDADES REMOTAS CON  
CENTRALES PRINCIPALES DE LA RED CPTSA"

Roberto Kudo Honma

Ingeniero Electrónico

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Universidad Nacional de Ingeniería

Lima - Perú, 1985

---

RESUMEN

El Plan de Expansión de 150,000 líneas de nueva tecnología puesto en marcha por CPTSA, comprende principalmente de Sistemas de Comutación Digital que serán instaladas en toda el Area de Concesión, integrando, las - áreas suburbanas de Lima Metropolitana que han tenido un crecimiento explosivo en los últimos años, hacia una participación más activa de la vida económica del país. Estas centrales requieren interconectarse mediante un medio de transmisión confiable y económico o con lo que se decidió la adquisición de sistemas de radioenlaces; se realizaron los estudios - respectivos; en primer lugar para determinar la ubicación física de estas. El análisis de los perfiles de terreno, determinó una buena línea de vista que coincidió con la ubicación de las centrales. Dadas estas - condiciones se calcularon las alturas de las torres, dejando un buen margen, para prevenir contra algunos problemas que surjan de algunas construcciones nuevas en medio de los enlaces.

En este estudio, he creído conveniente incluir el cálculo de equipos para obtener el monto de inversiones a efectuarse en el proyecto, teniendo en cuenta que todos los estudios no alcanzan a tener una buena consistencia si no se incluye la parte económica. El equipamiento consistirá en lo principal de :

Multiplexores numéricos (2/8 Mb/s, 8/34 Mb/s)

Equipo de radio

Equipo de Conmutación Automática

Sistema de Antenas

Equipo de supervisión centralizada

CONTENIDO

	PAG.
<i>Introducción</i>	10
<i>I.- Aspectos Técnicos de la Interconexión</i>	12
1.1.- <i>Comparación con otros sistemas</i>	12
1.2.- <i>Características generales del Sistema de Radio Enlace Digital</i>	13
1.3.- <i>Objetivos de calidad de Transmisión</i>	21
1.4.- <i>Plan de Frecuencias</i>	27
1.5.- <i>Características de las Antenas</i>	27
<i>II.- Estructura de la Interconexión</i>	37
2.1.- <i>Ubicación de las centrales</i>	37
2.2.- <i>Configuración Ramal Norte</i>	38
2.3.- <i>Requerimiento de Sistemas</i>	40
<i>III.- Ingeniería del Proyecto</i>	45
3.1.- <i>Premisas</i>	45
3.2.- <i>Diseño de Ruta de Propagación</i>	45
3.3.- <i>Diseño del Sistema de Antena</i>	54
3.3.1.- <i>Elección de la clase de Antena</i>	54
3.3.2.- <i>Diseño de Reflector</i>	54
3.4.- <i>Evaluación Calidad del Sistema</i>	56
3.5.- <i>Procedimiento de cálculo de calidad</i>	57
3.5.1.- <i>Ecuaciones de cálculo</i>	59

	PAG.
3.6.- Cálculo de c/n requerido	68
3.6.1.- Ecuaciones de cálculo	68
3.6.2.- Factores de degradación	69
3.6.3.- Resultados de los cálculos	70
IV.- Cálculo de equipos	72
4.1.- Equipo Multiplex Digital de segundo orden	72
4.1.1.- Funciones	
4.1.2.- Parámetros del sistema	73
4.1.3.- Especificaciones	74
4.2.- Equipo Multiplex Digital de tercer orden	75
4.2.1.- Funciones	75
4.2.2.- Parámetros del sistema	75
4.2.3.- Especificaciones	76
4.3.- Distribución de los equipos de Interconexión	77
V.- Estudio Económico	90
Conclusiones y Recomendaciones	92
Planos	96
Bibliografía	102

## DESCRIPCIÓN DE PLANOS

- *Area de Influencia O.C. El Parque*
  - *Area de Influencia O.C. Comas*
  - *Area de Influencia O.C. Puente Piedra*
  - *Area de Influencia O.C. Ventanilla*
  - *Area de Influencia O.C. Ancón*
- Plano de Cotas de nivel del Ramal Norte*

## INTRODUCCION

El presente Proyecto de Tesis evalúa la alternativa de dar comunicación a las zonas suburbanas ubicadas dentro del área de conseción de CPTSA mediante el uso de centrales satelites controladas por una central principal y permitir a los pobladores de dichas zonas la facilidad de comunicarse y accesar la Red Local, Red Nacional y Red Internacional usando un sistema de transmisión digital como soporte a las 150,000 nuevas líneas en proceso de ejecución.

Este proyecto será implementado en su mayor parte en la segunda etapa de dicha expansión (120,000 Líneas); las condiciones geográficas, distancias, área de cobertura ha inferido en la elección de un sistema de transmisión que desde el punto de vista técnico-operativo-económico sea el mas apropiado para dar servicio telefónico a dichas zonas. Por tales motivos este proyecto presenta la alternativa de usar un sistema de Radioenlaces Digital por Microondas. De otro lado la utilización de dicho sistema de transmisión nos proporciona ventajas muy significativas sobre otros tipos de sistemas, reflejado principalmente en el aspecto económico, además de evitar los problemas asociados con tender cables de telecomunicaciones debajo de las pistas o calles de la ciudad, ya que la red de radioenlaces puede ser puesta en práctica de manera expedita y no interfiere con la vida normal de la ciudad.

A manera de ilustración en el cuadro N° 1 se observa el porcentaje de atención de demanda del Plan de Expansión. Para efectos del presente estudio, se ha considerado el cálculo de enlaces del Ramal Norte de dicho Proyecto.

CUADRO N° 1

Plan de Expansión 150,000 Líneas

Porcentaje de Atención de Demanda

	1983	1984 (25,000)	1985 (35,000)	1986 (45,000)	1987 (45,000)
Líneas Instaladas	241,000	266,000	301,000	346,000	391,000
% Demanda Atendida	41.8	44	47.4	52	56
Línea/100 Hab.	5.1	5.4	5.9	6.5	7.1
Línea/10 viv.	2.51	2.7	2.95	3.27	3.55
Número Estaciones	361,500	406,500	466,500	526,500	586,500
Estación/100 Hab.	7.65	8.25	9.15	9.9	10.65

## CAPITULO I ASPECTOS TECNICOS DE LA INTERCONEXION

En este capítulo del proyecto, para una mejor comprensión se ha subdividido en varias partes.

### 1.1 Comparación con otros Sistemas:

El área de cobertura extenso y la no existencia de planta externa en dichas zonas, hace necesario evitar por razones económicas el uso de un medio de transmisión vía cable para reducir el costo por línea, considerando que en proyectos de esta naturaleza la inversión sobre la planta externa llega aproximadamente a un 60% de la inversión; este aspecto mencionado descarta la posibilidad de utilizar dicho medio de transmisión.

La utilización de un Sistema Multiplex división por Frecuencia (FDM) requiere un equipo terminal más elaborado y más caro además del uso de filtros pasa banda relativamente complejos por cada canal en el sistema, por el contrario los filtros en un sistema PCM son simples y idénticos para todos los canales; otro aspecto a considerar es el costo de los componentes. El número de semiconductores por canal es mayor en PCM que en FDM, pero los componentes (incluyendo los circuitos integrados) usados en un sistema PCM son del tipo digital, principalmente usados en el campo de los computadores, la cual permite una reducción del costo y mejorar la confiabilidad sobre los mas rigurosos componentes usados en FDM; además que los circuitos digitales necesitan menos pruebas y ajustes durante el proceso de producción que los circuitos analógicos. El resultado de todo lo mencionado es que el precio por canal PCM es más barato que el precio por canal FDM.

Ver figuras N° 1 y N° 2.

### 1.2 Características generales del Sistema de Radioenlace Digital

El Sistema Digital de Microondas se encuentra conformado por el sistema de enlaces Ramal Norte y el Sistema de enlaces Ramal Centro. Para efectuar la transmisión es necesario que el equipo de transmisión se encuentre interconectado con el equipo de conmutación de las nuevas centrales, dicha integración podemos observarla en la figura N° 3, siendo no imprescindible que la torre y la antena estén situados en la parte superior de la oficina central, también pueden estar ubicados a cierta distancia del edificio donde se encuentran los equipos.

La mayoría de las nuevas centrales a implementarse efectuarán una doble función, tendrán una función similar a una estación terminal con sus abonados propios y a una estación repetidora. Dicho tipo de estaciones nos proporcionan la flexibilidad y la facilidad de emplear el método de derivación e inserción (drop-ping/insert).

La utilización de la técnica digital en los enlaces permitirá el uso eficiente de la Banda de RF, porque en estos momentos existen problemas de elegir una adecuada banda de frecuencias sin que esta se encuentre desocupada, esto significa que el uso de estas posibilidades nos proporciona una apertura a frecuencias más altas, lo cual no sería viable en los sistemas FDM-FM; estas posibilidades se manifiestan en una compresión de la ocupación de la señal digital con las siguientes técnicas no convencionales:

# ESTRUCTURA DE UNA CENTRAL TELEFONICA

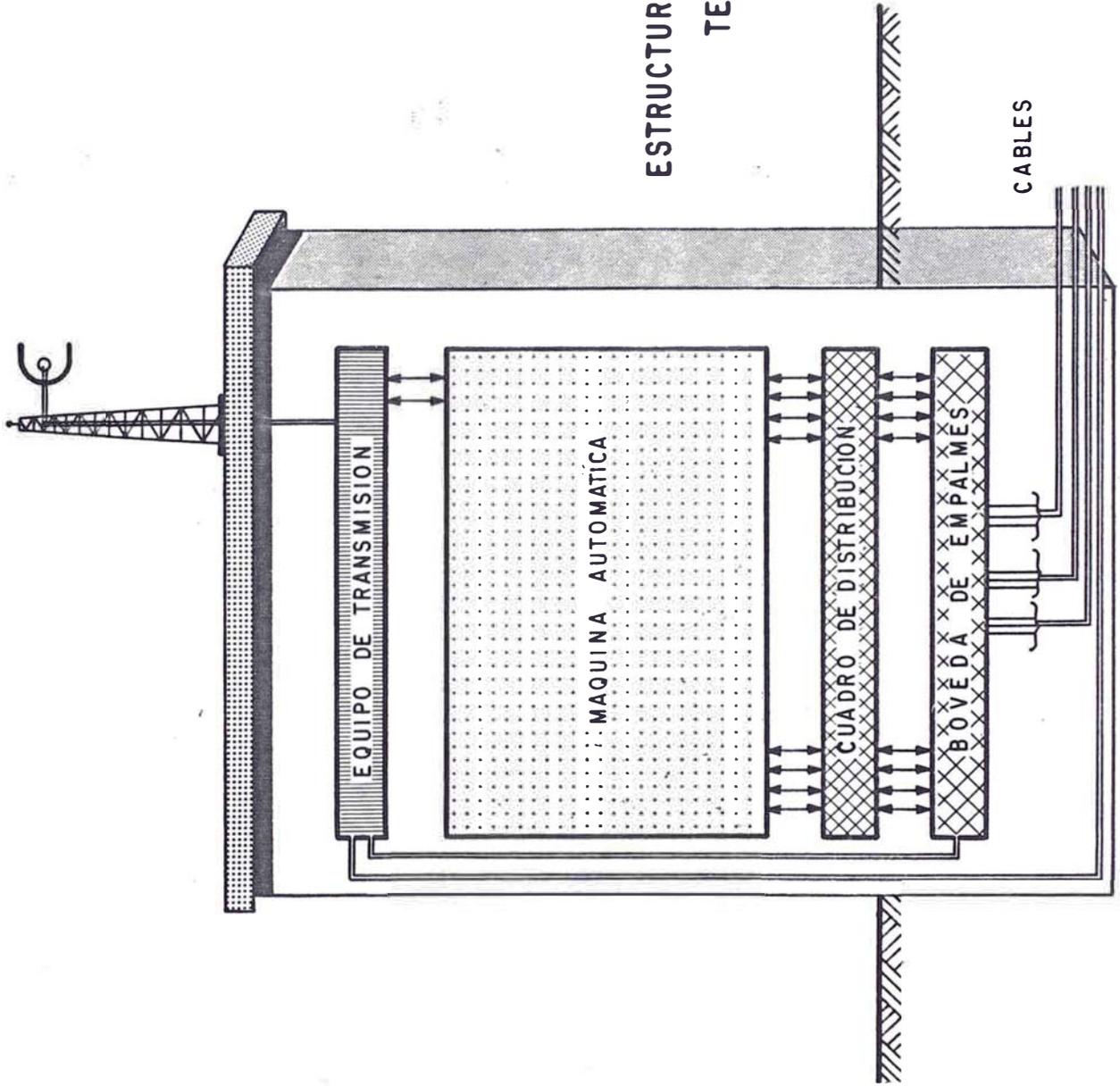
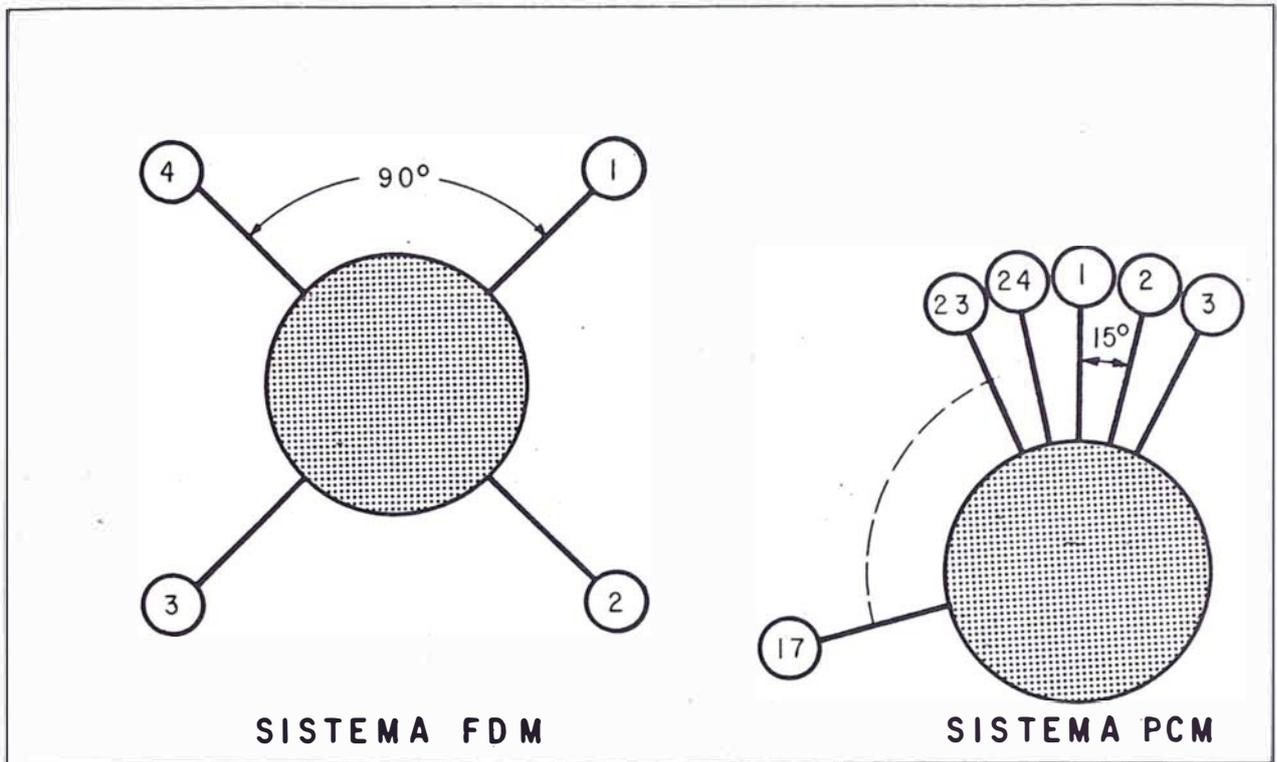
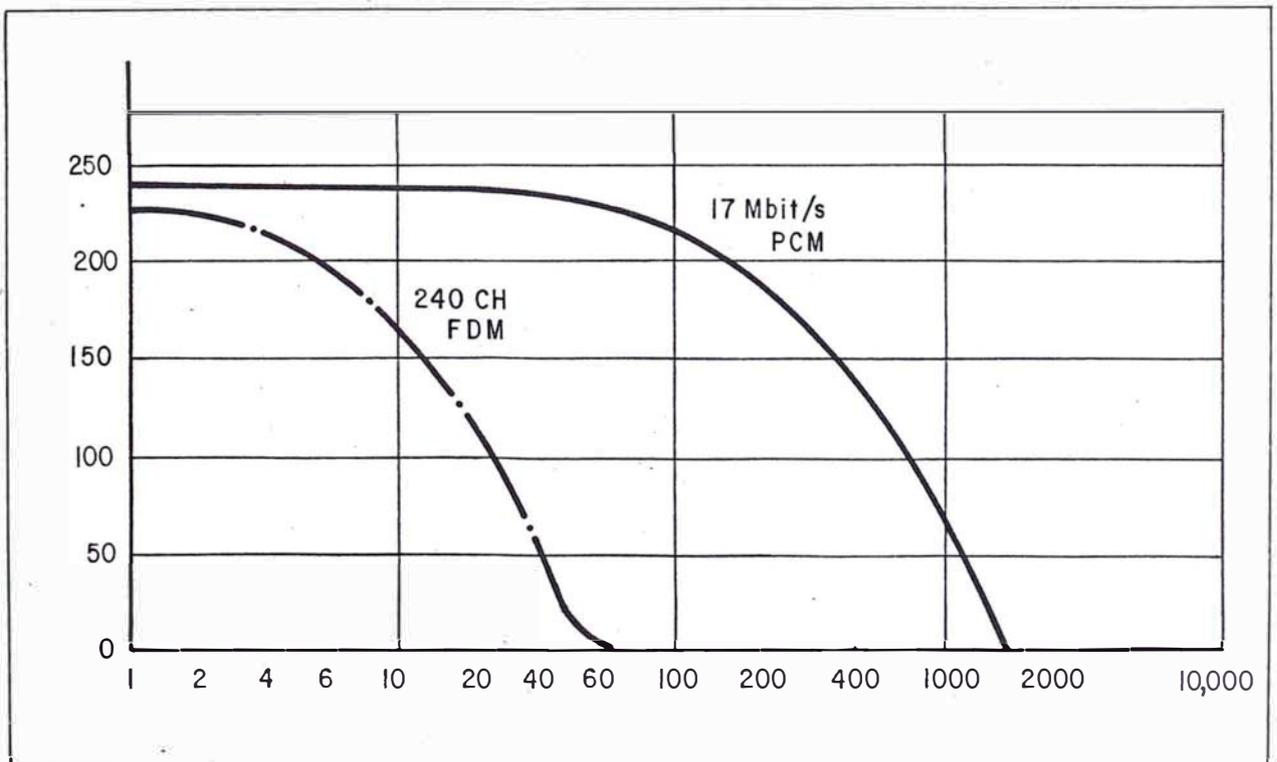


FIGURA N° 3



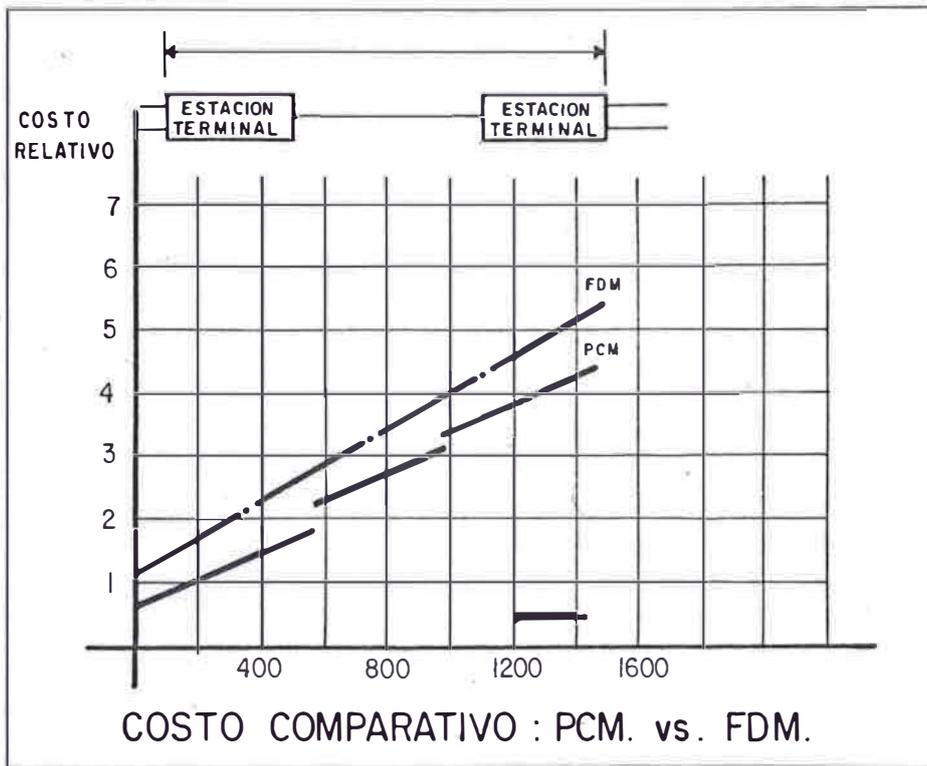
USO EFECTIVO DE ASIGNACION DE RADIO FRECUENCIAS.



TRANSMISION EFECTIVA DE DATO Y VOZ.

FIGURA N° 2

# EFFECTIVIDAD DE COSTO



# INMUNIDAD A FADING

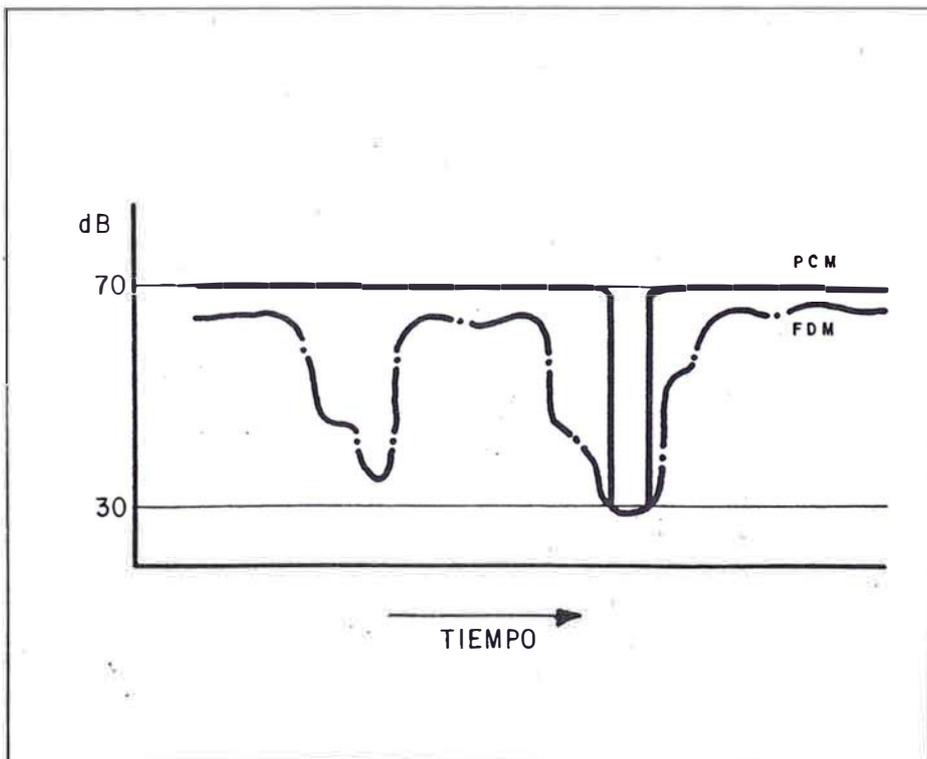


FIGURA N° 1

### *Modulación Multinivel de varias fases*

*Polarización en Cruz, Polarización Vertical y Polarización Horizontal.*

*Estas técnicas son solamente aplicables a este tipo de sistemas. La posibilidad de un deterioro del enlace que se traduce en una degradación de la señal, produce la acción inmediata de un sistema de reserva (Stand by); este tipo de protección acoplado al sistema, servirá para actuar en situaciones críticas, como podría ser el caso de un Fading que sobrepase los límites permisibles.*

*El sistema europeo de 30 canales elegido por CPTSA para la transmisión de canales de información abarca equipos multiplex de varios Niveles Jerárquicos, una etapa de Mux primarios y una etapa de Mux secundarios, luego continúa el equipo de Switchover que conmutará el equipo de reserva en caso de falla del sistema y finalmente el equipo de radio, Branching y la Antena, ver figura N° 4 y N° 5.*

*Las antenas que se instalarán poseerán entradas polarizadas en cruz, las entradas que no sean utilizadas estarán terminadas y disponibles para una futura expansión; ya que es necesario hacer frente a una situación donde la demanda del servicio telefónico-aumenta más rápido que las capacidades de oferta tradicionales, debido a la combinación de una diversidad de factores que impediría que dichas zonas logren un crecimiento económico organizado.*

*Las nuevas estaciones Repetidoras-Terminales básicamente estarán equipadas con:*

# RADIO ENLACE

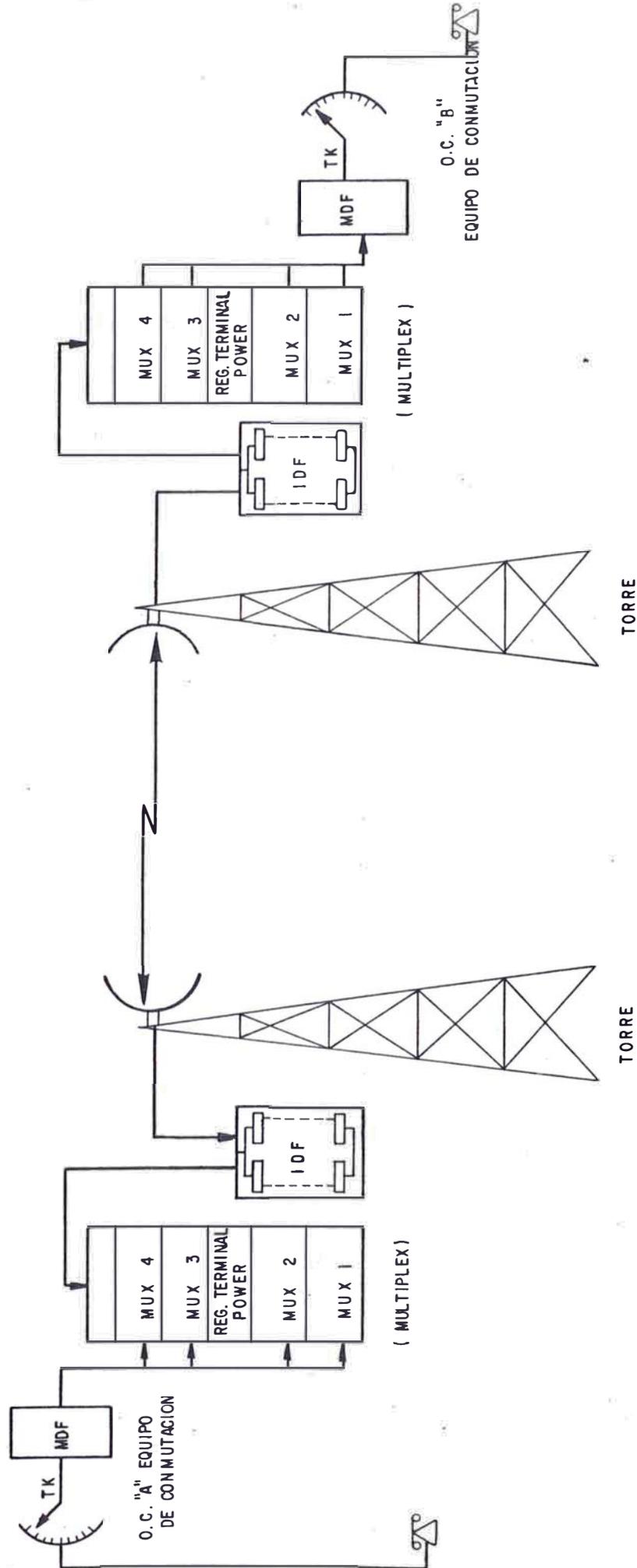
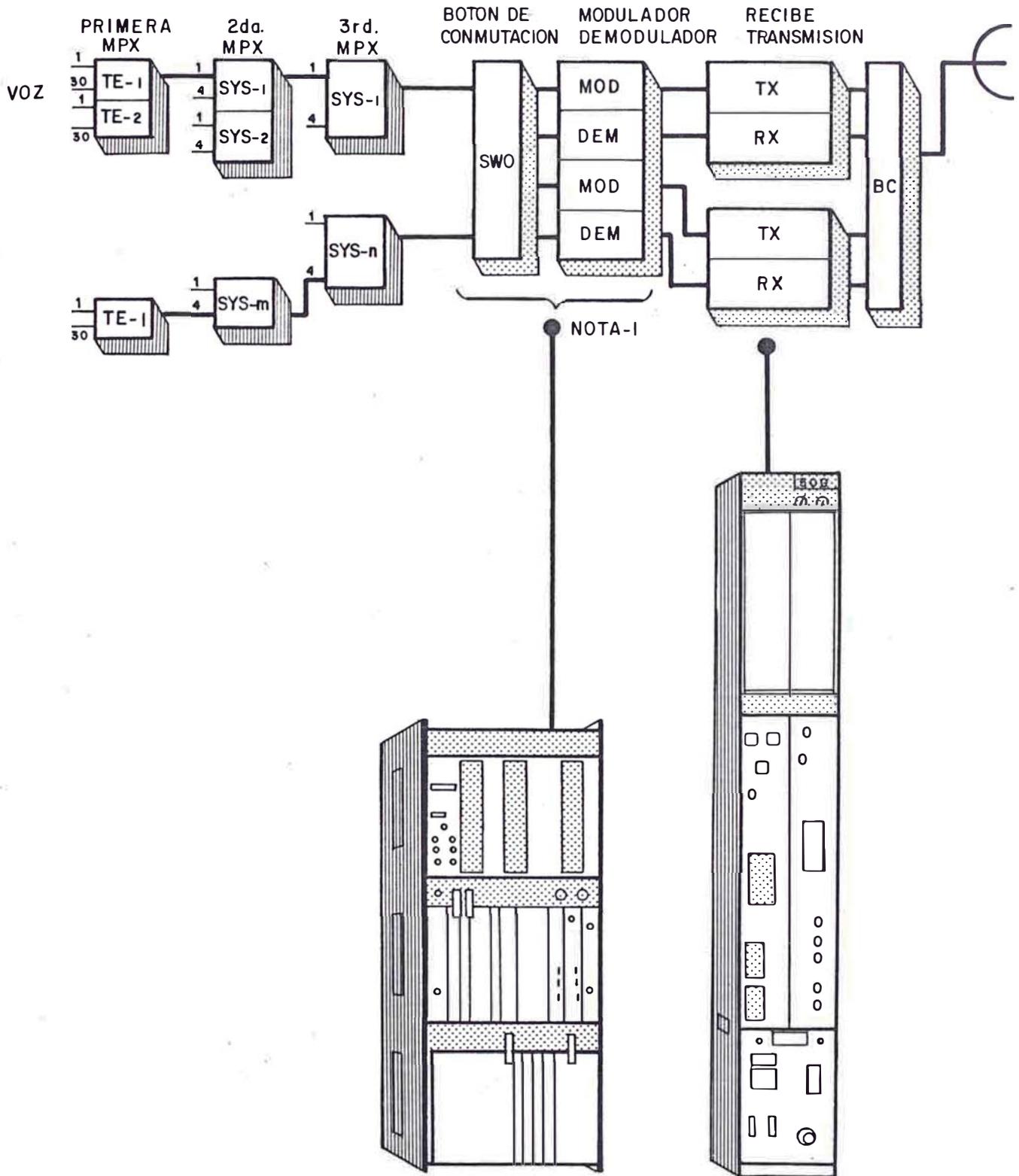


FIGURA N° 5

## CONFIGURACION DE ESTACION TERMINAL



NOTA-1 EN CASO DE RF MODULO DIRECTO. MOD/DEM. ES EQUIPADO EN TX/RX UNIFICADO.

**FIGURA N° 4**

- Shelters Pre-Fabricado
- Torres para Antena
- Fuentes de Poder Primario
- Adicionales

El tipo de modulación elegido es la modulación por desplazamiento de fase de cuatro niveles (QPSK) con polarización en cruz esta técnica tiene la ventaja de su sencillez y baja susceptibilidad a interferencias; en la figura N° 6 se muestra el esquema de este tipo de modulación.

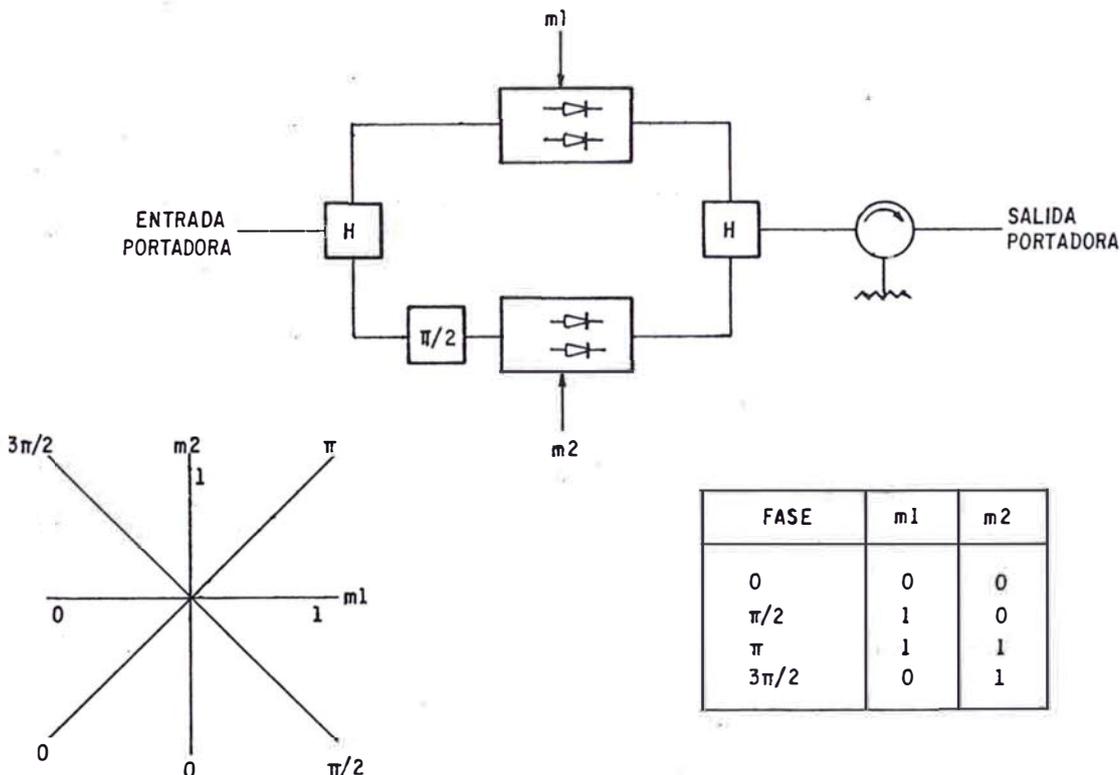


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODULADOR DE 4 FASES Y RELACION ENTRE LOS 4 VALORES Y FASES

FIGURA N°6

Este Sistema de Radioenlace digital de mediana capacidad - trabaja con velocidades de transmisión de:

- 2 Mb/s , 1 canal de servicio en una subbanda base
- 8 Mb/s , 2 canales de servicio en una subbanda base
- 34 Mb/s , 4 canales de servicio en una subbanda base.

### 1.3 Objetivos de Calidad de Transmisión:

Se ha utilizado un borrador de la recomendación AA/9 CMODF Ginebra, año 1982 para definir los objetivos en cuanto a calidad de transmisión del sistema. El circuito hipotético de referencia de 2,500 Km. se divide en 54 vanos (6 por sección homogénea) c/u de 46.3 Km. de longitud; el nivel de  $1 \times 10^{-3}$  en la tasa de errores ( medida con una constante de integración de 13) no debe superarse durante mas del 0.05% de un mes cualquiera. Para dicho circuito hipotético de referencia de la recomendación 556 del CCIR, esta probabilidad es de  $P_4 \times 54$  ó 0.038% si el enlace tuviera 2,500 Km.

De acuerdo con la recomendación 557 del CCIR, el objetivo de disponibilidad de un sistema de radioenlace digital sobre un trayecto hipotético de referencia de 2,500 Km. debe ser de 99.7% debiendo este período aplicarse a un período lo bastante prolongado para ser estadísticamente válido. Dentro de la indisponibilidad de 0.3% tomada como objetivo para el citado enlace de referencia, existe una parte que depende de la propagación estimada en  $P_5 \times 54$  ó 0.056%.

Los requisitos de operación imponen la existencia de canales de servicio y exigen realizar medidas de la calidad de transmisión

mientras se cursa tráfico. Puesto que también se requiere acceso al tráfico principal en casi todas las estaciones del sistema de radioenlace, hay que dotar de estas facilidades a todas las estaciones de una ruta.

Si los canales de servicio fuesen digitales, habrá que sumar sus bitios a los de tráfico principal y añadir bitios de paridad para la medida de errores, de lo que resultará una trama especial para radio, con efectos adversos sobre la fiabilidad y el consumo debido a los circuitos adicionales necesarios para la inserción de bitios. Por el contrario, el uso de canales de servicio analógicos no afecta a la trama digital ya que no se insertan bitios y las técnicas de medición de pseudoerrores permiten obtener estimaciones rápidas y precisas de pseudoerrores utilizando solamente los bitios de tráfico.

a.- Solución Técnica de la Modulación QPSK:

- Modulación FI.- Ventaja de una frecuencia fija pero necesita circuitos adicionales para la conversión elaborada, seguida de amplificación en RF.
- Modulación RF.- En los radioenlaces digitales de mediana capacidad es un requisito normalizado el acceso a la señal de tráfico en casi todas las estaciones y la reducción del número de circuitos.

b.- Cálculo de las Características de calidad en el circuito Hipotético de referencia del CCIR:

- Nivel de Recepción Nominal.-

Potencia de trasmisor                      W                      + 30 dBm



- Característica de Calidad.-

Probabilidad de que la tasa de errores binarios exceda  $10^{-3}$  más de 1s y menos de 10s por vano

$$P4 = P1 \times P2 \times P3 = 7 \times 10^{-6}$$

- Indisponibilidad.-

Probabilidad de que la tasa de errores exceda  $10^{-3}$  más de 10 seg consecutivos en ambas direcciones

$$\text{Por vano } P5 = P1 \times P2 \times 0.4 \times 2 = 10.4 \times 10^{-6}$$

Tres operaciones se realizan en la señal de datos antes de aplicarse al modulador QPSK:

- Aleatorización para obtener un carácter pseudoaleatorio que uniformice la densidad del espectro de modulación, sea cual fuere la señal (datos con indicación de alarma), permitiendo la recuperación del reloj en el extremo receptor.
- Codificación diferencial, que evite la necesidad de determinar la fase absoluta en el extremo de recepción.
- Desplazamiento de una de las dos señales digitales en el periodo de un bitio para evitar la modulación de amplitud 100% inherente a la QPSK. La QPSK desplazada permite una mayor anchura de banda en el bucle de extracción de portadora para la misma tasa de errores y tolera un mayor ruido de fase en la portadora regenerada.

Para mayor referencia ver figuras N° 7 y N° 8

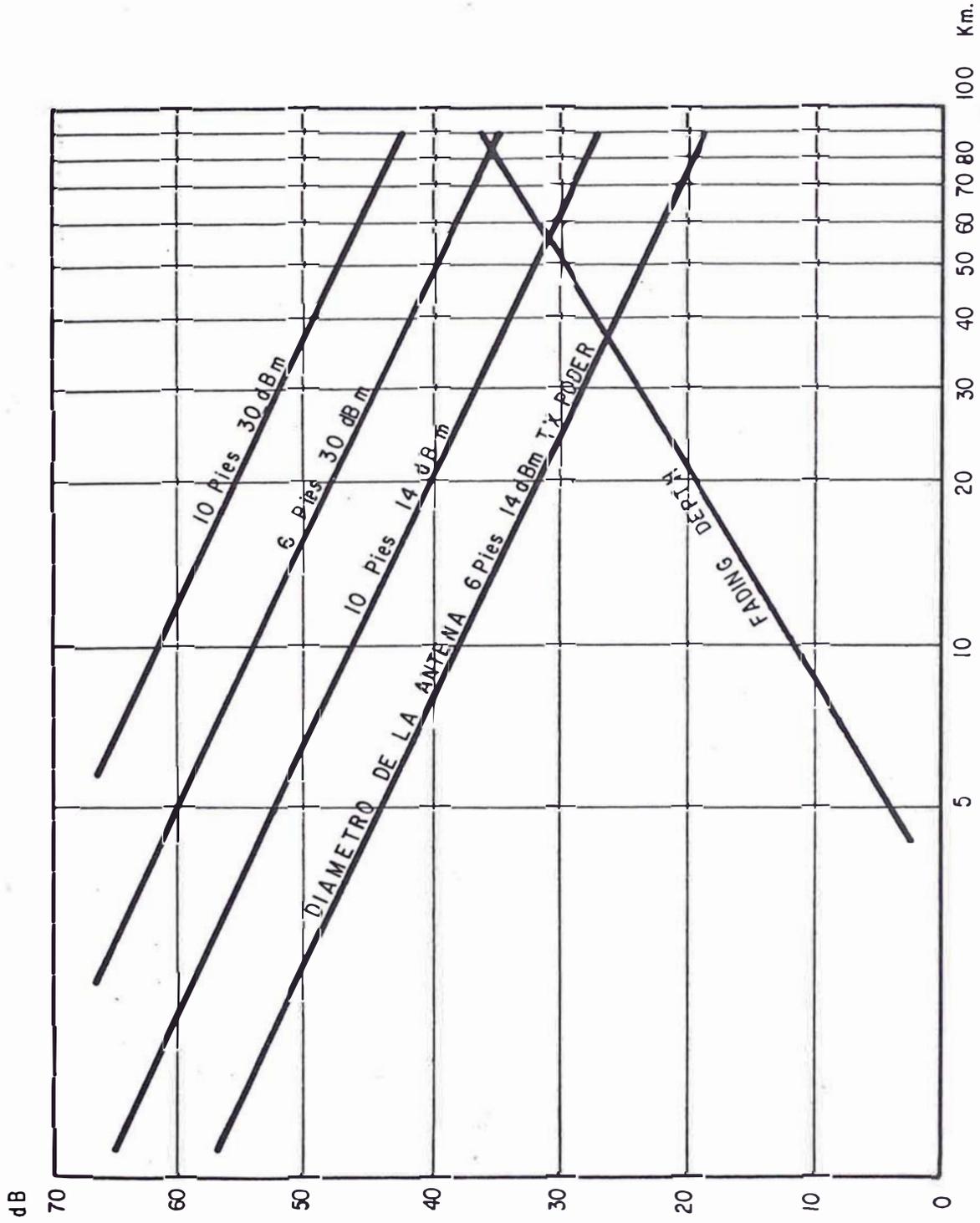
REFERENCIA  
 JERARQUIA ( CCITT G732, G733, G743, G744, G751 )

REFERENCIA	PASOS MULTIPLES				REFERENCIA
	1. r. a.	2. d. a.	3. r. a.	4. i. a.	
JERARQUIA 24 CH	24 CH — X 4 — 1.544 M bit / s.	96 CH — X 7 — 6.312 M bit / s.	672 CH — X 6 — 44.736 M bit / s.	4032 CH — 274.176 M bit / s.	G733, G743 NORTE AMERICA *
JERARQUIA 30 CH	30 CH — X 4 — 2.044 M bit / s.	120 CH — X 4 — 8.448 M bit / s.	480 CH — X 4 — 34.368 M bit / s.	1920 CH — 139.264 M bit / s.	G732, G744, G751

FIGURA N° 7

**BANDA 7 GHz**

**JERARQUIA REFERENCIAL SENDA DIGITAL (CCIR REC. 556)  
LONGITUD 2500 Km.**



**FIGURA N° 8**

#### 1.4 Plan de Frecuencias:

El Plan de Frecuencias está basado en la recomendación CCIR N° 385 para la banda de frecuencia de 7 GHz para el sistema de enlace Ramal Norte. El sistema Ramal Centro es similar.

Este plan cuenta con 10 canales RF de ida-retorno respectivamente y luego eliminamos los canales exteriores cerca de los bordes de la banda. Ver figura N° 9.

La reutilización de frecuencias conlleva interferencia de canal compartido, si por lo tanto en la planificación de la asignación de frecuencias y en el diseño del sistema de antena se toman las medidas del caso para garantizar que tal interferencia no exceda los límites de tolerancia. La interferencia tolerable se define en términos de una proporción de portadora a interferencia (C/I) que produce una degradación de 1 dB del umbral del receptor para una tasa de bits erróneos (BER) dada; los cálculos de dichas proporciones se realizan únicamente en los casos de canal compartido e interferencia de canal adyacente que no es nuestro caso.

#### 1.5 Características de las Antenas:

- Buena directividad para poder concentrar toda la potencia radiada en la dirección asignada.

- Buena ganancia:

$$G_r - G_{ab} = 2.5 \text{ dB}$$

$G_r$ , ganancia relativa referida al Dipolo

$G_{ab}$ , ganancia absoluta referida a la Isotropía

- Alta calidad para VSWR, aceptable hasta un valor de 1.3

7 GHz BANDA (CCIR Rec. 385)

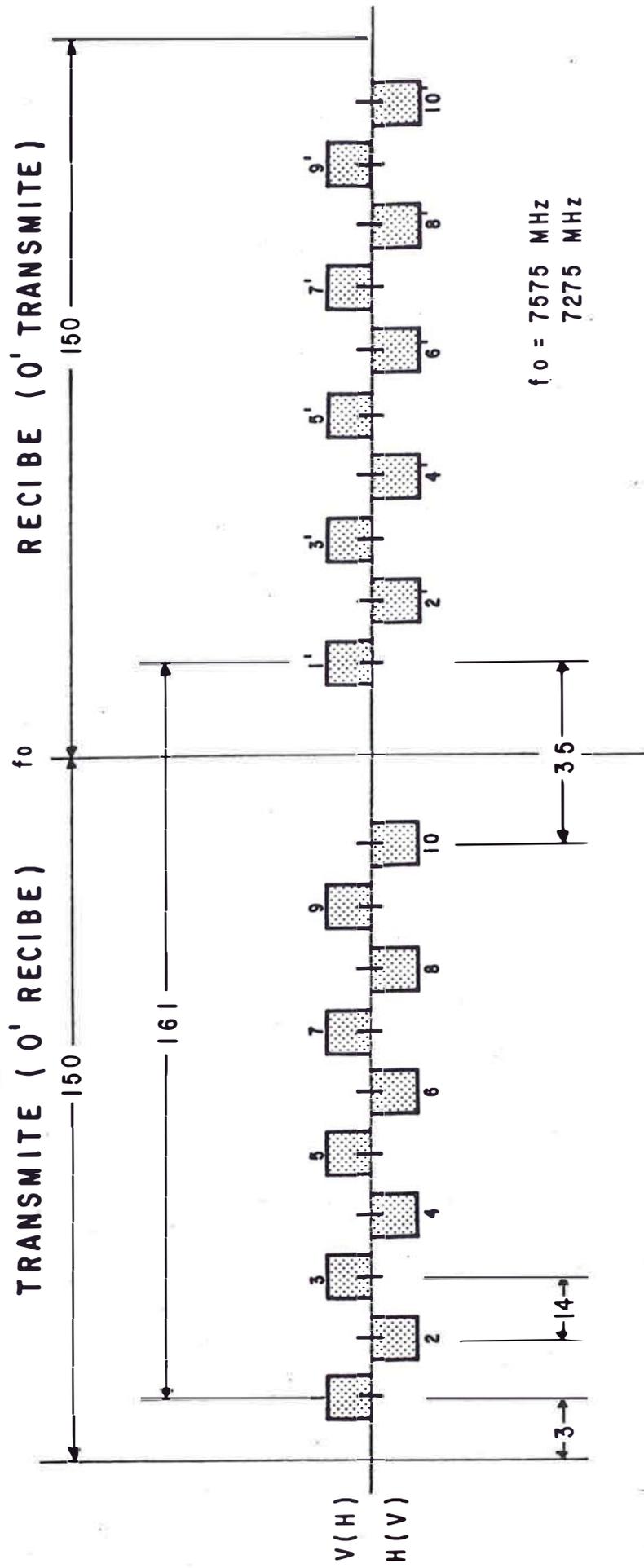
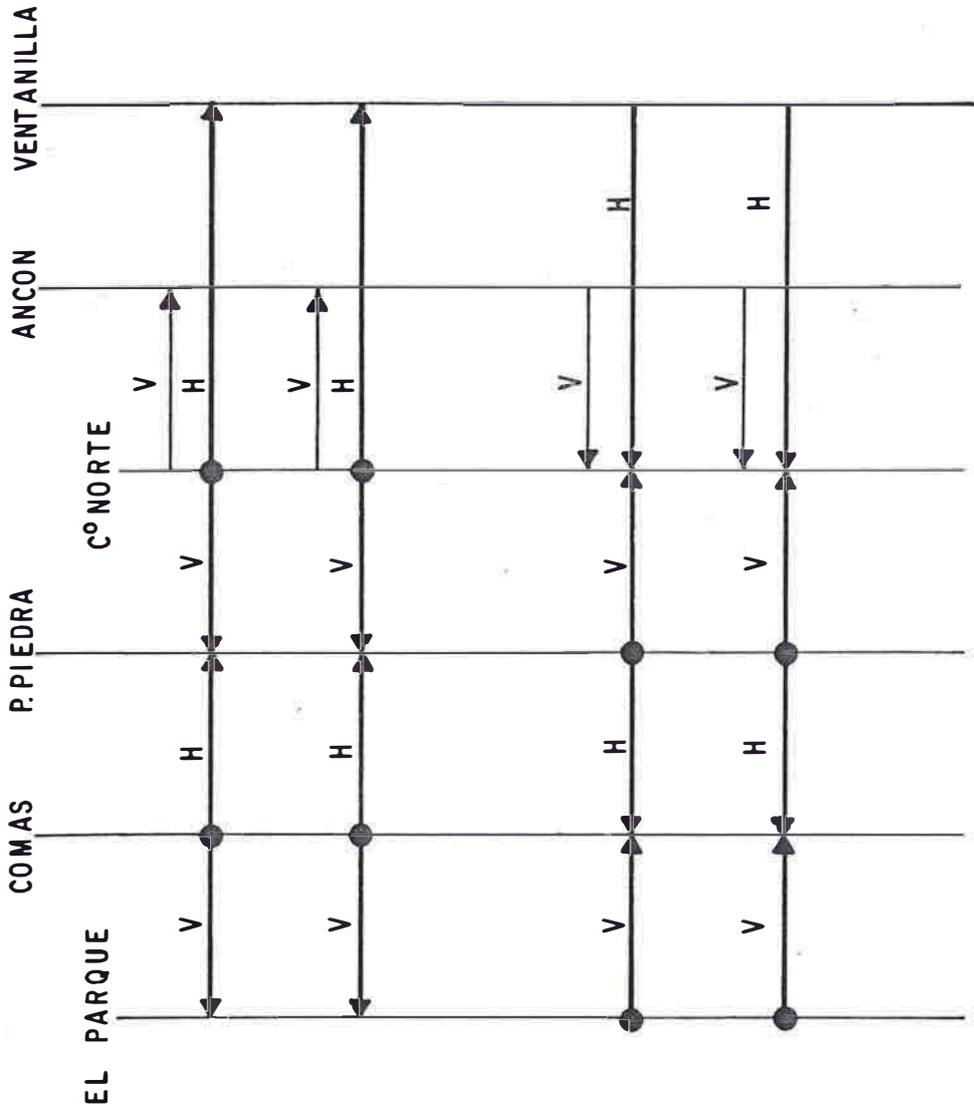


FIGURA N° 9A

ASIGNACION DE RADIO FRECUENCIA



7428  
7442  
7456  
7470  
7484  
7498  
7512  
7526  
7540  
7554  
7575  
7589  
7603  
7617  
7631  
7645  
7659  
7673  
7687  
7701  
7715

f 0

PLAN DE FRECUENCIAS

FIGURA N° 9 B

- Ancho de Haz suficiente para poder comunicarse con la otra antena de enlace.
- Cumplen con recomendaciones dadas a F/B, F/S, S/S, B/B
- Discriminación de polarización de 30 dB

A continuación se muestran algunas características técnicas basadas de una información técnica proporcionada por un proveedor.

- Banda de Frecuencia: 7125      7725 MHz
- Ganancia

		<u>INFERIOR</u>	<u>MEDIA</u>	<u>SUPERIOR</u>
Diámetro	1.2 m	36.5 dBi	36.8 dBi	37.1 dBi
Diámetro	1.4 m	42.5 dBi	42.8 dBi	43.1 dBi
Diámetro	3.0 m	44.5 dBi	44.8 dBi	45.1 dBi
Diámetro	3.6 m	46.1 dBi	46.4 dBi	46.7 dBi

Los valores tienen una tolerancia de 0.2 dB

- V.S.W.R.
  - Antena de Polarización simple      1.06
  - Antena de Polarización doble      1.08
- Máxima carga del viento      200 Km/h  
(Degradación de ganancia      3 dB )
- Patrón de radiación - Ver figura N° 10

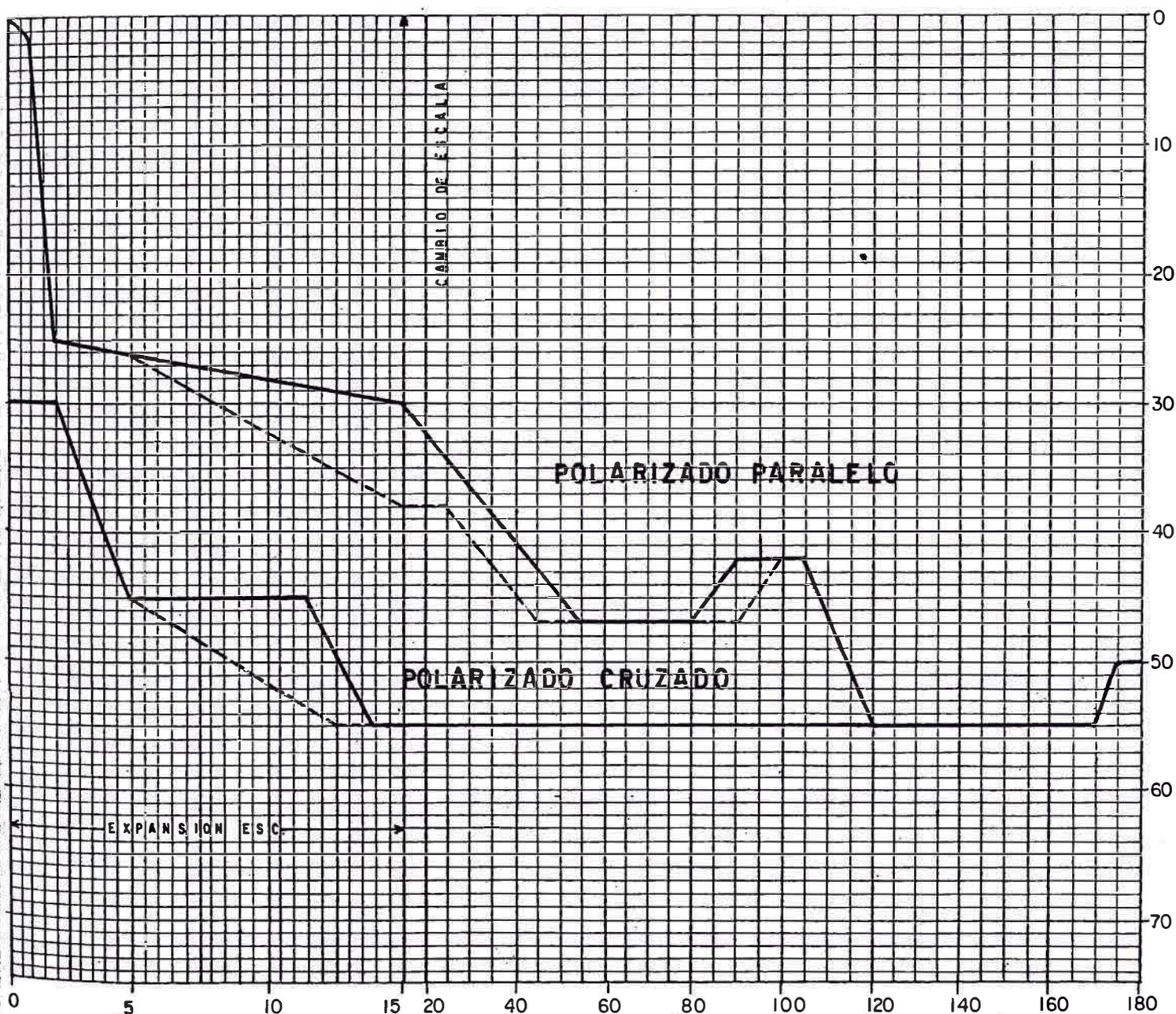
5 hojas técnicas referidas a un patrón de radiación y además la curva de un espectro de potencia de un T x de 34 Mb/s )

# PATRON DE RADIACION

8 BASE ANTENA  
7-125-7-750 GHz  
DOBLE POLARIDAD

—— ENVOLVENTE ANTENA POLARIZADA HORIZONTAL.  
----- ENVOLVENTE ANTENA POLARIDAD VERTICAL.

GANANCIA:  $43.4 \pm 0.2$  dB. A 7.44 GHz



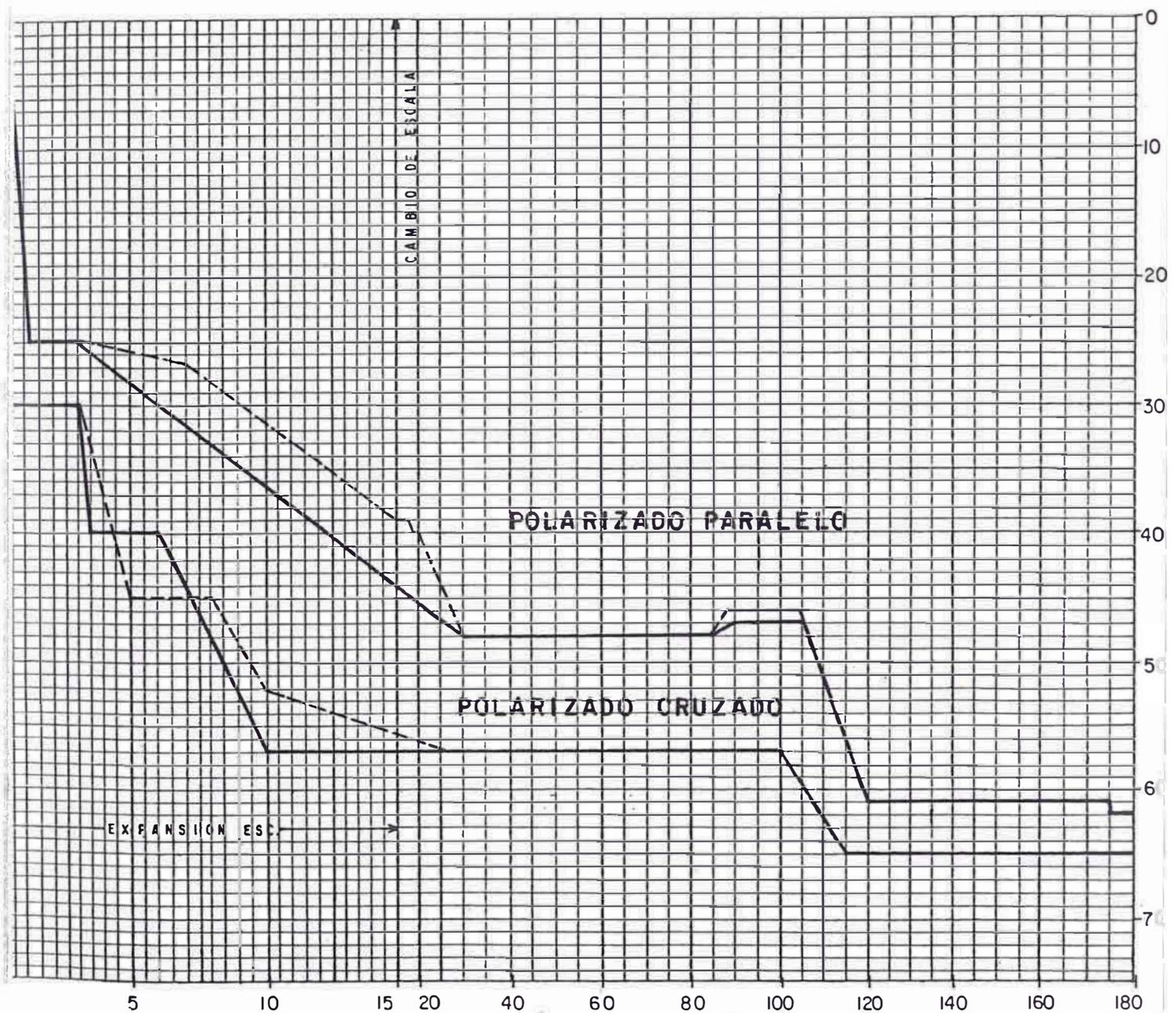
- B -  
FIGURA N° 10

# PATRON DE RADIACION

12 BASE ANTENA  
7.125-7.750 GHz  
PLANO POLARIDAD

— ENVOLVENTE ANTENA POLARIZADA HORIZONTAL.  
- - - ENVOLVENTE ANTENA POLARIZADA VERTICAL.

GANANCIA:  $47.0 \pm 0.2$  dB A 7.44 GHz

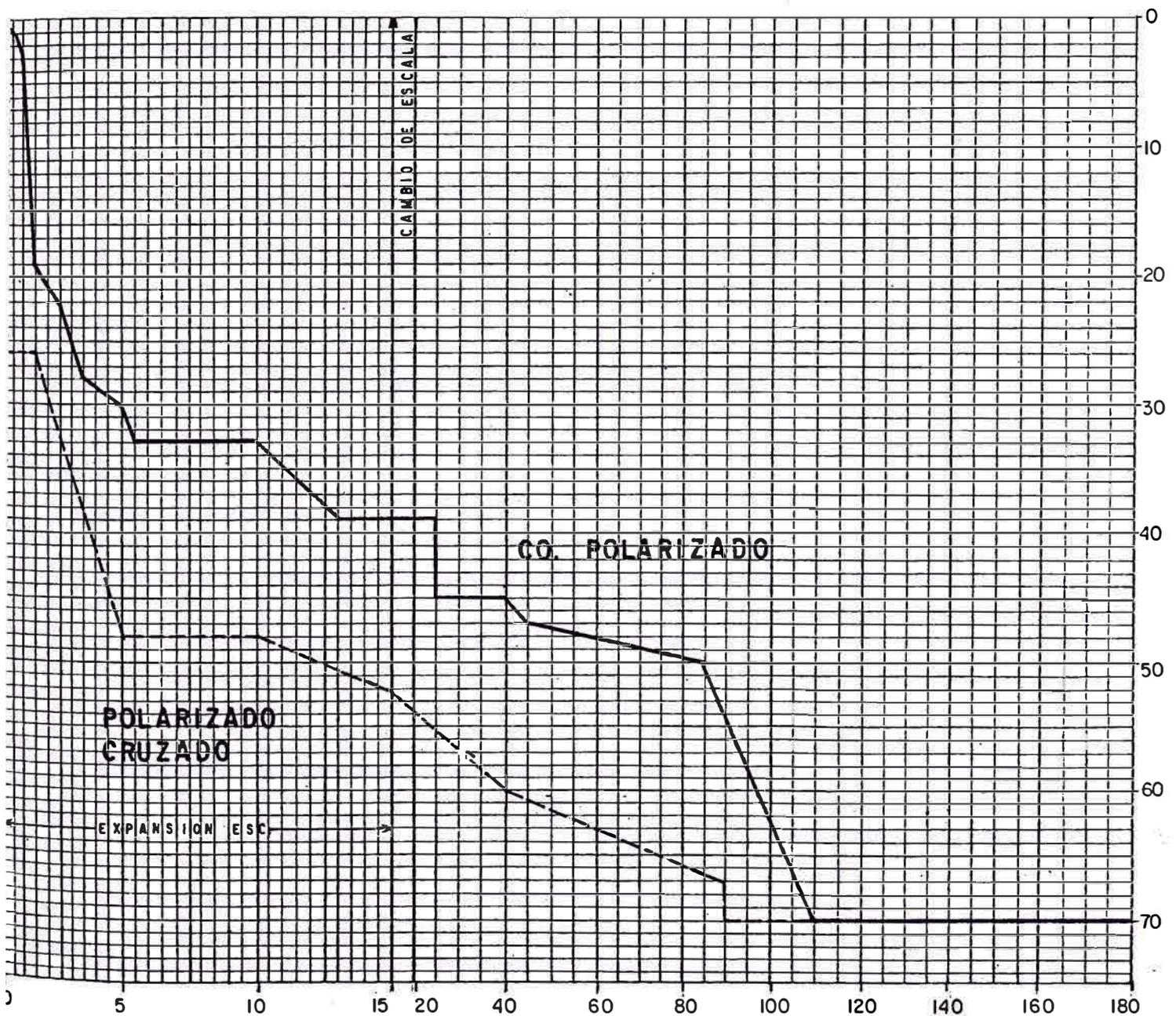


- A -  
FIGURA N° 10

# PATRON DE RADIACION

10. BASE ANTENA  
7.125-7.725 GHz  
PLANO POLARIZADO

— ENVOLVENTE ANTENA POLARIZADA HORIZONTAL.  
- - - ENVOLVENTE ANTENA POLARIZADA VERTICAL.  
GANANCIA:  $44.4 \pm 0.4$  dB A 7.425 GHz



- C -

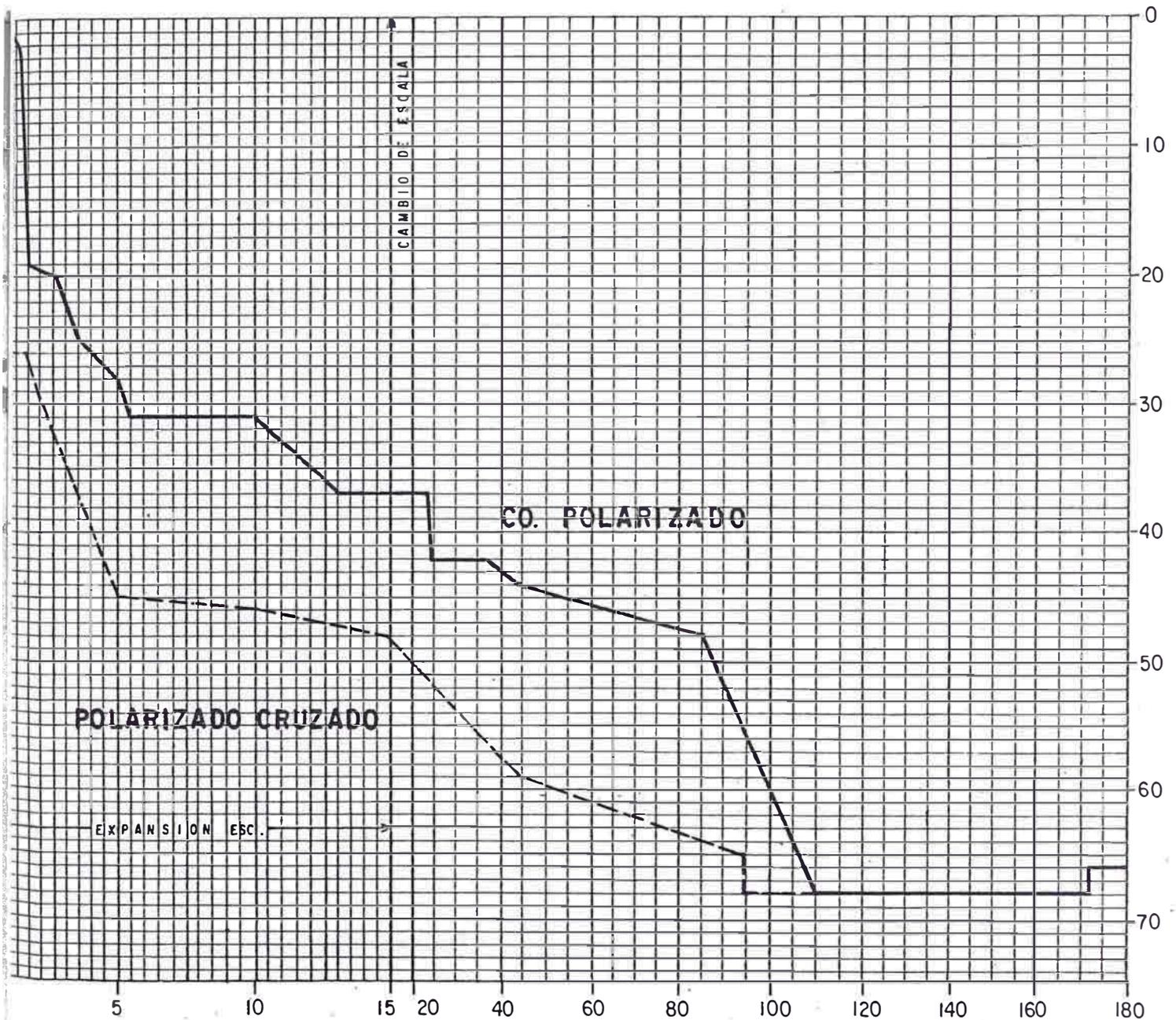
FIGURA N° 10.

# PATRON DE RADIACION

8 BASE ANTENA  
7.125 - 7.725 GHz  
PLANO POLARIZADO

— ENVOLVENTE ANTENA POLARIZADA HORIZONTAL.  
- - - ENVOLVENTE ANTENA POLARIZADA VERTICAL.

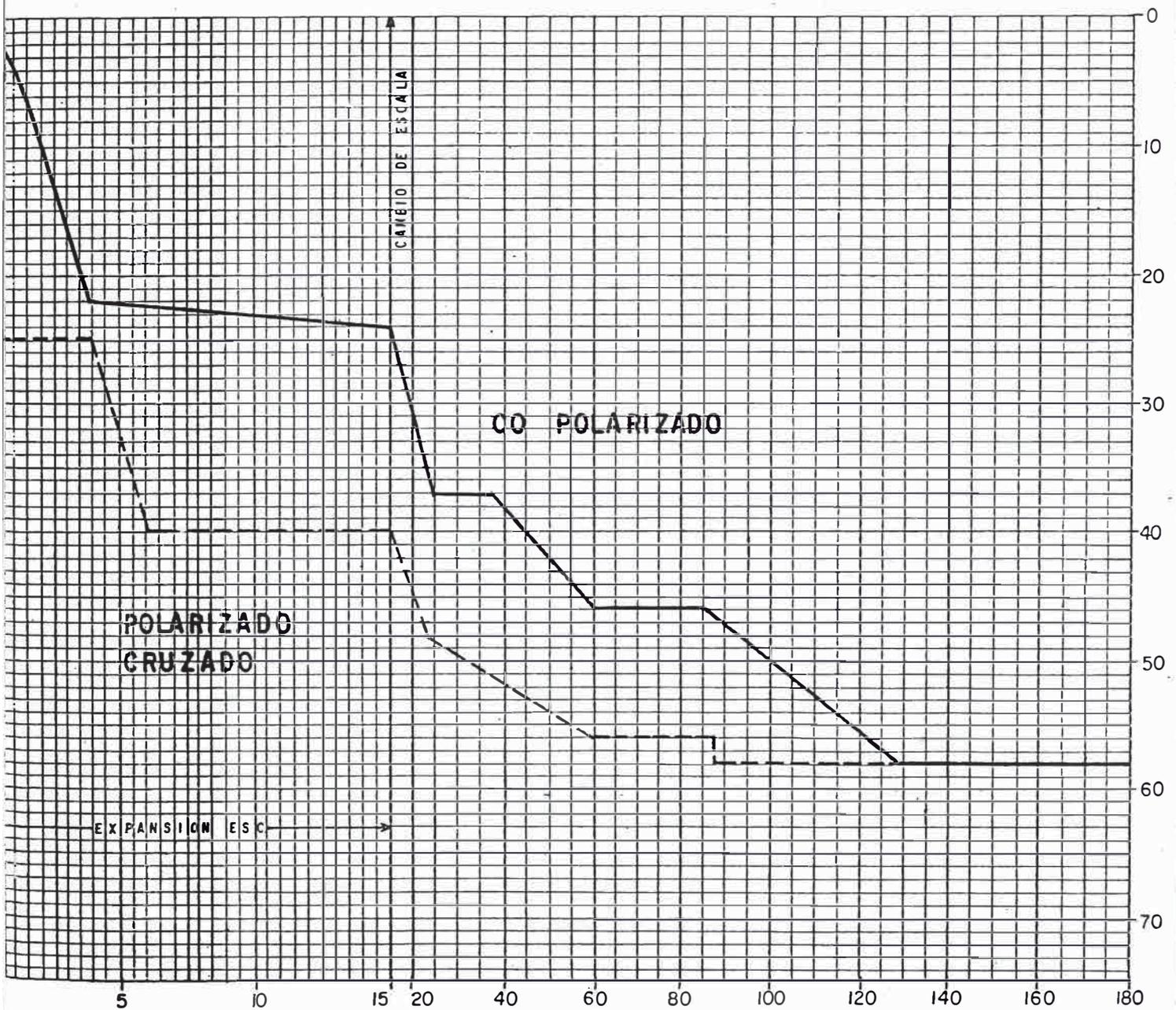
GANANCIA:  $42.3 \pm 0.4$  dBi A 7.425 GHz



# PATRON DE RADIACION

6 BASE ANTENA  
7.125-7.725 GHz  
SINGULAR POLARIZADO

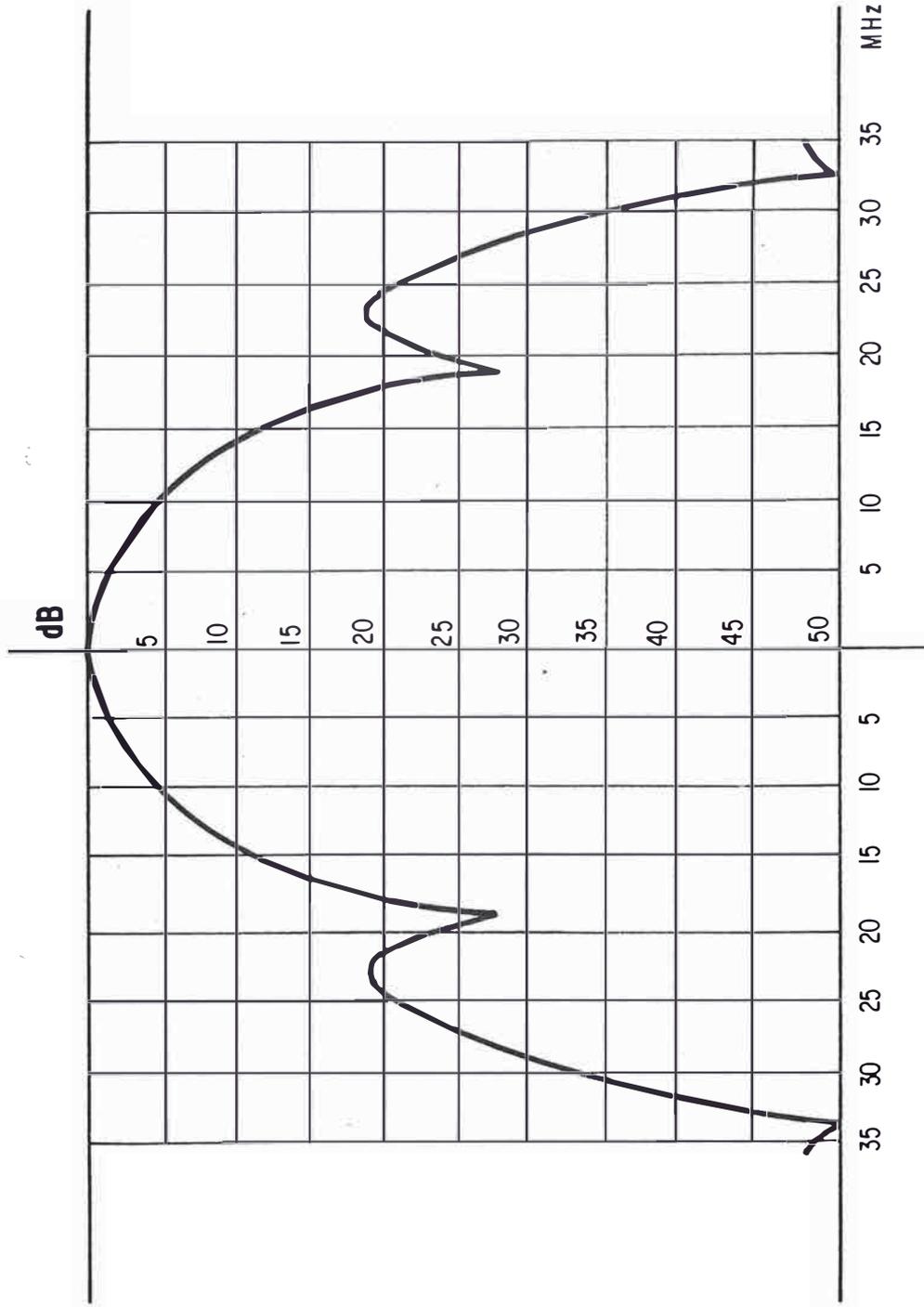
— ENVOLVENTE ANTENA POLARIZADA HORIZONTAL.  
- - - ENVOLVENTE ANTENA POLARIZADA VERTICAL.  
GANANCIA:  $39.4 \pm 0.4$  dBi A 7.425 GHz



- E -

FIGURA N° 10

$F_0 = 7575 \text{ MHz}$



**CURVA DEL ESPECTRO DE POTENCIA  
TX / 34 Mbits**

**FIGURA N° 10-F**

CAPITULO II  
ESTRUCTURA DE LA INTERCONEXION

2.1 Ubicación de las Centrales:

En los siguientes cuadros se muestran las ubicaciones geográficas de las estaciones y la jerarquía de centrales.

ESTACIONES	LONGITUD	LATITUD
El Parque	77 <sup>0</sup> 03' 56"	11 <sup>0</sup> 58' 30"
Comas	77 <sup>0</sup> 03' 20"	11 <sup>0</sup> 54' 29"
Pte. Piedra	77 <sup>0</sup> 04' 38"	11 <sup>0</sup> 51' 43"
C. Norte	77 <sup>0</sup> 05' 20"	11 <sup>0</sup> 48' 10"
Ancón	77 <sup>0</sup> 10' 19"	11 <sup>0</sup> 46' 16"
Ventanilla	77 <sup>0</sup> 07' 40"	11 <sup>0</sup> 52' 30"

UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES

CUADRO N° 2

C. PRINCIPAL	C. SATELITE
El Parque	Comas
	Pte. Piedra
	Ancón
	Ventanilla

JERARQUIA DE LAS CENTRALES

CUADRO N° 3

## 2.2 Configuración Ramal Norte:

El Sistema Ramal Norte está conformado por los siguientes enlaces:

El Parque	-	Comas
Comas	-	Puente Piedra
Puente Piedra	-	C. Norte
C. Norte	-	Ancón
C. Norte	-	Ventanilla

Ver Figura N° 11

Asimismo, hacemos mención que el Cerro Norte es una estación activa, porque tendrá que derivar cierta cantidad de sistemas hacia la nueva oficina central de Ventanilla y el resto hacia la nueva oficina central Ancón. Dada la buena línea de vista, la frecuencia de trabajo y las distancias de los enlaces; el sistema podría trabajar sin las unidades de regeneración, pero el equipamiento adquirido tiene incorporado unidades internas para preveer la aparición de ruidos externos que podrían incrementar la cantidad de errores en el sistema.

Como la presente Tesis, está dirigido al estudio del sistema Ramal Norte, se menciona que las características de Ingeniería para el sistema Ramal Centro y/o para cualquier sistema son similares.

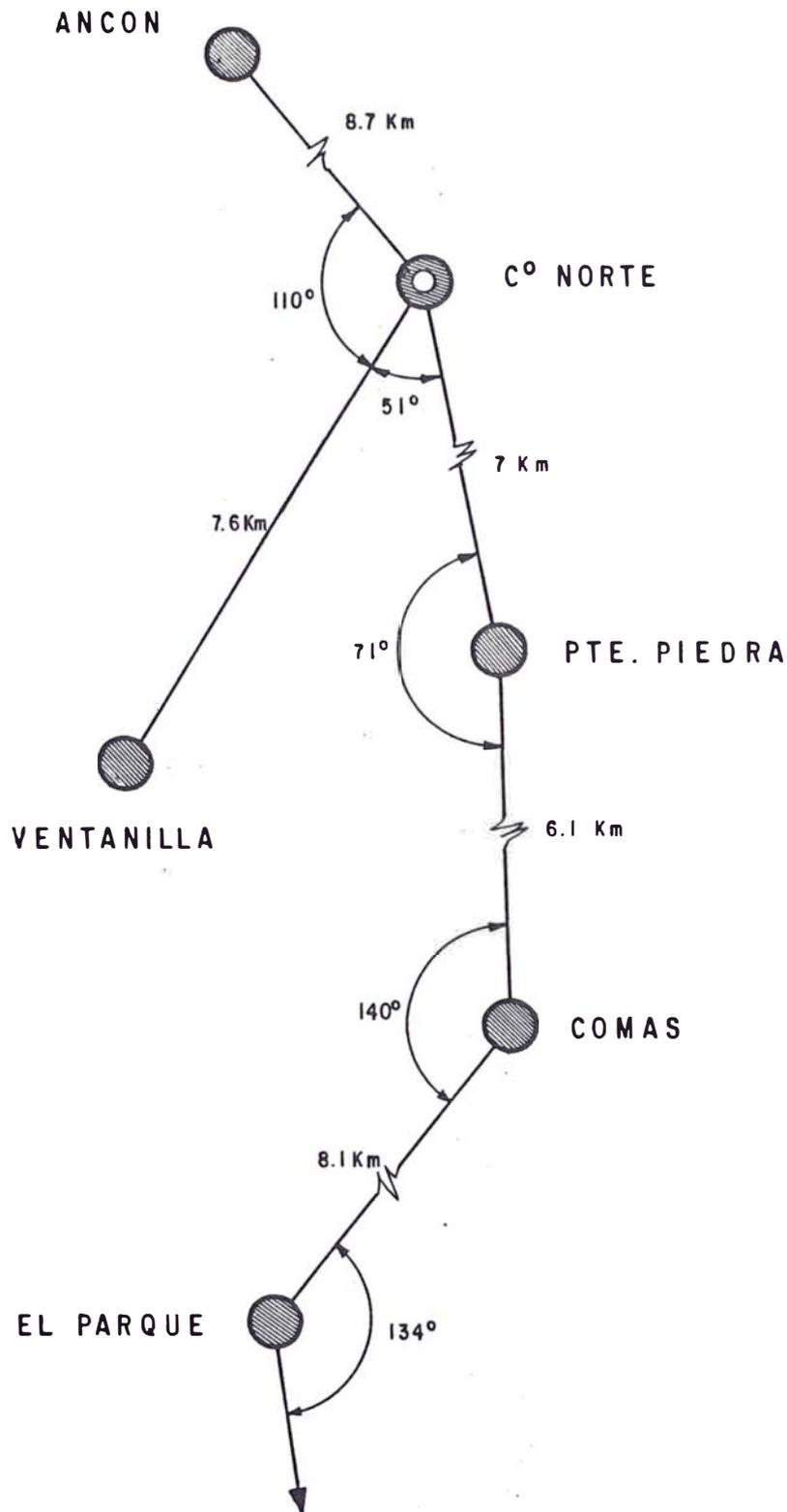


FIGURA N° II  
 CONFIGURACION RAMAL NORTE

### 2.3 Requerimiento de Sistemas:

En el siguiente cuadro se muestra el requerimiento neto de terminales de 2mb/s:

<u>DESCRIPCION</u>	<u>TERMINALES A 2 mb/s</u>
El Parque - Comas	16
Comas Pte. Piedra	9
Pte. Piedra - Cerro Norte	7
Cerro Norte - Ancón	3
Cerro Norte - Ventanilla	4
<u>TOTAL</u>	39

#### REQUERIMIENTO NETO DE TERMINALES

Cuadro N° 4

En el cuadro N° 5 disponemos del número de canales de RF por enlace y capacidad de transmisión

Según se ha visto en el Plan de Frecuencia, disponemos de una buena cantidad de canales de RF para ser utilizadas en el futuro, atendiendo el crecimiento de la demanda en esas zonas. Además de tener una buena flexibilidad mediante el uso de la polarización crzada que reduce significativamente la interferencia por canal de RF y también los costos de los filtros de derivación.

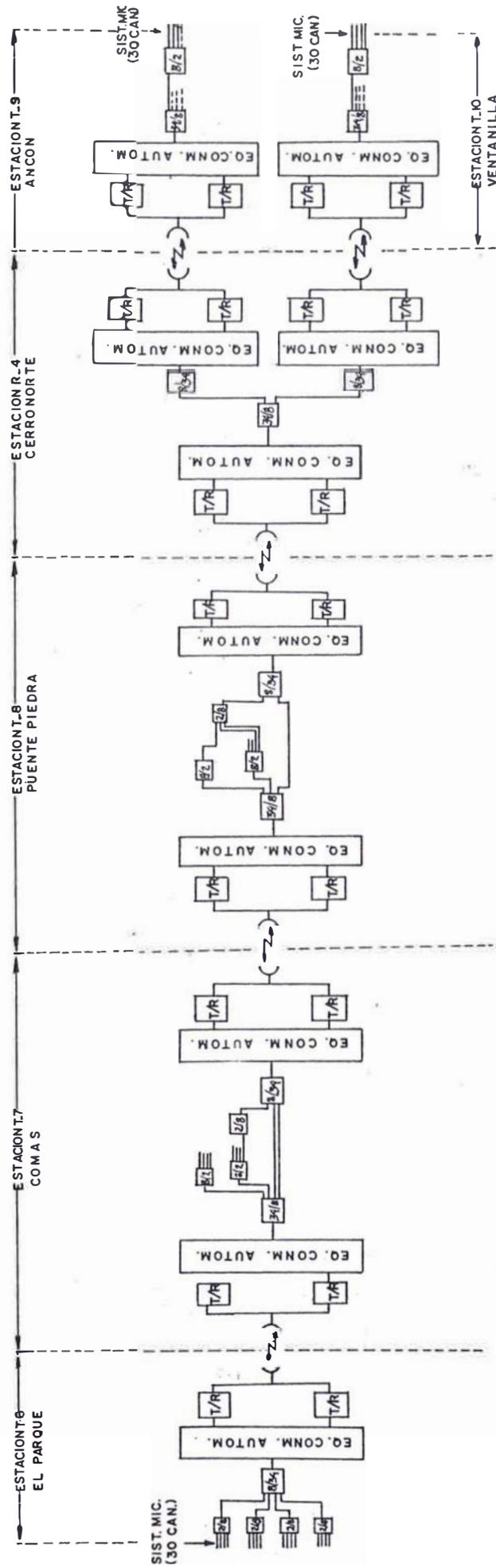
NUMERO DE CANALES DE RF Y CAPACIDAD DE TRANSMISION

ENLACE	CANAL DE TRABAJO	CANAL DE RESERVA
El Parque - Comas	1	1
El Parque - Pte. Piedra	1	1
El Parque - Ancón	1	1
El Parque - Ventanilla	1	1

Cuadro N° 5

En la figura N° 12 se encuentran los diagramas de bloques del sistema en todas las estaciones del presente proyecto.

Como podemos observar, se está utilizando la Técnica Derivación/Inserción (Drop/Insert) en todos los Relevadores Radioléctricos y que consiste principalmente en establecer una cantidad de sistemas en cada oficina central en relación directa al tráfico entrante y saliente de los abonados. Además como se mencionó anteriormente, la estación Cerro Norte es una estación repetidora activa que está enlazado con las OO.CC. de Ancón y Ventanilla. El resto de estaciones son denominadas Estaciones Terminales, porque tienen abonados (El Parque, Comas, Puente Piedra, Ventanilla y Ancón).



NOTA: LOS SISTEMAS DE 30 CANALES (2 Mhps) NO FORMAN PARTE DE EQUIPAMIENTO  
 DISTRIBUCION DE EQUIPOS EN ESTACIONES TERMINALES  
 ENLACES: EL PARQUE - COMAS  
 EL PARQUE - PUENTE PIEDRA  
 EL PARQUE - ANCON  
 EL PARQUE - VENTANILLA

FIGURA N° 12

En el cuadro N° 6 se muestra la capacidad inicial de canales por enlace y el cuadro N° 7 una lista de los equipos multiplex (radio).

### CAPACIDAD INICIAL

#### Cuadro N° 6

ENLACE	CAPACIDAD DE CANALES
El Parque - Comas	210
El Parque - Pte. Piedra	60
El Parque - Ancón	90
El Parque - Ventanilla	120

LISTA DE EQUIPO MULTIPLEX  
(RADIO)

Cuadro N° 7

Estaciones Terminales

ESTACION	MULTIPLEX	
	2/8	(Mbps) 8/34
El Parque	20	5
Comas	3	2
Puente Piedra	3	1
Ancón	1	1
Ventanilla	1	1
TOTAL	28	10

LISTA DE EQUIPO REPETIDOR  
(RADIO)

Cuadro N° 8

Estaciones Repetidoras

ESTACION	REPETIDOR ACTIVO
Cerro Norte	3

## CAPITULO III INGENIERIA DEL PROYECTO

### 3.1 Premisas:

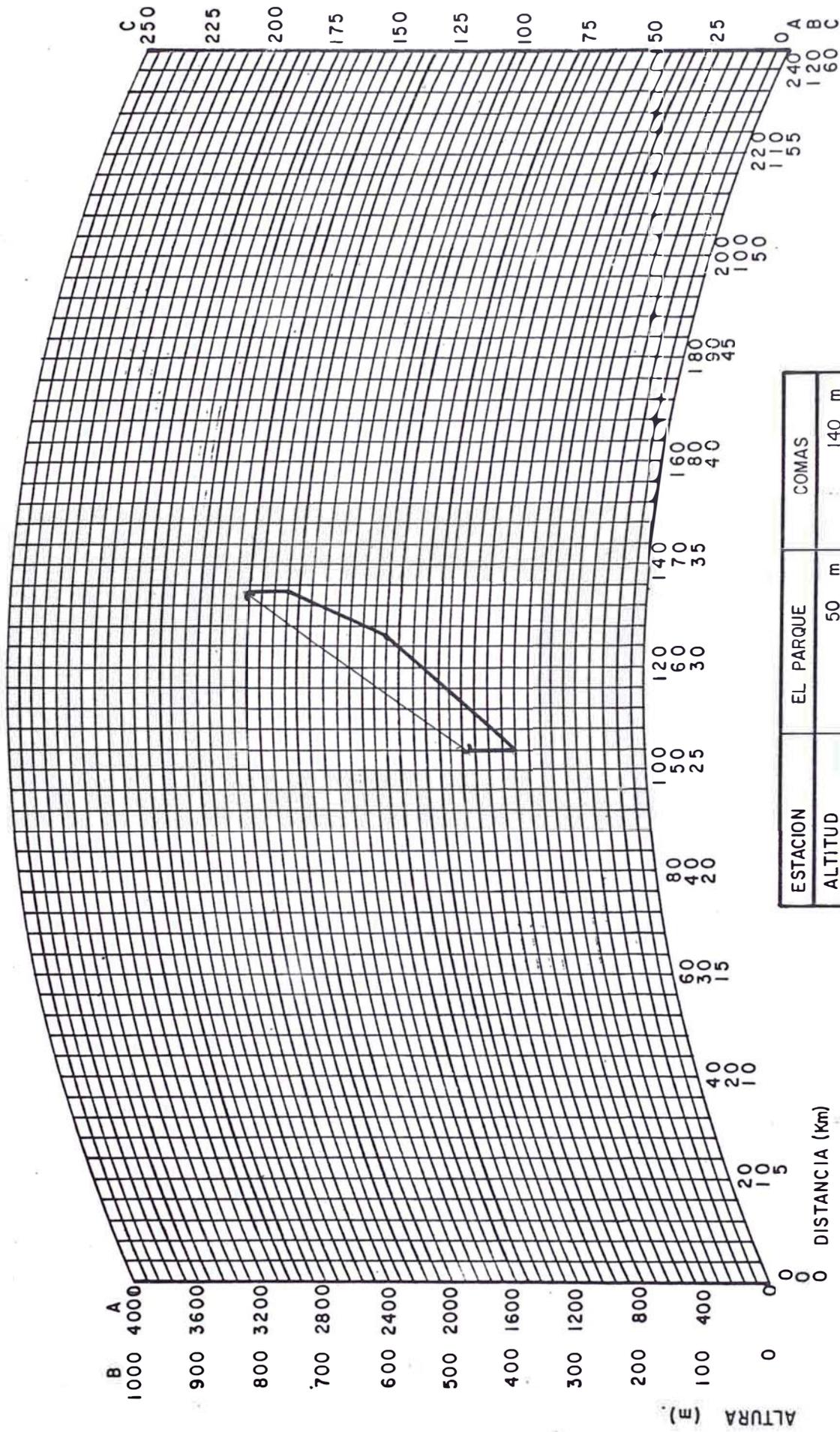
- Se ha asumido en base a las condiciones geográficas, que la interferencia reflejada es mínima, dada además a la calidad de las antenas; es necesario realizar los estudios de campo respectivos para confirmar y/o tomar medidas en caso las interferencias superen límites permisibles (implementar un sistema con diversidad..)
- Asimismo, se han considerado una mínima influencia (dado los tramos cortos y la frecuencia) de los siguientes tipos de interferencias:
  - a) Interferencia O/R (Over Reach)
  - b) Interferencia a otro sistema de radio
  - c) Interferencia por interpolarización
  - d) Interferencia a la distorsión por múltiples caminos.
- Las antenas a utilizarse para una polarización en cruce, poseen una alta directividad reduciendo a un mínimo las pérdidas por directividad.
- Perfiles de los enlaces elaborado, mostrados en la figura N° 13.

### 3.2 Diseño de ruta de Propagación:

#### Decisión de la altura de antena.-

Empleando los perfiles de los trayectos elaborado anteriormente, se determinan las alturas de las antenas con las siguientes ecuaciones de cálculo para un factor de  $K = 4/3$

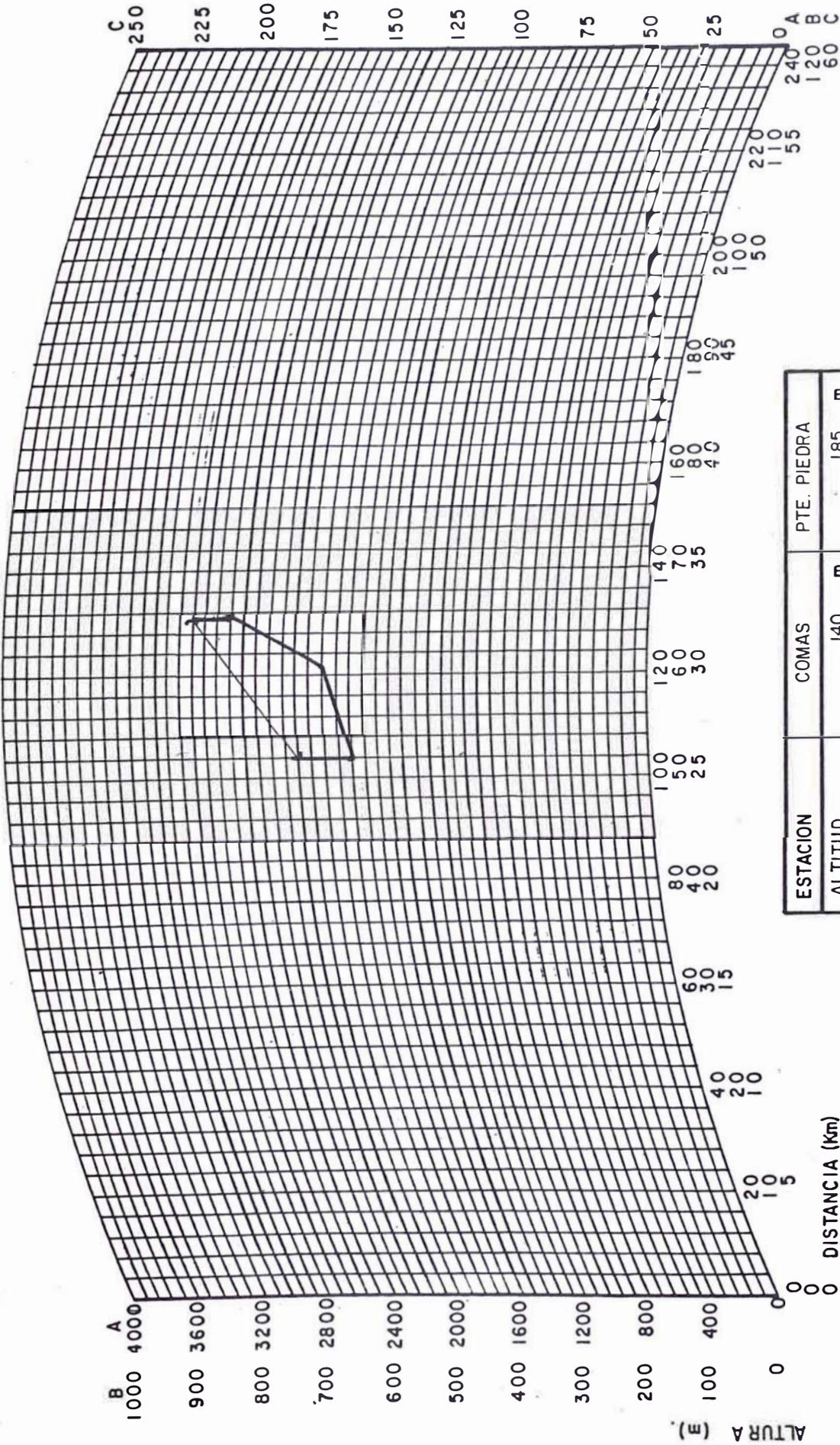
# PERFIL TERRESTRE ( K= 4/3 )



ESTACION	EL PARQUE	COMAS
ALTITUD	50 m	140 m
ANTENA(ALTURA)	20 m	20 m
LOCALIZ.	E	o
	N	o
DISTANCIA	8.1	Km

FIG. 13A

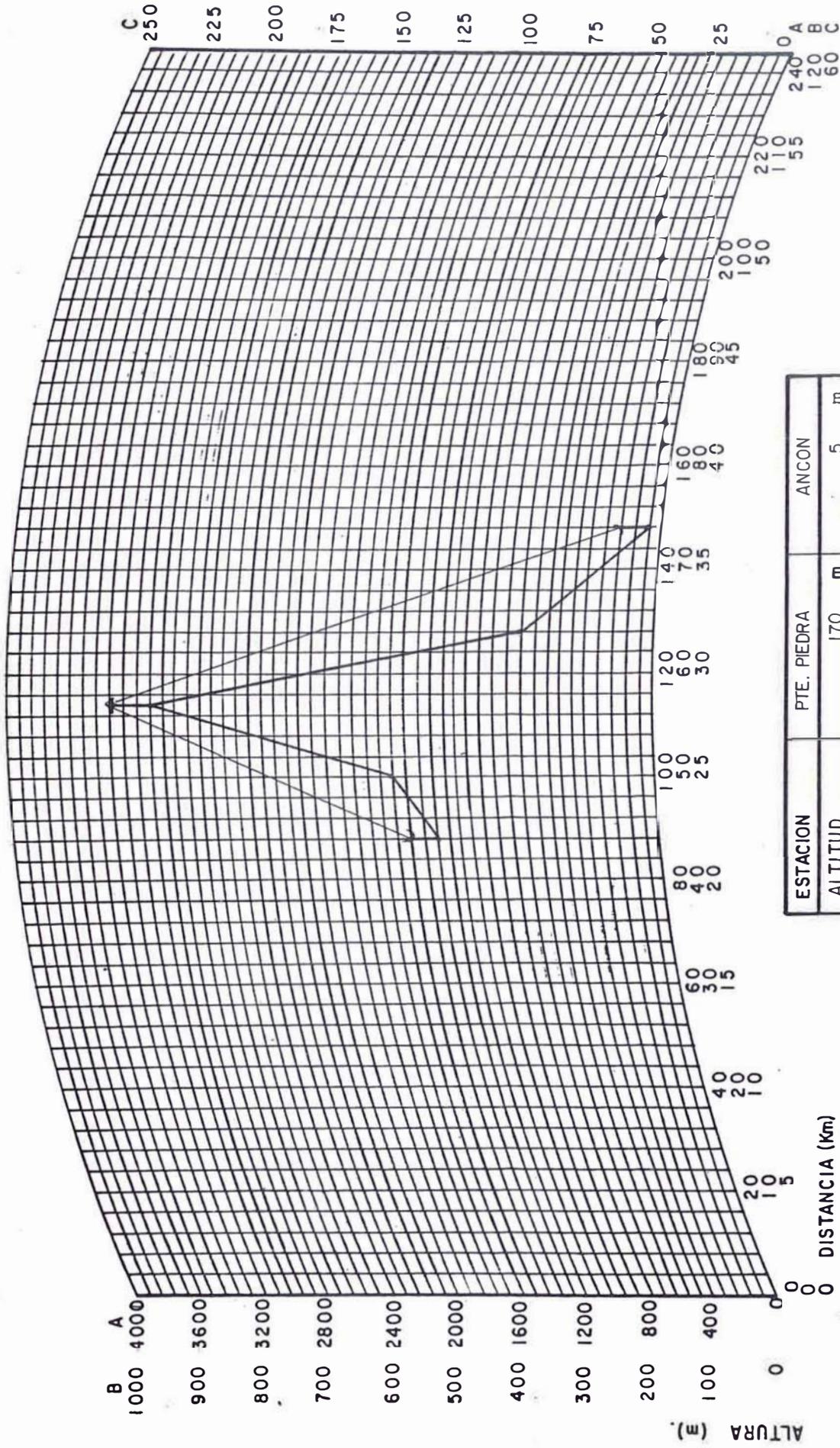
# PERFIL TERRESTRE ( K = 4/3 )



ESTACION	COMAS	PTE. PIEDRA
ALTITUD	140 m	185 m
ANTENA (ALTURA)	20 m	20 m
LOCALIZ.	E	o
	N	o
DISTANCIA	6.1	Km

FIG. 13B

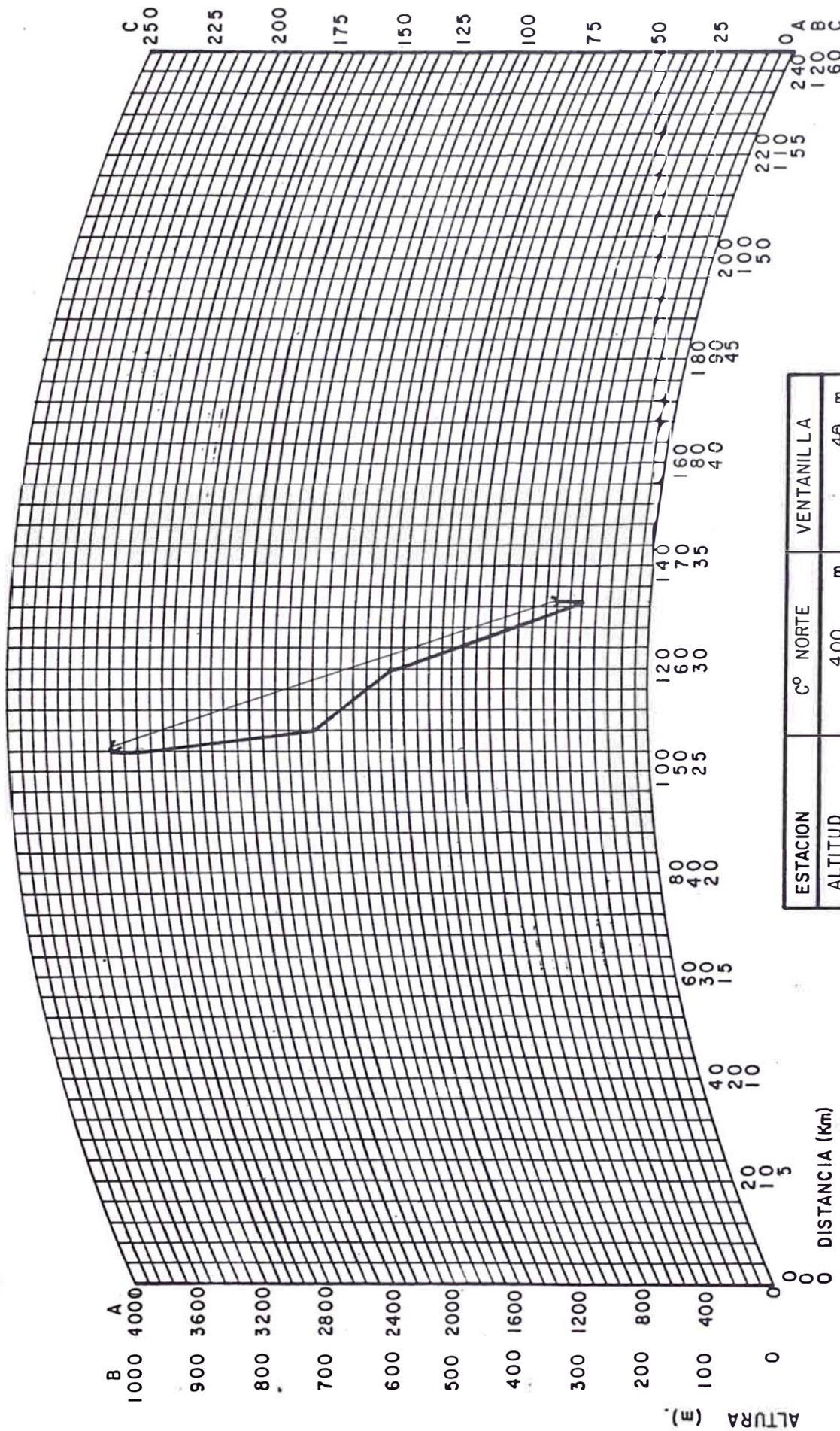
# PERFIL TERRESTRE ( $K = 4/3$ )



ESTACION	PTE. PIEDRA	ANCON
ALTITUD	170 m	5 m
ANTENA(ALTURA)	20 m	20 m
LUCALIZ.	E	o
	N	o
DISTANCIA	15.7	Km

FIG. 13 C

# PERFIL TERRESTRE ( K= 4/3 )



ESTACION	C° NORTE	VENTANILLA
ALTITUD	400 m	40 m
ANTENA(ALTURA)	20 m	20 m
LOCALIZ.	E	O
	N	O
DISTANCIA	7.6	Km

FIG.13D

$$ha1 = \frac{d}{d2} (h0 + hs) - \frac{d1}{d2} (hg2 + ha2) + \frac{d1 \times d}{2Ka} - hg1 \quad (m)$$

Siendo:

$$h0 = \frac{d1 \times d2}{d1 + d2}$$

Donde  $h0$  Primera zona de Fresnel

$hs$  : Altura del obstaculo sobre el nivel del mar

$hg1, hg2$  : Altura de las estaciones sobre el nivel del mar

$ha1, ha2$  : Altura de las antenas sobre el nivel del suelo

En la siguiente Figura N° 14 se describe la nomenclatura mencionada.

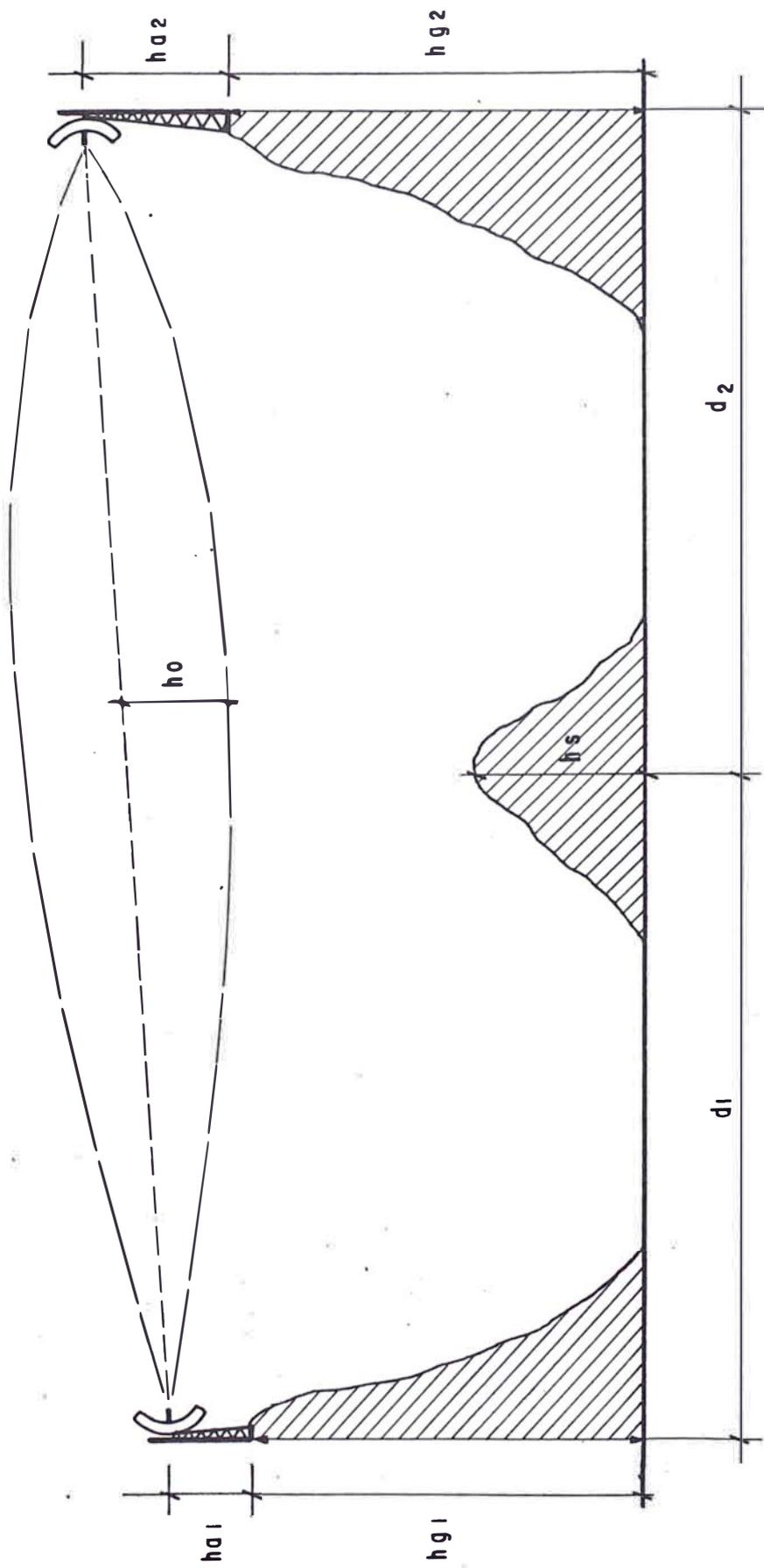
Del análisis realizado sobre los perfiles de terreno efectuado, podemos inferir que en los siguientes enlaces:

- El Parque - Comas
- Comas - Pte. Piedra
- Pte. Piedra - Ancón
- C. Norte - Ventanilla

Poseen una línea de vista muy buena, a tal punto que teóricamente cualquier altura de antena es válida, pero para efectos prácticos hemos asignado los siguientes valores:

POSICIONES	ALTURA (h)m
El Parque	20
Comas	20
Pte. Piedra	20
C. Norte	20
Ancón	20
Ventanilla	20

ESQUEMA DE UN ENLACE



$K_n = 4/3$

-FIGURA N° 14

Para poder prevenir degradación en las señales de radio por la proyección de construcciones de edificios en el futuro.

#### Estudio sobre Onda Reflejada.-

Habiendo expuesto las condiciones del diseño de los enlaces, se debe considerar en primera instancia la realización del estudio de campo para determinar la existencia de ondas reflejadas; en caso se confirmase la existencia de ellas, se debe adoptar un sistema con diversidad para evitar el desvanecimiento tipo K, pero examinando las condiciones geográficas del trayecto y haciendo un análisis breve de ello, podemos deducir que la influencia de las ondas reflejadas será mínima, considerando que la pérdida de potencia de onda reflejada (  $L_r$  ) será mayor que 7 dB a la frecuencia de 7 GHz , lo que podemos inferir de la siguiente ecuación:

$$(D/U)_r = L_r + D01 + D02$$

$D01, D02$  pérdida por la directividad de antena

Si  $(D/U) < 10$  db , se debe adoptar recepción por diversidad

En el siguiente cuadro a manera de ilustración se muestra una tabla de pérdida de reflexión para varios tipos de terrenos.

CUADRO N° 9  
 TABLA DE PERDIDA DE REFLEXION

<i>Superficie frecuencia</i>	<i>Agua</i>	<i>Arrozal con agua</i>	<i>Campo seco</i>	<i>Ciudad, Bosque, Monte</i>
2 GHz	0	2	4	10
4 GHz	0	2	6	14
6 GHz	0	2	6	14
11 GHz	0	2	8	16

### 3.3 Diseño del Sistema Antena:

#### 3.3.1 Elección de la clase de antena.-

La desición de la clase de antena a emplear, se realiza determinando la ganancia necesaria para mantener la potencia standard en la entrada del receptor mediante la siguiente ecuación de cálculo:

$$G_{rs} + G_{ts} = P_{rs} + T_0 + L_f - P_t \quad (\text{db})$$

$$T_0 = 92.4 + 20 \log d + 20 \log ( f \text{ (GHz)})$$

Donde:

$P_{rs}$  : Potencia standard a la entrada del receptor

$T_0$  : Pérdida de espacio libre

$L_f$  : Pérdida en los alimentadores del transmisor y receptor.

$G_{rs}, G_{tr}$  : Ganancia standard de las antenas del transmisor y receptor.

#### 3.3.2 Diseño de Reflector.-

Para la desición del tamaño del reflector se hace necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$G_p = P_{rs} + T_{01} + T_{02} - ( G_t + G_r ) - P_t \quad (\text{db})$$

Donde:

$P_{rs}, G_t, G_r, P_t$  son iguales a la anterior ecuación

$T_{01}$  y  $T_{02}$  son pérdidas en el espacio libre

A continuación, describimos las características generales de los equipos de un proveedor, que servirá como referencia para realizar los cálculos de diseño del sistema.

## CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS

### Radio

Frecuencia de Operación	7.125 - 7.725 GHz
Canalización	Rec. 384 - 2
Potencia de salida	+ 27 dbm
Capacidad	480 canales tel.
Tipo de Modulación	4 PSK
Velocidad de Transmisión	34,368 Mbit/s
Figura de Ruido	5.5 db
Umbral (por $10^{-3}$ BER)	83.5 dbm
Umbral (por $10^{-7}$ BER)	77.5 dbm
Atenuación circuito derivación	0.9 db
Consumo Transreceptor (+28 dbm)	15.5 W
Consumo Modem (34 Mbit/s)	16.5 W

### Antenas

Díametro mt.	1.8	3.0	2.4	3.6
Ganancia db	38.6	43.3	42.3	45.6
Relación Frente/espalda db	57	66	49	53
VSWR	1.07	1.04	1.04	1.04

### Feeder

Pérdida Alimentador	4.5 db/100mt.
VSWR	1.06

### 3.4 Evaluación Calidad del Sistema:

El presente proyecto se ha considerado que la tasa de errores se degrada por la presencia del ruido térmico, distorsión, interferencias y las imperfecciones de los equipos. Los factores de degradación de los enlaces se han clasificado de la siguiente manera:

	Imperfección de los Equipos		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distorsión intersimbolo</li> <li>- Imperfecciones del modulador-demodulador</li> <li>- Degradación causada por el tiempo y el medio ambiente</li> </ul>
C/NT Valor Teórico		Fijos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distorsión por Eco</li> <li>- Interf. F/B del Tx</li> <li>- Interf. canales adyacentes</li> </ul>
	Ruidos	Variables	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruido térmico</li> <li>- Interf. cocanal</li> <li>- F/B de diferente lazo O/R</li> <li>- Interf. canal adyacente</li> <li>- F/B diferente lazo mismo uso</li> <li>- Interf. Tx Rx</li> <li>- Distorsión Propagación debido a Fading multilazo</li> </ul>

Para determinar los estándares de transmisión del sistema se consideran, análogamente a los sistemas FDM, dos tipos de requerimientos: el primero considera la norma de tiempo corto en condiciones de desvanecimiento y el segundo la norma de tiempo largo. En todo sistema PCM por microondas, si cumple con las

normas de tiempo corto satisface también las normas de tiempo largo; para el presente sistema se ha adoptado una tasa de errores de  $1 \times 10^{-6}$  como norma de tiempo corto.

Para estimar la tasa de errores se han seguido los siguientes pasos:

- Cálculo del valor de C/N (correspondiente a los factores variables)
- Se adicionan los ruidos fijos
- Se disminuye el factor de imperfección de los equipos.
- Se obtiene el C/N (correspondiente al ruido total)
- Se determina la tasa de errores correspondientes al valor de C/N

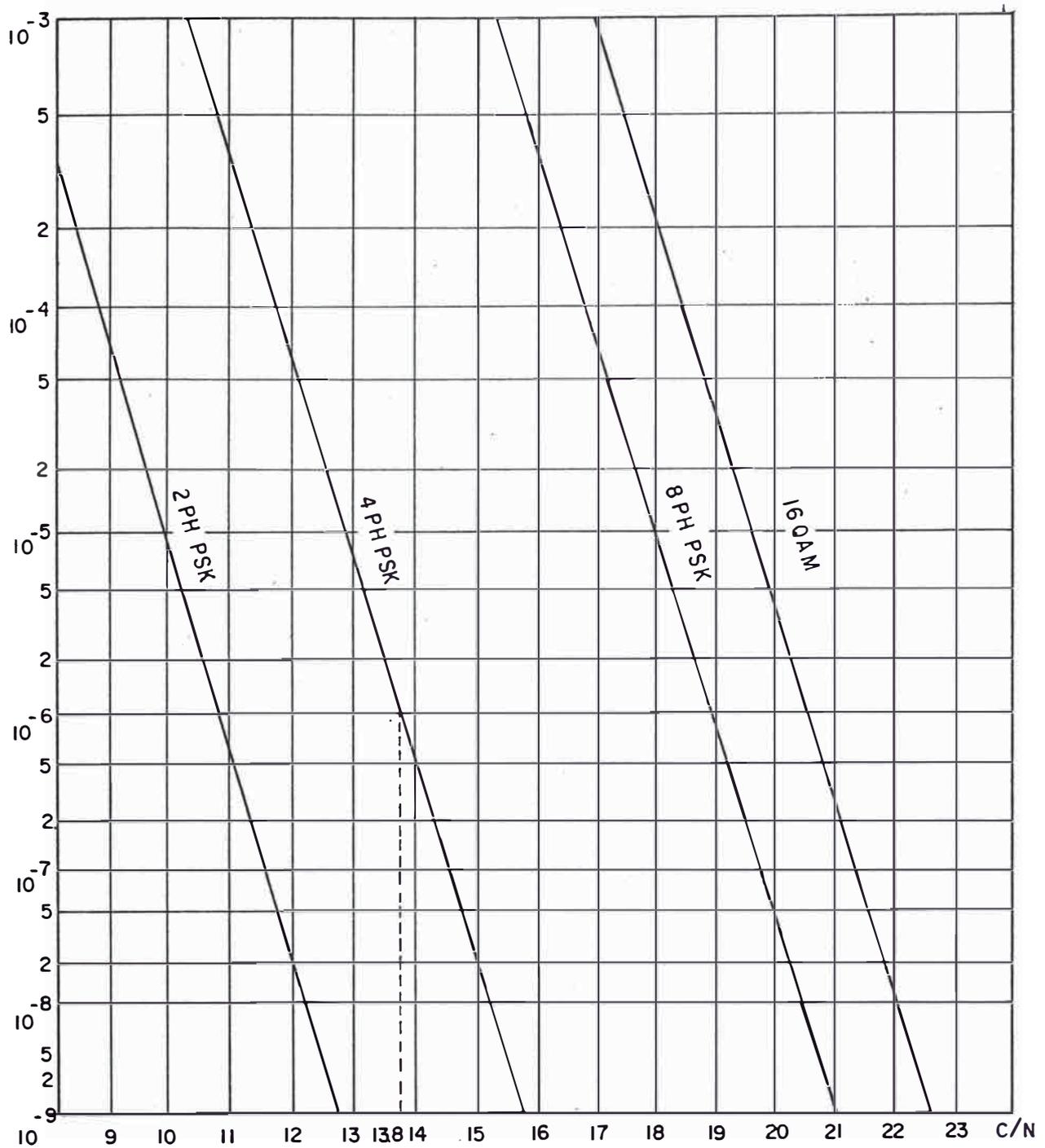
Las relaciones teóricas entre la tasa de error de bitio (BER) y C/NT (valor teórico se muestra en la figura N° 15), para el sistema de modulación 4 DPSK; considerando un BER de  $1 \times 10^{-6}$  obtenemos un valor de C/NT = 13.8 dB y asumiendo una degradación de 5 dB por imperfecciones de los equipos se requiere un C/N = 18.8 dB para obtener un BER de  $1 \times 10^{-6}$

### 3.5 Procedimiento de Cálculo de Calidad por Sistema de Radio:

Según recomendación 594 - 3 CCIR informe 930 anexo 1, los porcentajes de tiempo relativo a las siguientes tasas de errores: esta dado por la siguiente expresión:

a) Porcentaje de tiempo relativo para un BER =  $10^{-7}$

$$\frac{1 \text{ (Km)}}{2500} \quad 1\% = 0.112\% \quad (L < 280 \text{ Km})$$



**FIG. 15** COMPORTAMIENTO DE BER  
 (Detección Coherente con  
 Codificación Diferencial)

b) Porcentaje de tiempo relativo para un BER =  $10^{-3}$

$$\frac{1 \text{ (Km)}}{2500} \cdot 0.05\% = 0.0056\% \quad (L < 280\text{Km})$$

Por lo tanto, los porcentajes de tiempo relativos a dicho

BER para el sistema de ramal Norte son los siguientes:

<u>ENLACE</u>	<u>BER = <math>10^{-7}</math></u>	<u>BER = <math>10^{-3}</math></u>	<u>d (Km)</u>
El Parque - Comas	$3.08 \times 10^{-3}$	$1.54 \times 10^{-4}$	7.7
Comas - P. Piedra	$2.36 \times 10^{-3}$	$1.18 \times 10^{-4}$	5.9
P. Piedra - C. Norte	$2.68 \times 10^{-3}$	$1.34 \times 10^{-4}$	6.7
C. Norte - Ventanilla	$2.88 \times 10^{-3}$	$1.44 \times 10^{-4}$	7.2
C. Norte - Ancón	$3.28 \times 10^{-3}$	$1.64 \times 10^{-4}$	8.2

### 3.5.1 Ecuaciones de Cálculo.-

a) Cálculo de Calidad por Tramo.-

$$1) \text{ Atenuación por } = 32.44 + 20 (\log. f + \log D)$$

Espacio Libre

Donde:

$$f = 7425 \text{ MHz (frecuencia portadora)}$$

$$D = \text{Distancia entre terminales}$$

2) Nivel recibido

$$\text{Sin Fading (NR)} = \text{PTX} - A + G$$

$$\text{PTX} = 27 \text{ dBM (Pot. de transmisión)}$$

$$A = \text{Suma de atenuaciones}$$

$$G = \text{Ganancia de (38.6) Antenas}$$

3) Fading superado

Por menos del 20%

En el peor mes ( A F = 20%)

$$AF\ 20\% = 6.73 e^{1.15 \log P_0} \quad \text{para } P_0 \leq 2$$

$$AF\ 20\% = 6.51 \pm 10 \log P_0 \quad \text{para } P_0 > 2$$

Donde:

$$P_0 = 0.3 AB \frac{f}{4} \left( \frac{D}{50} \right)^3$$

$P_0$  = Parámetro característico del tramo en función de:

A = Coeficiente de rugosidad igual a 1

B = Coeficiente climático igual a 2

f = 7575 Mhz

D = Distancia entre terminales

4) Nivel recibido con Fading (NF)

$$NF = NR - AF\ 20\%$$

5) Margen relativo umbral BER  $10^{-7}$  ( $M \cdot 10^{-7}$ )

$$M \cdot 10^{-7} = \text{Umbral BER} - 10^{-7} - NR$$

6) Margen relativo umbral BER  $10^{-3}$  ( $M \cdot 10^{-3}$ )

$$M \cdot 10^{-3} = \text{Umbral BER} - 10^{-3} - NR$$

7) Tiempo porcentual relativo umbral BER  $10^{-3}$  ( $M \cdot 10^{-3}$ )

La fórmula empírica para evaluar las probabilidades de Fading superior a los 15 dB (peor mes) es:

$$P = P_0 \cdot 10^{-M/10} = P \text{ (absoluto)} \times 100 = P\%$$

$$M = \text{margen relativo umbral } 10^{-3} \text{ y/o } 10^{-7}$$

En los enlaces digitales se deben considerar también el fenómeno del Fading selectivo que aumenta la probabilidad de superar los umbrales de  $10^{-7}$  y  $10^{-3}$ .

La fórmula para calcular este Fading selectivo ( $P_s$ ) es:

$$P_s = N \times 43 \times A \times B \left( t / t_s \right)^2 = P_s \text{ (absoluto)} \times 100$$

$$= P_s \%$$

Donde:

$AB$  = coeficiente igual 1 para BER  $10^{-3}$  e igual a 2.5 para BER  $10^{-7}$

$n$  = fracción de unidad de tiempo con actividad de fading

$$n = (P_0 / \log 2) \left( 1 + 10^{9/5} \times P_0^{0.6} + 10^{0.318} \times P_0^2 \right)^{-1/2}$$

$t_s$  = tiempo de símbolo

$$t_s = \frac{\log 2 \text{ Niv. Mod.}}{B_r} \quad \text{Niv. Mod.} = 4, \text{ Para } 34 \text{ Mb/s (4 PSK)}$$

$B_r$

$$\text{Niv. Mod.} = 15 \quad 140 \text{ Mb/s (16QAM)}$$

$$B_r = 34,368 \text{ y/o } 139,264 \times 10^6$$

$t$  = retardo medio de eco

$$t = 0.7 \text{ ns} \times \frac{D^{1.5}}{50} \quad D = \text{Dist. entre terminales}$$

8) Tiempo porcentual mejorado por diversidad ( $P^1$ )

La utilidad de la diversidad de frecuencia permite una mejora en la probabilidad de superar los umbrales de BER  $10^{-7}$  y BER  $10^{-3}$  según

$$P^1 = \frac{P^2}{m}$$

$m$  = coeficiente de no correlación entre canales

$$m = n (1 - K^2)$$

$$K^2 = e^{-2.5 \text{ AF/F}}$$

El valor de  $P^1$  conseguido será multiplicado por 2 para considerar la presencia del equipo de conmutación

## 9) Espejo Pasivo

$$A \text{ (dB)} = 20 \log \left( \frac{4 \pi L_1 L_2 \sin^2 \phi}{\lambda^2} \right) + L_1 + L_2$$

$\lambda$  = Longitud de onda (mts)

$L_1$  = Dist. Rep. pasivo y localidad más cercana

$L_2$  = Dist. Rep. pasivo y localidad más lejana

$A_1$  = Superficie

$\phi$  = Angulo

Back to Back

$$A \text{ (dB)} = (A_1 + A_2) - A_3 + G$$

Umbral del Receptor

$$\text{BER} = 10e^{-7} = -78.5 \text{ dBm}$$

$$\text{BER} = 10e^{-3} = -82.5 \text{ dBm}$$

Diversidad de Frecuencia

$$\Delta F = 80 \text{ MHz}$$

Coefficiente climático

2

Coefficiente de rugosidadDiametros de Antena

$$2.4 \text{ m}$$

Atenuación Feeder (dB/100m)

4.5

Atenuación con Branching

1 dB

Longitud Feeder

20 m

Atenuador RF

15

Porcentaje Fading Select. (BER =  $10e-3$ ) = 0.00002

b) Resultados de Cálculos

En el siguiente cuadro resumimos los resultados de cálculo por tramo, además en la figura N° 16 se muestra el diagrama de interferencias del Ramal Norte.

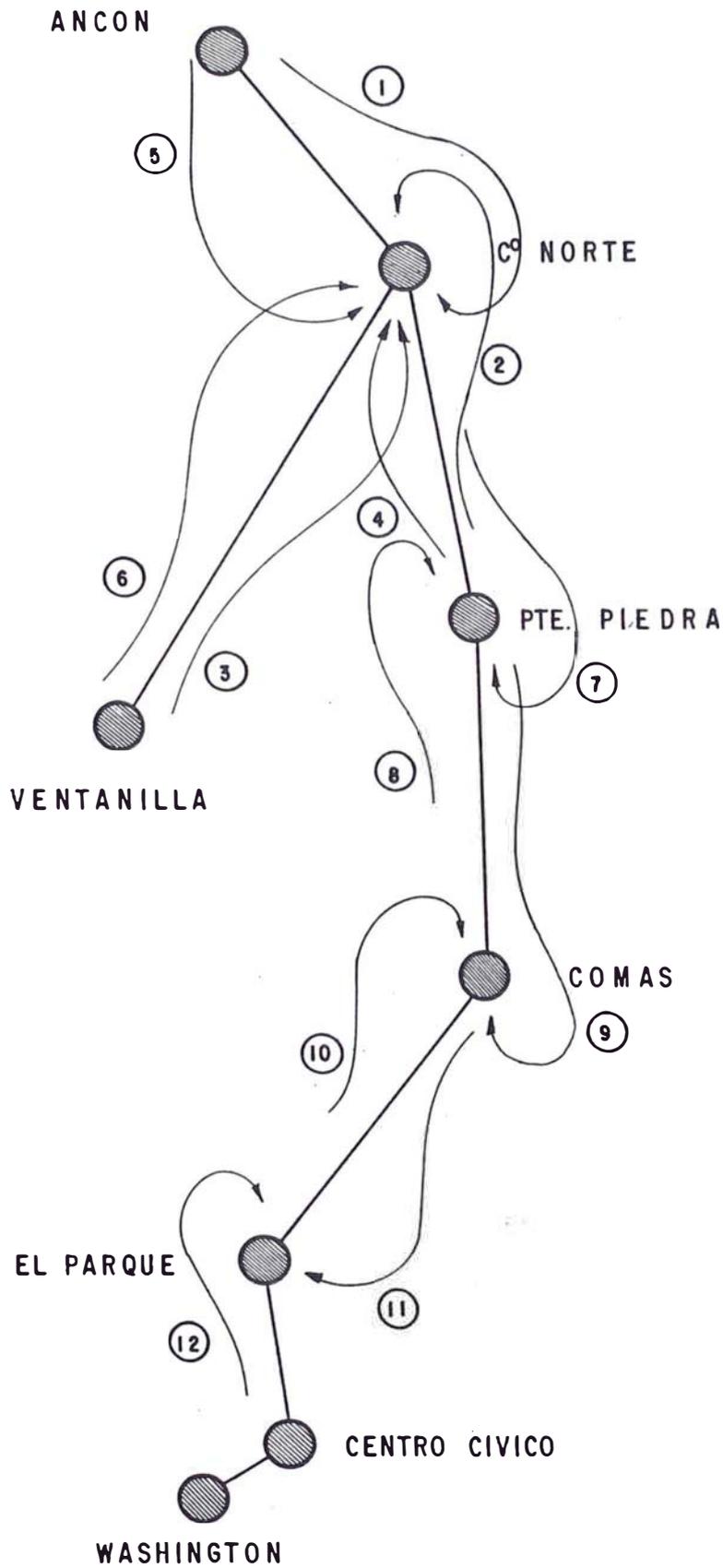


FIGURA N° 16  
 RUTAS DE INTERFERENCIA - RAMAL NORTE

RED DE RADIOENLACE - RAMAL NORTE

TABLA CALCULO DE TRAMO

DATOS DE ENTRADA	EL PARQUE		COMAS		P. PIEDRA		C. NORTE	
	COMAS	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	ANCON	VENTANILLA		
Potencia Transmítida (DBM)	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
Cifra de Ruido del Receptor (DB)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Umbral del Recep. (BER=10E-7) (-DBM)	78.5	78.5	78.5	78.5	78.5	78.5	78.5	78.5
Umbral del Recep. (BER=10-E-3) (-DBM)	82.5	82.5	82.5	82.5	82.5	82.5	82.5	82.5
Frecuencia (MHZ)	75.75	75.75	75.75	75.75	75.75	75.75	75.75	75.75
Diversidad de Frecuencia (MHZ)	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
Capacidad Telefonica	480	480	480	480	480	480	480	480
Coefficiente Climático	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Coefficiente de Rugosidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Longitud del Tramo (KM)	7.70	7.70	5.90	6.70	8.20	7.20	7.20	7.20
Diversidad de Espacio (M)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diámetro Antena (A) (M)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Diámetro Antena (B) (M)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Ganancia Antena (A) (DB)	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5
Ganancia Antena (B) (DB)	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5

DATOS DE ENTRADA	EL PARQUE		COMAS	P. PIEDRA	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	C. NORTE	C. NORTE
	COMAS	P. PIEDRA							
Longitud Feeder (A)	(M)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Longitud Feeder (B)	(M)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Atenuación Feeder (A)	(DB/100 M)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Atenuación Feeder (B)	(DB/100 M)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Otras Atenuaciones Atenuador RF	(DB)	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Atenuación de Branching (A+B)	(DB)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Toletrancia	(DB)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Atenuación del Tramo	(DB)	127.7	125.4	126.5	128.3	127.1	128.3	127.1	127.1
Nivel sin Fading	(-DBM)	41.7	39.4	40.5	42.3	41.1	42.3	41.1	41.1
Fading superado por menos del 20% del Peor Mes	(DB)	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Nivel con Fading	(-DBM)	42.03	39.73	40.83	42.63	41.43	42.63	41.43	41.43
Margen Rel. al Umb. (BER=10E-7)	(DB)	36.80	39.10	38.00	36.20	37.40	36.20	37.40	37.40
Margen Rel. al Umb. (BER=10E-3)	(DB)	40.80	43.10	42.00	40.20	41.10	40.20	41.10	41.10
Tiempo % Rel. al Umb. (BER=10E-7)		0.00006	0.00003	0.00003	0.00009	0.00005	0.00009	0.00005	0.00005
Tiempo % mejorado por diversidad		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Tiempo % Rel. al Umb. (BER=10E-3)		0.00003	0.00001	0.00001	0.00004	0.00002	0.00004	0.00002	0.00002
Tiempo % mejorado por diversidad		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001

## NOTAS

TRAMO N° 1 OTRAS ATENUACIONES = ATENUADOR RF

TRAMO N° 2 OTRAS ATENUACIONES = ATENUADOR RF

TRAMO N° 3 OTRAS ATENUACIONES = ATENUADOR RF

TRAMO N° 4 OTRAS ATENUACIONES = ATENUADOR RF

TRAMO N° 5 OTRAS ATENUACIONES = ATENUADOR RF

### 3.6 Cálculo de c/n requerido.-

En este rubro, se calcula el valor de c/n necesario para que la recepción de la información mantenga el mismo BER requerido; asumiendo que la degradación por imperfecciones del mismo equipo sea de 5 dB. Para un sistema de modulación de 4 PSK se obtiene un c/nt (teórico) de 13.8 dB para un BER de  $10^{-6}$ .

#### 3.6.1 Ecuaciones de Cálculo

a) Ruido Térmico

$$(C/No) = 10 \log \frac{Pr}{KTB \text{ NF}}$$

$$(C/No) = Pr - NF - 10 \log B + 113.9$$

Donde:

$(C/No)$  = Nivel portadora a ruido térmico

$Pr$  = Nivel de entrada de receptor durante desvanecimiento (dBm)

NF = Figura de ruido de receptor (dB)

B = Ancho de banda de ruido en MHz

b) Porcentaje de tiempo normalizado relativo a un BER de  $10^{-7}$

$$T = t(\%) \frac{d}{D}$$

Donde:

$t$  = 1% para un BER de  $10^{-7}$

$D$  = 2500 Km., circ. equivalente de referencia

$d$  = distancia entre los tramos en Km.

$$c) Fd = (C/No) - (C/N) d$$

Donde:

$Fd$  = profundidad de desvanecimiento

$(C/N)d = 25 \text{ dB}$  = dato técnico de un proveedor

$$d) Pti = \frac{Pr}{Fd} = Pr \text{ (dBm)} - Fd \text{ (dB)} = A$$

Donde:

$Pti$  = probabilidad de interrupción

$$Pti = 10^{-A/10} \times 100\%$$

### 3.6.2 Factores de Degradación:

- Constante.- es generado en forma independiente de la ocurrencia de desvanecimientos

$$Eco : 40 \text{ dB}$$

$$F/B : 57 \text{ dB}$$

Interpolarización:

Canal adyacente : 40 dB

Frecuencia imagen : 40 dB

tx y Rx : 50 dB

- Variables.- varía de acuerdo al trayecto de propagación, tales como desvanecimientos o intensidad de lluvias y son las siguientes:

Ruido térmico

Ruido de interferencia:

$$F/B = 57 \text{ dB}$$

$$O/R = 50 \text{ dB}$$

$$F/S = 50 \text{ dB}$$

### 3.6.3 Resultado de los cálculos

En el siguiente cuadro se muestran los resultados efectuados para encontrar el C/N necesario:

CUADRO Nº 11

ITEM	ENLACE	1	2	3	4	5
	EL PARQUE	COMAS	P. PIEDRA	P. PIEDRA	C. NORTE	C. NORTE
	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	VENTANILLA	ANCON	
Dist. del Tramo	(KM)	7.7	5.9	6.7	8.2	7.2
Potencia Tx	(dBm)	27	27	27	27	27
Long. de Alimentación (A + B)	M	40	40	40	40	40
Atenuación Alimentación (A+B)	dB	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Ganancia Antenas Tx + Rx	(dB)	77.2	77.2	77.2	77.2	77.2
Otras Atenuaciones	(-dB)	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4
Atenuación de Tramo	(-dB)	127.7	125.4	126.5	128.3	127.1
Potencia Rx con Fading	(-dBm)	42.03	39.73	40.83	42.63	41.43
C/N	(dB)	54.47	56.77	55.67	53.87	55.07
Prof. de Desvanecím. Fd	(dB)	29.47	31.77	30.67	28.87	30.07
T (%) Norma		.003	.0016	.0027	.0029	.0033
Pti (%) calculado		.000008	.000008	.000008	.000008	.000008
C/N (necesario)	dB	19	19	19	19	19

## CAPITULO IV CALCULO DE EQUIPOS

El equipamiento necesario para el sistema Ramal Norte, incluirá el equipo de supervisión centralizada que permitira a la CPTSA un procedimiento ágil y flexible para administrar la operación y mantenimiento de los enlaces; asimismo, dicho equipamiento consistirá en lo principal de:

- Multiplexores Numéricos (2/8 Mb/s, 8/34 Mb/s)
- Equipo de Radio
- Equipo de Conmutación Automática
- Sistema de Antenas
- Equipo de Supervisión Centralizada

Para efectos de realizar los cálculos, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La capacidad del sub-bastidor tipo DT8-M es de 4 canales tributarios de 2048 Kb/s.
- Cada sub-bastidor tipo T-4ML puede incluir hasta 4 Mux. 2/8 Mb/s.
- Un sub-bastidor tipo DT-34-M tiene una capacidad de 4 canales tributarios 8448 Kb/s.
- El sub-bastidor tipo T-2M34 incluye 2 Mux. 8/34 Mb/s.

### 4.1 Equipo Múltiplex Digital de Segundo Orden.-

#### 4.1.1 Funciones:

El equipo es utilizado para múltiplexar en el lado de transmisión, 4 trenes de datos digitales asincrónicos

de 2.048 kb/s, de acuerdo con la norma del CCITT o del CEPT, en un único tren de datos digitales de alta velocidad de 8.448 kb/s, mientras que en el lado de recepción se demultiplexa este tren de 8.448 kb/s en los 4 trenes originales de 2.048 kb/s.

El equipo Múltiplex Digital de Segundo Orden se aplica a un Sistema de Transmisión Digital por Microondas o a un Sistema de Transmisión por Fibra Óptica, etc., en combinación con el Equipo Múltiplex PCM de Primer Orden y el Equipo Múltiplex Digital de Tercer Orden.

#### 4.1.2 Parametros del Sistema:

- Capacidad de Múltiplex	Cuatro trenes de 2,048 kb/s a un tren de 8,448 kb/s
- Número de canales telefónicos por tributario	30 canales
- En el terminal multiplexado	120 canales
- Método de multiplexaje	Intercalación de bits
- Sincronización	Justificación de impulso positivo en una determinada trama
111	Justificación
000	No justificación
- Longitud de trama	848 bits por trama
- Bits por tributario	206 bits por trama

- Estructura de trama Según la última  
Rec. G742 del CCITT

#### 4.1.3 Especificaciones:

##### Interfaz Digital

- Velocidad de transmisión de bits
  - Lado baja velocidad 2,048 kb/s + 50 ppm
  - Lado de alta velocidad 8,448 kb/s + 30 ppm
- Impedancia
  - Lado de baja velocidad 75 ohmios, desbalanceada
  - Lado de alta velocidad Idem
- Formato de Código
  - Lado de baja velocidad HDB-3 o AMI  
(50% de factor de forma)
  - Lado de alta velocidad Idem
- Amplitud del impulso de salida "UNO"
  - Lado de baja velocidad Segun la última Rec. G 742  
del CCITT
  - Lado de alta velocidad Idem
- Amplitud residual "CERO" (Fig. N° 16-B)
  - Lado de baja velocidad 0 + 0.237V
  - Lado de alta velocidad Idem
- Límites de operación
  - Lado de baja velocidad Pérdida en el cable de in-  
terconexión de 6 dB a 1024 kHz
  - Lado de alta velocidad Pérdida en el cable de inter-  
conexión de 12 dB a 4224 kHz.

#### 4.2 Equipo Múltiplex Digital de Tercer Orden.-

##### 4.2.1 Funciones:

El equipo ofrece múltiples ventajas debido a la estructura de su bastidor tipo "slim", así como a la utilización de Circuitos Integrados de alta velocidad de más reciente tecnología.

El equipo es utilizado para multiplexar en el lado de transmisión, 4 trenes de datos digitales asincrónicos de 8.448 kb/s, de acuerdo con la norma del CCITT o del CEPT, en un único tren de datos digitales de alta velocidad de 34.368 kb/s, mientras que en el lado de recepción se demultiplexa este tren de 34.368 kb/s en los 4 trenes originales de 8.448 kb/s.

El Equipo Múltiplex Digital de Tercer Orden se aplica a un Sistema de Transmisión Digital por Microondas o a un Sistema de Transmisión por Fibra Optica, etc., en combinación con el Equipo Múltiplex PCM de Primer Orden y el Equipo Múltiplex Digital de Segundo Orden.

##### 4.2.2 Parámetros del Sistema:

- Capacidad de múltiplex                      Cuatro trenes de 8.448  
kb/s en un tren de 34.368  
kb/s
- Número de canales tele-                      120 canales  
fónicos por un tributario

<i>En el terminal</i>	
multiplexado	480 canales
- Método de multiplexaje	Intercalación de bits
- Sincronización	Justificación de impulso positivo en determinada trama
111	Justificación
000	No justificación
- Longitud de trama	1.536 bits por trama
- Bits por tributario	378 bits por trama
- Estructura de trama	Según la última Rec. G751 del CCITT

#### 4.2.3 Especificaciones:

<i>Interfaz Digital</i>	
- Velocidad de transmisión de bits	
Lado de baja velocidad	8.448 kb/s $\pm$ 30 ppm
Lado de alta velocidad	34,368 kb/s $\pm$ 20 ppm
- Impedancia	
Lado de baja velocidad	75 ohmios, desbalanceada
Lado de alta velocidad	Idem
- Formato de Código	
Lado de baja velocidad	HDB-3 o AMI (50% de factor de forma)
Lado de alta velocidad	Idem
- Amplitud del impulso de salida	"UNO"

Lado de baja velocidad	Según la última Rec. CCITT
Lado de alta velocidad	Idem
- Amplitud residual "CERO"	
Lado de baja velocidad	$0 \pm 0,237V$
Lado de alta velocidad	$0 \pm 0,1V$
- Límites de operación	
Lado de baja velocidad	Pérdida en el cable de interconexión de 6 dB a 4.224 kHz
Lado de alta velocidad	Pérdida en el cable de interconexión de 12 dB a 17.184 kHz

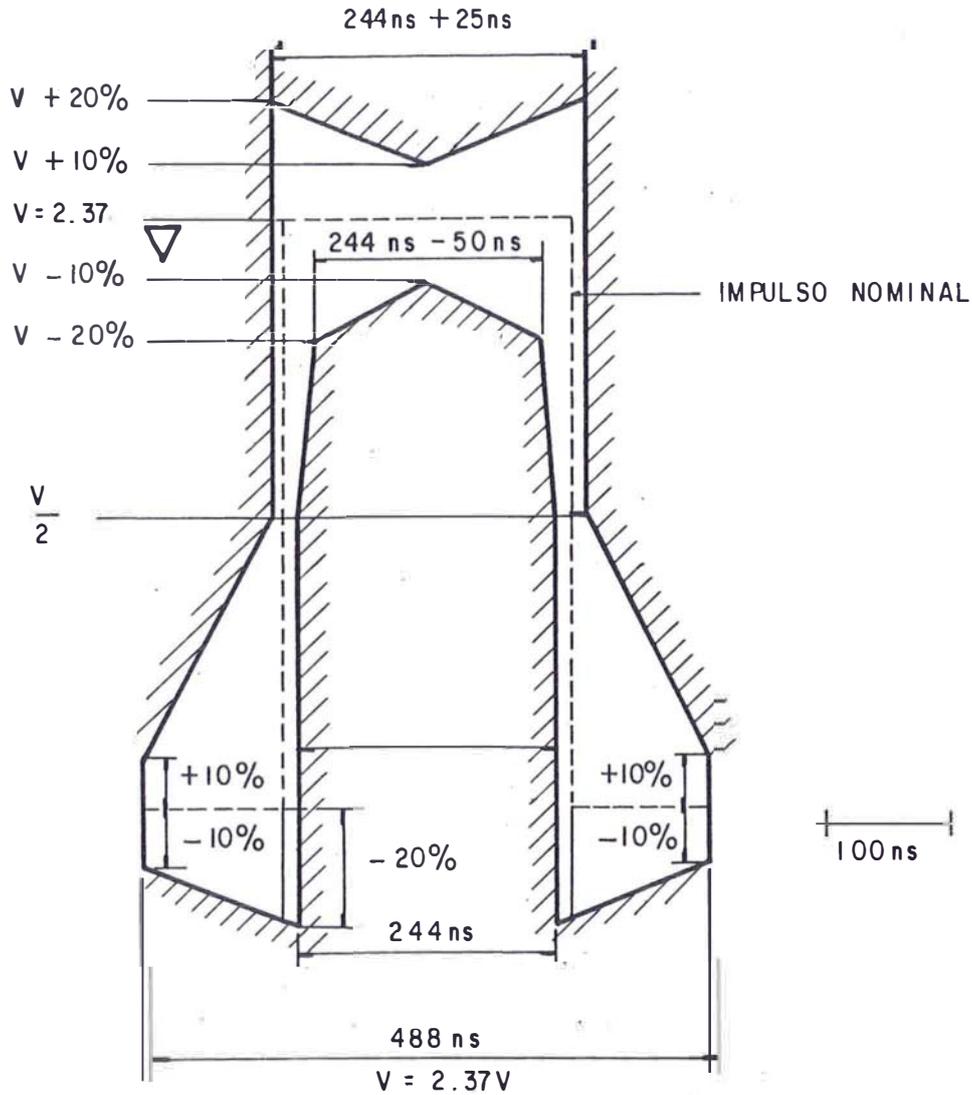
Ver Figuras N° 17, 18 y 19.

#### 4.3 Distribución de los Equipos e Interconexión.-

En este rubro se describe la lista de equipos y materiales a utilizarse por enlace, con la relación detallada de los precios unitarios y totales en dolares.

En la figura N° 20, se muestra el esquema Básico de la Interconexión entre equipos por estación.

# MASCARA DE IMPULSOS EN LA INTERFAZ DIGITAL DE 2,048 Kb/s



50% DEL CICLO DE TRABAJO  
RZ = RETORNO A CERO.

FIGURA N° 17

# MASCARA DE IMPULSOS EN LA INTERFAZ DIGITAL DE 34,368 Kb/s

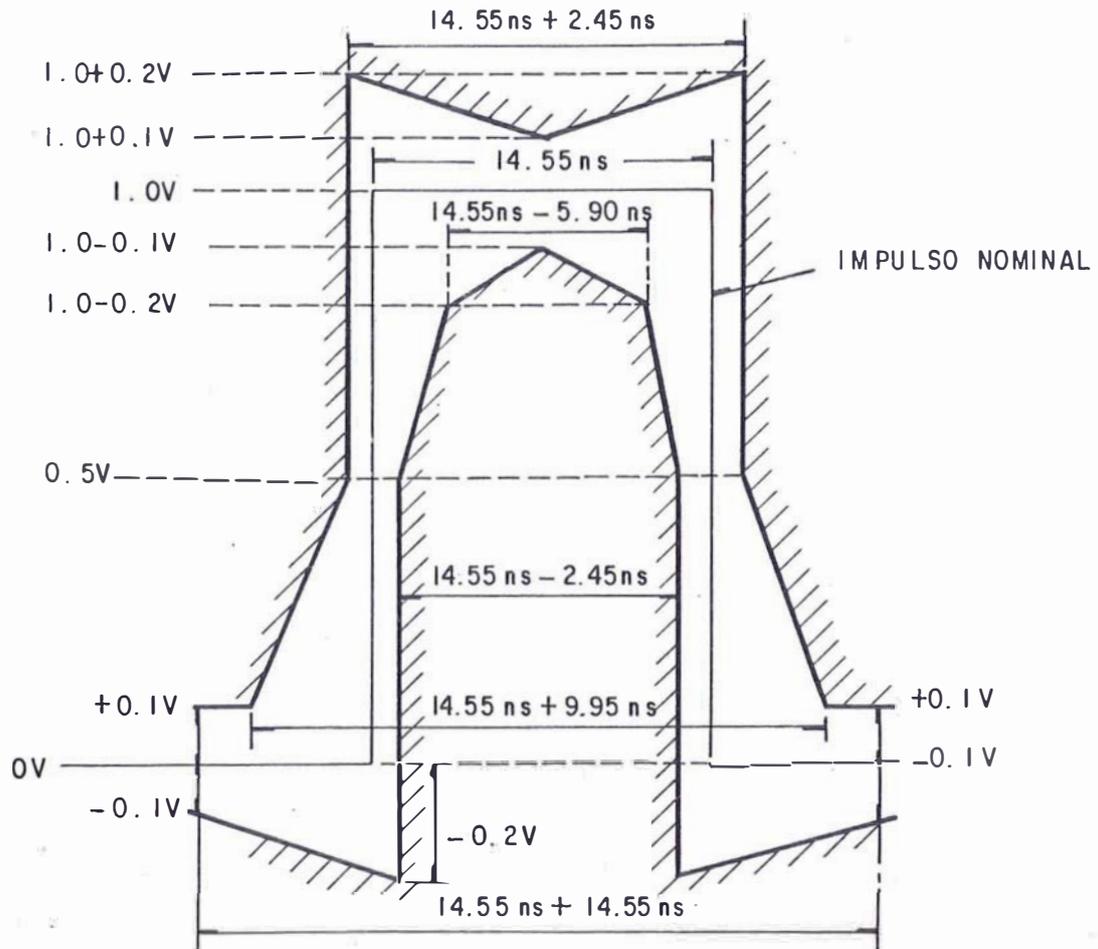
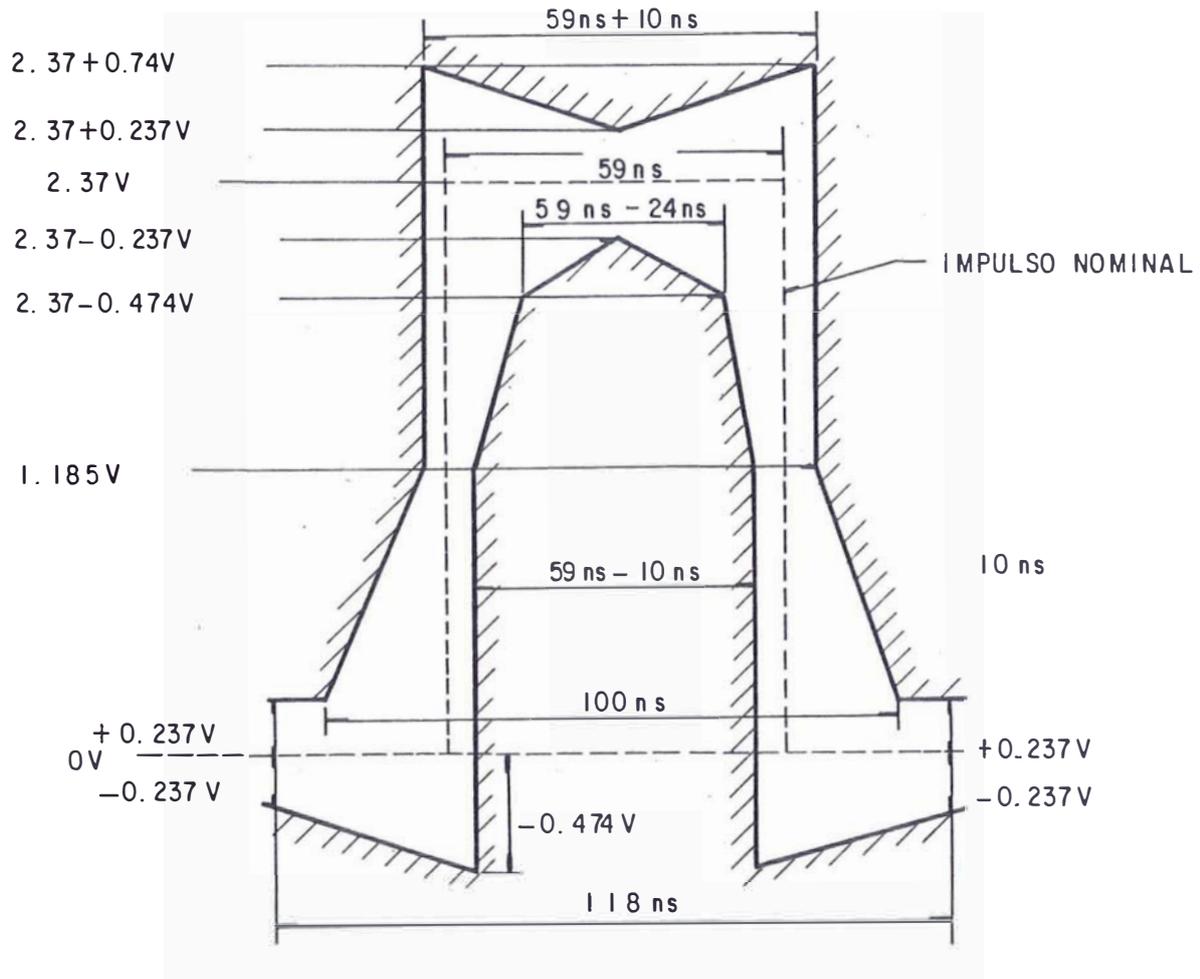


FIGURA N° 19

**MASCARA DE IMPULSOS EN LA INTERFAZ DIGITAL  
DE 8,448 Kb/s**



**FIGURA N° 18**

ESQUEMA DE INTERCONEXION ENTRE EQUIPOS

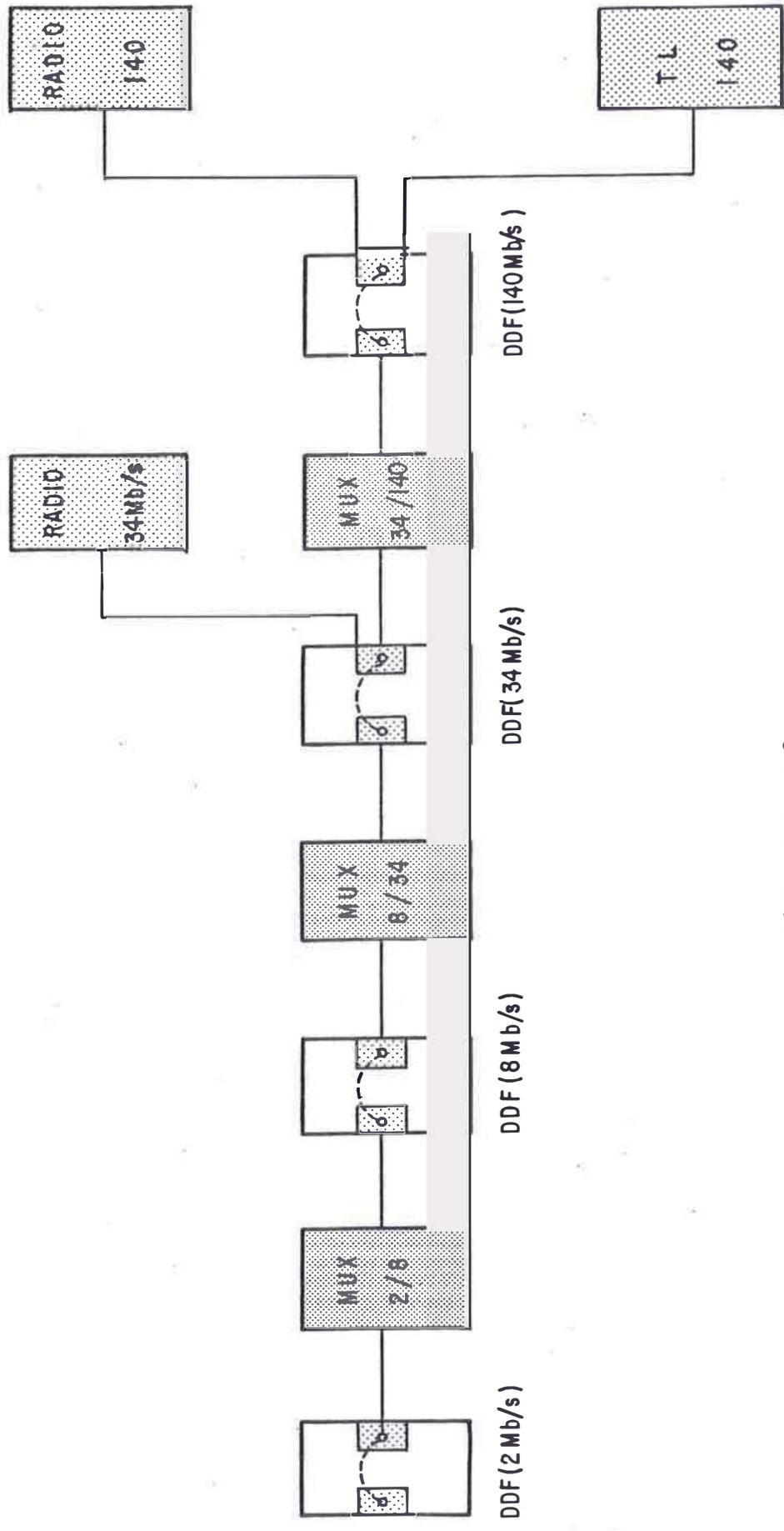


FIGURA N° 20

R.F.R. - DETALLE DE LOS RESUMENES POR ENLACE

Hoja

ITEM	A - EQUIPOS Y MATERIALES	C. DAD TOTAL	PRECIO UND. US. DOLL.	PRECIO TOT. US. DOLL	E. PARQ.	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	ANCON	VENT.
1	<u>Multiplexores Numericos</u>									
11	<u>Multiplex 2/8 MB/S</u>									
1101	Sub-Bastidor tipo DT8-M Equip. con unidades comunes Tx/Rx	22	892	19624	4	4	3	2	2	1
1102	Canal tributario 2048 K BIT/s	78	336	26208	16	16	9	7	7	3
1103	Bastidor Alambrado tipo T-4MB para alojar hasta 4 multiplexores 2/8 MB/S	9	955	8595	1	1	1	1	1	1
1104	Sub-Bastidor de Servicio		264							
1105	Convertidor de Bateria 48/60 VCC.	9	410	3690	1	1	1	1	1	1
	11 TOTAL			58117						

EQUIPOS Y MATERIALES	C. DAD	PRECIO UND.	PRECIO TOT.	E. PARQ.	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	ANCON	VENT.	TOTAL	
										US. DOLL	US. DOLL
<u>12 Multiplex 8/34 MB/S</u>											
1201 Sub-Bastidor tipo DT 34-M	9	1309	11781	1	1	1	1	1	1	1	1
Equipo con unidades comunes Tx/Dx											
1202 Canal Tributario 8448 KBIT/S	22	508	11176	4	4	3	2	2	2	1	1
1203 Bastidor Alambrado tipo T-2M3 4 para alojar hasta 2 multiplexores 8/34 MB/S	9	979	8811	1	1	1	1	1	1	1	1
1204 Sub-Bastidor de Servicio	9	264	2376	1	1	1	1	1	1	1	1
1205 Convertidor de Bateria 48/60 Vcc.	9	410	3690	1	1	1	1	1	1	1	1
12 TOTAL			37834								
11 TOTAL			58117								
TOTAL			95951								

EQUIPOS Y MATERIALES	C. DAD.	PRECIO UND.	PRECIO TOT.	E. PARQ.	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	ANCON	VENT.
TOTAL	US. DOLL	US. DOLL	US. DOLL						
<u>2 Equipo de Radio</u>									
21 Equipos Terminales									
2101 Bastidor Radio AITM DUPI 48/60 V	20	2756	55120	2	2	2	2	4	2
2102 Derivación de R.F.	10	677	6770	1	2	2	3	1	1
2103 Atenuador de R.F.		180							
2104 Transceptor H6-7	20	10443	208860	2	2	2	2	4	2
2105 Modem 34 MB/S	20	3216	64320	2	2	2	2	4	2
2106 Bastidor TMS Auxil.	6	790	4740	1	1	1	1	1	1
2107 Fuente Alimentación TMS Axil. 48/60 V.	12	803	9636	2	2	2	2	2	2
2108 Bolsa Herramientas	6	132	792	1	1	1	1	1	1
22 <u>Repetidores Activos</u> (Incluido en el 21)									

EQUIPOS Y MATERIALES	C. DAD	PRECIO UND.		PRECIO TOT.	E. PARQ.	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	ANCON	VENT.
		US. DOLL	US. DOLL							
23 <u>Repetidores Pasivos</u>										
2301 Repetidores Pasivos	1	7206	7206							
2 Ant. x 1.8 PXL - 8										
2302 Repetidores Pasivos			16461							
2 Ant. x 3.6 PL - 12										
2303 Guía de Onda EWP 61 (M)	40	53	2120						40	
2304 Set Accesorios para Guía de Onda	1	467	467							1
2305 Repetidores Pasivos Espejo 15 Mc.			9102							
21 - 23 TOTAL			9793							

EQUIPOS Y MATERIALES	C. DAD	PRECIO UND.	PRECIO TOT.	E. PARQ.	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	ANCON	VENT.
TOTAL	US. DOLL	US. DOLL	US. DOLL						

24 Equipo Conmutación Automática

2401	Eq. de Conmutación	20013							
	SN 4 + 1								

2402	Eq. de Conmutación	12265							
	SN 2 + 1								

2403	Eq. de Conmutación	10	12265	1	1	1	1	2	1
	SN 1 + 1								

24 TOTAL

122265

2 TOTAL

482296

EQUIPOS Y MATERIALES	C. DAD	PRECIO UND.	PRECIO TOT.	E. PARQ.	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	ANCON	VENT.
TOTAL	US. DOLL	US. DOLL	US. DOLL						
<u>3 Sistemas de Antenas</u>									
31 Antenas									
3101 Antena FP 1.8 M	10	3511	3511	1	1	1	1	2	1
3102 Antena FP 2.4 M		4865							
3103 Antena FP 3.0 M		6286							
3104 Antena FPX 3.0 M		7351							
Polarización Doble									
32 Guia de Onda									
3201 Guia de Onda EWP 64 (M)	300	53	19080	40	40	40	40	40	40
33 Conectores									
3301 Set Accesorios para Guia de Onda	10	467	4670	1	1	1	1	2	1

EQUIPOS Y MATERIALES	C. DAD.	PRECIO UND.	PRECIO TOT.	E. PARQ.	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	ANCON	VENT.
TOTAL	US. DOLL	US. DOLL	US. DOLL						
3302 Presurizador	6	1170	7020	1	1	1	1	1	1
34 Eq. Prot. Contra Rayos									
3401 Pararrayos		1317							
34 TOTAL			65880						
3 TOTAL			65880						

EQUIPOS Y MATERIALES	C. DAD.	PRECIO UND.	PRECIO TOT.	E. PAR.	COMAS	P. PIEDRA	C. NORTE	ANCON	VENT.
TOTAL	US. DOLL	US. DOLL	US. DOLL						

4 Red Supervisión Centralizada

41 Eq. de Supervisión y Canal de Servicio

4101 Sub-Bastidor MS-10 Equip. con Org. Com. y Canal Omnibus	6	2407	14442	1	1	1	1	1	1
--	---	------	-------	---	---	---	---	---	---

4102 Canal para Conmutación	6	653	3918	1	1	1	1	1	1
-----------------------------	---	-----	------	---	---	---	---	---	---

4103 Party Line A.F.	6	132	792	1	1	1	1	1	1
----------------------	---	-----	-----	---	---	---	---	---	---

4104 Party Line V.F.		346							
----------------------	--	-----	--	--	--	--	--	--	--

4105 Eq. de Supervisión Centro TIC 1000/04-C		27896							
--	--	-------	--	--	--	--	--	--	--

4106 Eq. de supervisión Perif. Tíc. 1000/04-PS		3418							
--	--	------	--	--	--	--	--	--	--

41 TOTAL			19152						
4 TOTAL			19152						
TOTALES			663279						

## CAPITULO V ESTUDIO ECONOMICO

El alcance de este rubro abarcará hasta el cálculo del monto de inversiones que demandará el Sistema de Microondas del Ramal Norte además de la instalación y prueba en sitio. Para dicho fin debemos tener en cuenta que el costo FOB es referida a los equipos puestos en puerto del país proveedor y el costo CIF se refiere al equipo instalado en el sitio. Asimismo, en base a los datos de precios totales del capítulo anterior se calculará el monto de inversiones.

### Premisas:

Se ha considerado un 15% del total de equipo FOB en el rubro del flete y seguro

En el rubro de derecho de internamiento que incluye el desaduanaje, transporte local, etc. se ha estimado en un 15% del total CIF.

Para la instalación y pruebas se ha considerado un 10% del total CIF.

En base a estas premisas, se ha elaborado el siguiente cuadro, donde se muestra el monto de inversiones a realizarse.

## CUADRO N° 12

RESUMEN DE INVERSIONES  
(EN DOLARES)

Equipamiento FOB	663,279
Flete y Seguro	99,492
Total CIF :	262,771
Derecho de Internamiento (Desaduanaje transporte local)	572,078
Material Nacional : (Incluyen torres)	20,000
Instalación y pruebas	76,277
 TOTAL	 1'431,126

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Dado el gran ahorro existente en Planta Externa Nueva, reflejado en los montos de Inversiones proporciona una alternativa económica para dar servicio en aquellas zonas suburbanas que no poseen aún.
- La Introducción de sistemas digitales en la Red, otorga una mayor confiabilidad y flexibilidad que no ofrece un sistema analógico.
- Recomendamos se efectúen estudios de campo para estudiar con mayor exactitud la influencia sobre la propagación en frecuencia de microondas de:
  - Ondas Reflejadas
  - Interferencia
  - Distorsión por Propagación
- La transmisión vía microondas proporciona que la Red Urbana de Lima pueda crecer económicamente y en forma organizada y evita la Interferencia con la vida normal de dichas zonas.
- Este tipo de tecnología a usarse, reduce en un gran porcentaje el consumo de energía, para mayor referencia ver el siguiente cuadro.
- Los niveles de interferencia se encuentran por debajo del umbral del Receptor y las probabilidades de desvanecimiento de la señal útil son demasiado pequeñas en tramos cortos.

## ENERGIA (RER)

CPTSA suministrará la energía; a continuación se muestra los consumos necesarios por estación.

ESTACION	CONSUMOS EN WATTIOS		
	RADIO	MULTIPLEX	TOTAL
El Parque	530	200	730
Comas	320	80	400
Puente Piedra	320	80	400
Ancón	160	40	200
Cerro Norte	480	120	600
Ventanilla	160	40	200

- Es necesario que las antenas sean de buenas características directivas y de mínima interferencia.
- El Sistema de Microondas Digital, tendrá la flexibilidad de realizar la supervisión de todas las estaciones, proporcionando una mejor eficiencia de la operación y mantenimiento; esta supervisión tendrá las siguientes funciones:
  - a) Transmisión de canales de servicio
  - b) Supervisión Remota
  - c) Control de Conmutación
  - d) Teléfono de Línea de ordenes

El estado de todos los equipos de radio y equipos de alimentación de energía serán monitoreadas a distancia hacia una estación Central.

- Además del propio equipo de microondas, se requiere incluir el siguiente material adicional.

## EDIFICIOS

Las salas para los equipos de radio y multiplex deberan tener los requisitos mínimos siguientes:

- Altura mínima de 3.2 m
- Pasadas de Cable
- Acceso
- Alumbrado
- Ventilaciones
- Protección contra el polvo, cuando corresponda
- Energía comercial 220V - 60Hz
- Extinguidores de Incendio

Las salas tienen que ser ubicadas de manera que los equipos de radio no dicten mas de seis metros desde el centro de la torre (Longitud del recorrido de la guía de onda)

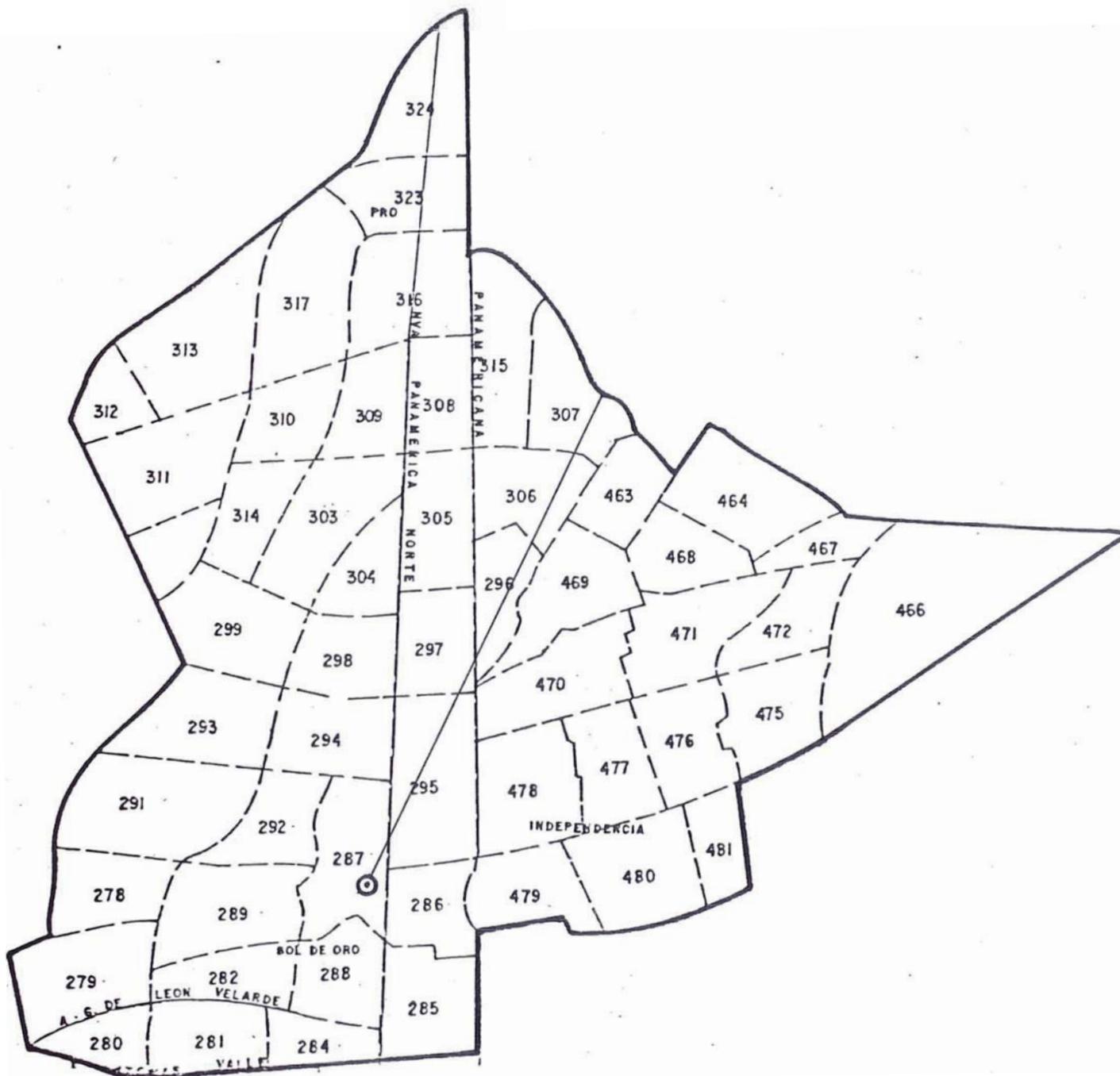
## TORRES

Tendran los accesorios siguientes:

- Pararayos
- Puesta a Tierra
- Luz de obstrucción
- Plataformas de trabajo
- Plataformas de descanso
- Escalera de Subida (protección)
- Estructura Vertical para la sujeción de la guía de onda
- Estructura Horizontal

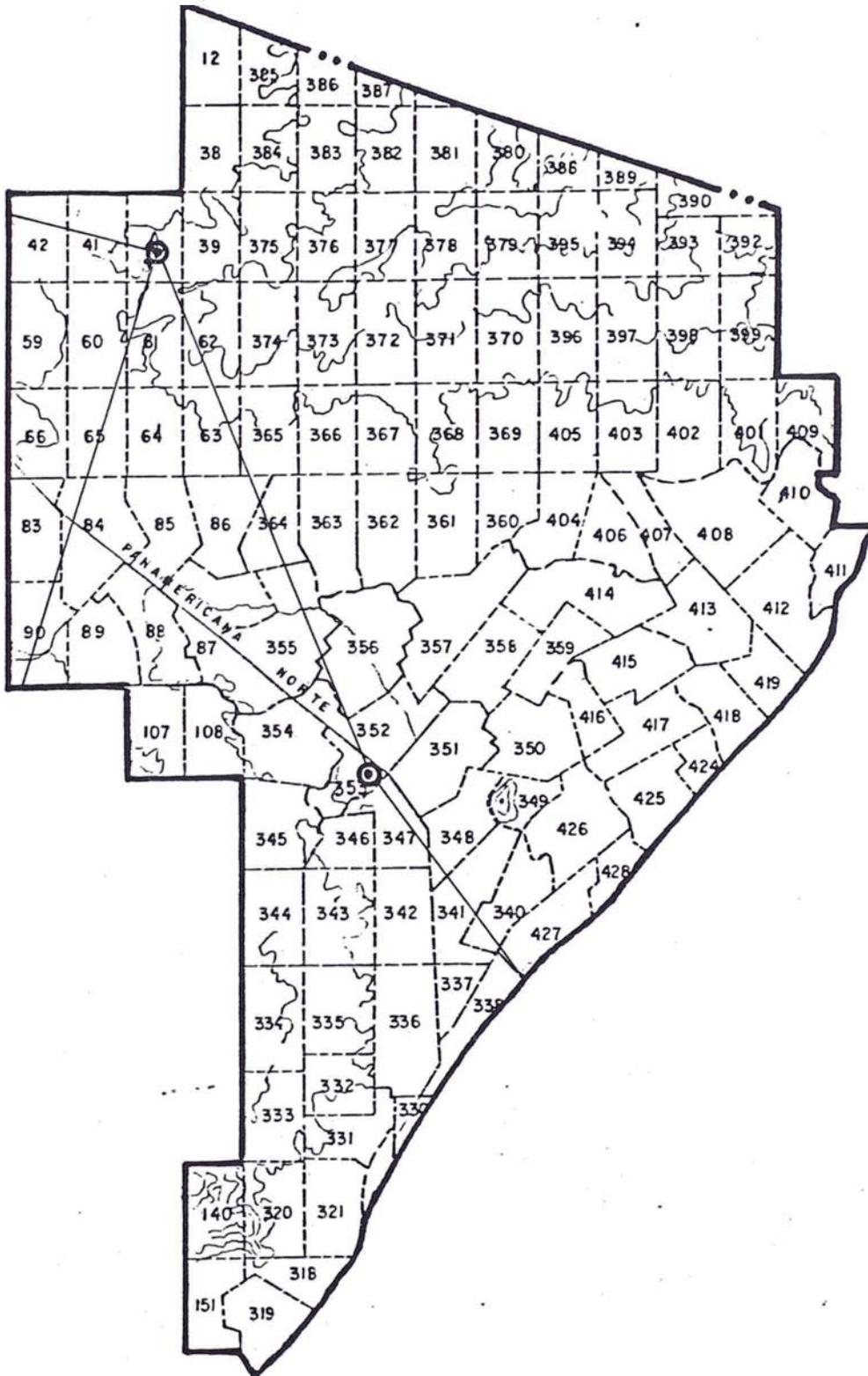
La rigidez de las torres no sobrepasara el valor de  $+ 0.5^{\circ}$

# OC. EL PARQUE

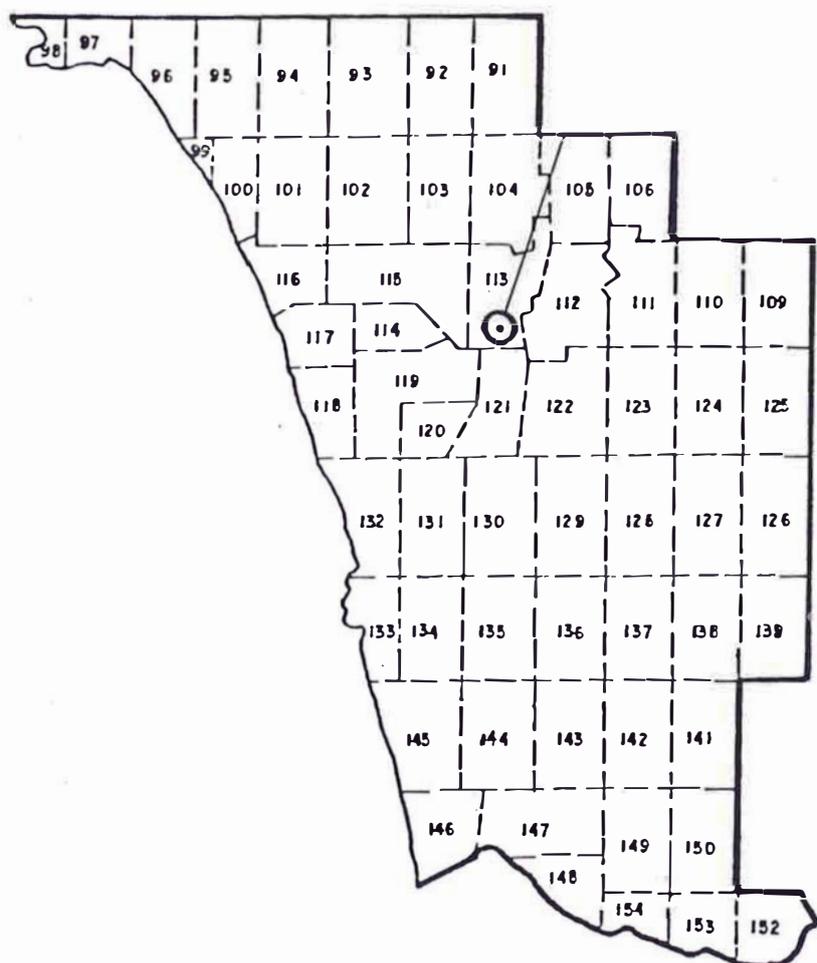




# O.C. PUENTE PIEDRA

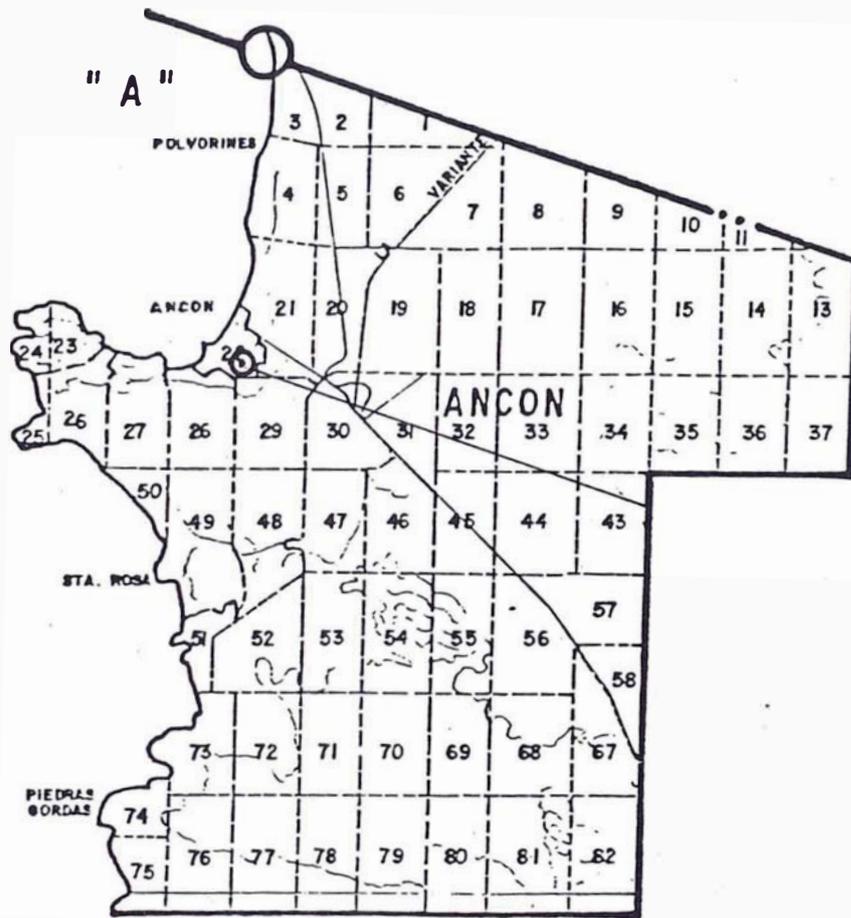


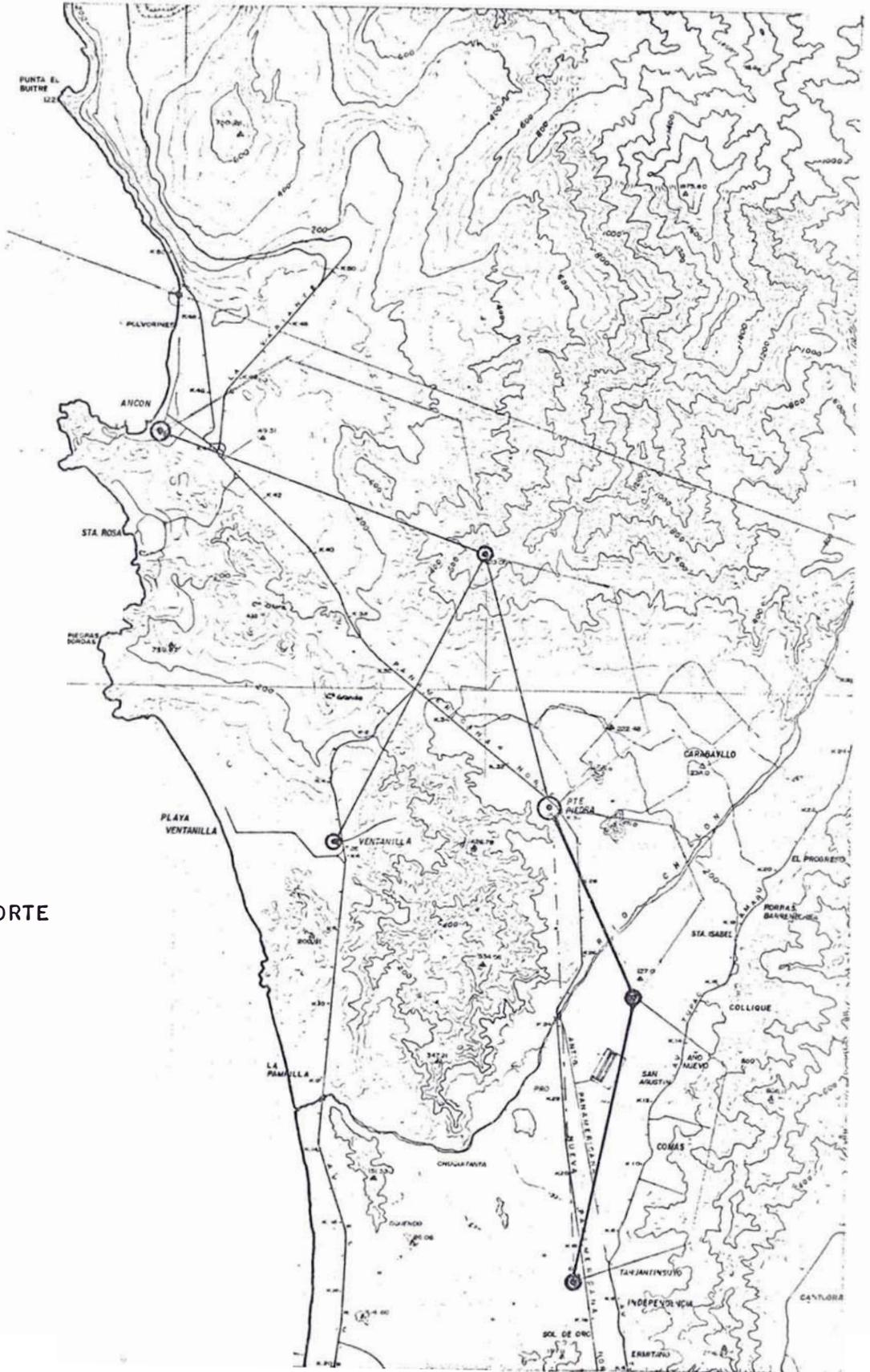
# O.C. VERTAKILLA



ESCALA: 1/100,000  
B.K.V./SET. 85

O.C. ANCON





PLANO DE COTAS DE  
NIVEL DEL RAMAL NORTE

## BIBLIOGRAFIA

- *Diseño de Enlaces PCM por Microondas*  
Ing. M. TOKURA, Año 1979
  
- *Microondas Digitales* P H MAGNE  
Director Técnico de la División Microondas de Thomson - año 1982
  
- *Sistemas PCM de Transmisión por Microondas*  
NTT del Japon.