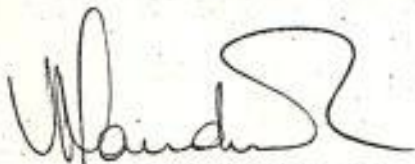


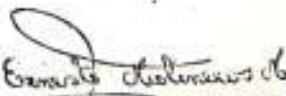
19/11/2015

Ing. Maria José Nieto Morán
ASISTENTE DE ACTIVIDADES CIB

DISEÑO OPTIMO DE LA INTERCONEXION
POR SISTEMAS DE MICROONDAS
ENTRE GUAYAQUIL Y LA PROVINCIA DE MANABI

INVENTARIO FISICO
9 3 SEP 2016
FOR...


DR. VICTOR MANDINI C.,
DIRECTOR DE TESIS


ERNESTO MOLINEROS M.,
AUTOR:

D-8373

Uiono
18/12/17



BIBLIOTECA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL



D-8373

DISEÑO OPTIMO DE LA INTERCONEXION
POR SISTEMAS DE MICROONDAS
ENTRE GUAYAQUIL Y LA PROVINCIA DE MANABI

TESIS DE GRADO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO ELECTRONICO

PRESENTA:

FELIX ERNESTO MOLINEROS MERA

GUAYAQUIL - ECUADOR

1.975

BIBLIOTECA



621.311
11722
p.2

DECLARACION EXPRESA:

"El Patrimonio intelectual de esta Tesis pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

"La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis, corresponden exclusivamente a su autor"

(Reglamento de Exámenes y títulos profesionales de la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL).

Con profundo agradecimiento a -
la Escuela Superior Politécnica
del Litoral y sus dignos Profe-
sores, de una manera especial -
al doctor Víctor Mandini por su
valiosa ayuda académica en el
desarrollo de esta Tesis.

A mis Padres y Hermanos
con todo cariño y respeto.

AL INSTITUTO ECUATORIANO DE TELECOMUNICACIONES

POR HABERME BRINDADO LA OPORTUNIDAD

DE EFECTUAR EL PRESENTE TRABAJO

C O N T E N I D O

1. Introducción
 2. Asignación del número de canales telefónicos requeridos, según las necesidades de la Provincia.
 3. Banda de frecuencia utilizable.
 4. Selección de la ruta óptima.
 - 4 a. Orden de Procedimiento.
 - 4 b. Ubicación de estaciones terminales y repetidoras del Sistema.
 - 4 c. Descripción orográfica de la ruta escogida.
 5. Diseño General del sistema.
 - 5 a. Objetivos y requerimientos generales.
 - 5 b. Pérdidas Totales de Transmisión o Pérdidas del Sistema.
 - 5 c. Perfiles Topográficos de Trayectos de propagación.
 - 5 d. Previsión teórica de la Propagación.
 - 5 e. Cálculos de altura de antena, puntos de reflexión y atenuación debido a obstáculos.
 - 5 f. Planeamiento de frecuencias.
 6. Ruido.
 - 6 a. Efectos del Ruido en el enlace de Microondas.
 - 6 b. Comportamiento del Sistema.
 7. Conclusiones Generales.
- Apéndice.
- Bibliografía.

1.- INTRODUCCION

" El desarrollo de las Telecomunicaciones en un país mejorará y acelerará la producción, aumentará la eficiencia administrativa general y lo llevará a normas de trabajo más eficaces"

Telecomunicación significa comunicación a larga distancia; se emplea generalmente esta palabra para designar la comunicación con medios electrotécnicos y, puede ser de una dirección (radio, televisión) o de dos direcciones (telefonía, telegrafía), denominándose a esta última Sistemas de Telecomunicación.

Una red telefónica se divide en dos campos de operación:

- 1.- La conexión, donde nos encontramos con los conceptos de centrales telefónicas, numeración y tasación; y,
- 2.- La transmisión, que comprende la técnica que se emplea para el transporte de la información entre los abonados.

Esta red da su máximo rendimiento técnico y económico cuando tiene un planeamiento bien estudiado, en el que se ha tomado en consideración tanto el futuro desarrollo como el control de operación y el mantenimiento del equipo existente.

En nuestro país, el Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones (I E T E L) consciente de la gran importancia que tienen las telecomunicaciones para el progreso de los pueblos, se ha propuesto en su plan quinquenal de desarrollo, en lo que respecta al campo de transmisión unir las principales ciudades del Ecuador por medio de Sistemas de Microondas con el fin de proporcionar al usuario un servicio altamente confiable.- Considerando lo anterior decidí presentar como Tesis de Grado previa la obtención del Título de Ingeniero Electrónico el Tema: " Diseño óptimo de la interconexión, por Sistemas de Microondas entre Guayaquil y la provincia de Manabí ".

El propósito principal de esta Tesis es analizar los diferentes problemas que se presentan en el diseño de una red de Microondas siguiendo una secuencia netamente técnica y práctica, pero incluyendo la discusión de varios conceptos teóricos que ayudarán a comprender los diferentes fenómenos que aparecen en la transmisión en este rango de frecuencias e, ilustrando dicho análisis con el diseño de un sistema que une ciudades

importantes del Ecuador y, que puede ser utilizado por IETEL para lograr sus objetivos.- He tomado la interconexión de Guayaquil con la provincia de Manabí por considerar que siendo ésta, una de las provincias más pobladas y extensas de nuestro país (tiene una superficie de 19.698 Km² y una población de 808.615 habitantes según Censo del 8 de Junio de 1.974) no cuenta en la actualidad con un Sistema de Telecomunicaciones adecuado para sus necesidades.- Además, hay que tener presente que en Manabí se ha puesto en ejecución una serie de Proyectos tales como las Represas de " Poza Honda ", que dará riego a 12.000 hectáreas aproximadamente (esta obra está concluida en su etapa más importante) y, la de " Chone-Carrizal", que irrigará aproximadamente 30 mil hectáreas, que son obras con las cuales se pondrá en marcha un inmenso programa de Agricultura, con proyecciones hacia la Industria; se realizará un plan de cultivo de oleaginosas, que será el más grande del Ecuador en esa materia; se llevará a cabo el plan eléctrico de Inecel que estimulará la creación de nuevas Industrias. ya que actualmente la provincia cuenta con plantas de auto-consumo lo que ha determinado un crecimiento limitado de las mismas; se ha previsto construir un complejo pesquero en Manta y, hacer de esta ciudad uno de los puertos de mayor importancia en el país.

Estos proyectos junto al movimiento comercial que existe en varias de sus ciudades principales, hace pensar que la demanda de un servicio telefónico eficiente para comunicarse con las diferentes regiones del país y del mundo, aumentará considerablemente en los próximos años.

Se podrá cubrir las necesidades actuales y futuras de Telecomunicaciones de la provincia, con la instalación de un Sistema de Radio que trabaje en el rango de frecuencias de las microondas, este término generalmente se refiere a los sistemas de transmisión que trabajan con ondas de muy corta longitud, comunmente inferiores a 30 cm. que corresponden a frecuencias superiores a 900 M H Z, y se utilizan en redes de comunicaciones con alta capacidad de canales de información, ya sean estos de telefonía, datos, telegrafía, televisión, etc.- Estos enlaces de radiotransmisión por microondas utilizan el principio de la visibilidad óptica entre la central emisora y

la receptora.- Un sistema completo está formado por estaciones terminales que estarán localizadas en los puntos que se desea interconectar y por las estaciones repetidoras que deberán estar ubicadas entre las terminales.- El número de repetidoras o estaciones intermedias depende de la longitud total del Sistema y de la naturaleza del terreno por donde se establecerá la ruta.- Esta debe cumplir ciertas especificaciones técnicas y satisfacer consideraciones de tipo económico teniendo, además, presente la posibilidad de que esta ruta pueda formar parte de la red nacional interconectada de Microondas.

Al desarrollar los puntos del temario en varios de ellos haré referencias a Recomendaciones de carácter técnico auspiciadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) que es un organismo cuyo objetivo se lo define en los siguientes términos:

- Mantener y ampliar la cooperación internacional para el mejoramiento y el empleo racional de toda clase de Telecomunicaciones;
- favorecer el desarrollo de los medios técnicos y su más eficaz explotación, a fin de aumentar el rendimiento de los servicios de Telecomunicación, acrecentar su empleo y generalizar lo más posible su utilización por el público;
- armonizar los esfuerzos de las naciones para la consecución de estos fines comunes, para lo cual emplea 3 medios principales:
 - 1.- Las conferencias y reuniones internacionales
 - 2.- La publicación de información
 - 3.- La cooperación técnica.

Para facilitar sus funciones la U. I. T. tiene 2 sub-organismo principales:

El Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía (CCITT) cuyas funciones incluye el estudio de tarifas - así como aspectos técnicos y de operación relacionados con Telefonía y Telegrafía, abarcando ahora, también, Transmisión de datos y de video, y;

El Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR) que realiza estudios técnicos y de aspectos de operación relacionados

específicamente con comunicaciones de Radio.

Estos Comités están formados por representantes de administraciones telefónicas, organizaciones científicas e industriales de diferentes países, celebran asambleas plenarias cada 3 años, establecen comisiones de estudio para el exámen de cuestiones técnicas, de explotación y tarificación, formulan recomendaciones sobre ellas y eligen a los directores que están asistidos de Secretarías especializadas equipadas con aparatos técnicos y un Laboratorio.- Las recomendaciones que dan, atañen ante todo a la red telefónica internacional pero repercuten cada vez más en las redes nacionales.



2.- ASIGNACION DEL NUMERO DE CANALES TELEFONICOS REQUERIDOS, SEGUN LAS NECESIDADES DE LA PROVINCIA.-

Es evidente que en el planeamiento de una red la meta a seguir es el obtener un equilibrio entre la necesidad de comunicación que tienen los abonados y el equipo necesario para cubrir esta necesidad.- Cualquier desequilibrio entre estos dos factores es causa de detrimentos económicos.- Por lo tanto es importante hacer pronósticos a largo y corto plazo en cuanto al desarrollo lógico del tráfico telefónico.

Para realizar una estimación y proyección de dicho tráfico es necesario contar con estadísticas telefónicas de varios años atrás, con el fin de poder determinar de una manera más aproximada a la realidad el porcentaje en el que se espera se incremente el volumen de tráfico en el mismo año en que empieza a operar un nuevo servicio.- Otros métodos empleados para pronosticar el volumen de tráfico utilizan estimados de población determinando la tasa anual de crecimiento, o lo hacen en función del número de abonados de una central, o, por correlación entre índices económicos, ingreso per cápita y densidad telefónica. Debido a la inexistencia de estadísticas telefónicas en nuestro país, o lo errático de los datos de tráfico, los cuales provienen de enlaces donde el servicio en funcionamiento sufre de retardos y su calidad general es pobre, no pueden tener una indicación de cuanto la demanda de tráfico puede aumentar si el servicio es mejorado a tal grado que los retardos son virtualmente eliminados y su calidad sea buena.- Por lo que para hacer la asignación de circuitos utilizaré la poca información disponible de tráfico telefónico y, experiencias obtenidas en países en vía de desarrollo con índices económicos parecidos al nuestro, considerando además, factores tales como incremento de la población, desarrollo industrial, actividades comerciales, actividades administrativas, que influyen directa o indirectamente en la demanda del servicio.- Debo tener presente, también, que todos los métodos para proyectar el tráfico, son de resultados muy relativos, ya que en la mayoría de los casos los pronósticos no van más allá de cinco años, y aún en ese corto período de tiempo se pueden apreciar grandes diferencias entre el volumen real del tráfico y el calculado

años atrás.

La Intensidad del tráfico cursado (por un grupo de circuitos o por un grupo de órganos de conexión) es igual al volumen del tráfico dividido por la duración de la observación, siempre que el período de observación y los tiempos de ocupación se expresen por medio de las mismas unidades.- La unidad para medir la intensidad del tráfico, adoptada en la actualidad por casi todos los países del mundo, tiene como duración del período de observación sesenta minutos y se denomina erlang, en honor al científico danés A.K. Erlang (1.878 - 1.929).- Entonces si por un medio cualquiera se pasa una llamada de duración de una hora, la cantidad de tráfico de ese medio, es un erlang y la ocupación de ese circuito, en este caso será el 100%.

Para el cálculo de la intensidad de tráfico E (en Erlangs), el C C I T T ha desarrollado la siguiente fórmula:

$$E = \frac{s \times M T P D}{c \times 60} \quad (1)$$

En donde: E = volumen de tráfico en unidades erlangs

M T P D = minutos tasables por día

$S = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)$ es la relación entre la duración total de una llamada promedio (T_1) y el tiempo promedio de comunicación pagada (T_2).- El tiempo total de ocupación para una conversación telefónica, abarca el tiempo que toma la conexión de la comunicación, la conversación en sí misma entre los abonados y la desconexión.

C, es la relación entre el tráfico total del día y la parte de tráfico de la hora cargada.- La mejor forma de calcular los valores de " C " es con la ayuda de los registros de tráfico, pero como no dispongo de dicha información utilizaré la tabla No. 1 en la que se han hecho evaluaciones del valor 1/C.

Una vez obtenido el volumen de tráfico estimado, en Erlangs, para determinar el número de circuitos necesarios para satisfacer la demanda del tráfico interurbano se aplica la fórmula de pérdida de Erlangs para accesibilidad completa, en los grupos de líneas de tráfico automático Y/o semiautomático (sin tráfico de desbordamiento).

De acuerdo a la Recomendación C C I T T E 250 dicha fórmula es la siguiente:

$$B = \frac{E^N}{N!} \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^N \frac{E^i}{i!}$$

En donde:

B, es la pérdida en el grupo de salida

E, es la Intensidad de tráfico ofrecido en Erlangs

N, es el número de líneas en el grupo de salida.

En cuanto a las pérdidas admisibles, en la recomendación mencionada para determinar las cantidades de líneas se establecen los siguientes valores:

Grupos de líneas con tráfico automático B = 1 %

Grupos de líneas con tráfico semiautomáticos B = 3 %

Grupos de líneas con tráfico automático y semiautomático B = 1 %

La tabla No. 2 indica el número de circuitos en función de Erlangs para completa accesibilidad y con pérdida de 1% ; esta tabla ha sido elaborada a base de la fórmula del C C I T T

Luego, las variables que hay que determinar para obtener la medida de la Intensidad del tráfico telefónico son: a) número de llamadas y b) tiempo de duración de cada llamada (se considera una llamada el intento positivo de establecer una comunicación) ; debiendo cada una de estas variables referirse a un período de tiempo escogido arbitrariamente .- En nuestro medio, para el servicio manual y semiautomático estos datos se obtienen mediante tarjetas y en el departamento de control de Tráfico determinan el número de llamadas y el tiempo de duración de cada llamada.- Con la información proporcionada por este departamento he calculado el volumen de tráfico (en Erlangs) de cada una

de las principales ciudades de la provincia de Manabí con Guayaquil y, por consiguiente, con las otras regiones del país; este cálculo lo he realizado de la siguiente manera:

MANTA.- En el lapso de tiempo comprendido entre Noviembre de 1.973 y Octubre de 1.974 (un año) se efectuaron 81.913 llamadas interurbanas siendo 386.017 los minutos tasados con servicio manual y semiautomático y 1.000 líneas de abonados en la central de esta ciudad.-

Se está instalando una Central nueva con capacidad máxima para 10.000 líneas, con 3.000 líneas de abonados conectadas, y se ha previsto que entrará en funcionamiento a principios del año 1.975.- Al desconectarse las 1.000 líneas de la Central antigua, entonces, el incremento sería de 2.000 y como es lógico pensar esto me ocasionaría un aumento en el número de llamadas interurbanas tasables.- La compañía de teléfonos L. M. Ericsson ha desarrollado una curva para el estimado de tráfico interurbano cuando se conoce el número de abonados de una Central.- Esta curva es el resultado de comparaciones entre varios países en vía de desarrollo y se presenta en

forma de cuadro entre Número de llamadas interurbanas y suscriptores de una Central; organizaciones consultoras opinan que este método da volúmenes de tráfico demasiado conservadores pero se han aplicado en estudios de factibilidad de varios países con resultados positivos. De acuerdo a este cuadro (tabla No. 3) para 2.000 Suscriptores por Central, el número de llamadas por abonado en un mes es de 7,8 siendo 15.600 conferencias el total mensual, o sea, $15.600 \times 12 = 187.200$ llamadas por año.

La duración promedio de una llamada interurbana pagada es: $\frac{386.017 \text{ minutos}}{81.913 \text{ llamadas}} = 4,712524 \hat{=} 4,8$ minutos por llamada.

Entonces, $187.200 \times 4,8 = 898.560$ será el total de minutos tasados en un año para los 2.000 Suscriptores, y, para los

3.000 abonados será: $\frac{898.560 \text{ minutos}}{386.017 \text{ minutos}}$

1.284.577 minutos por año.

Mediante estudios realizados en países latinoamericanos de características similares al nuestro, se ha determinado que es bastante aceptable utilizar como " impulso " (porcentaje en el que se espera se incremente el volúmen de tráfico en el mismo año que empieza a operar un nuevo Sistema de Telecomunicaciones que asegure un servicio sin interrupciones y de buena calidad) el 75%.- Luego, el volúmen estimado de tráfico interurbano en minutos/año en el año en que empieza a funcionar el nuevo Sistema es de:

$$1,75 \times 1'284.577 = 2'248.009,7$$

$$\text{En minutos por mes es: } \frac{2'248.009,7}{12} = 187.334,14$$

En minutos tasables promedio por día:

$$\frac{187.334,14}{20} = 9366,7 = \text{M T P D}$$

Se han escogido los días laborables de un mes para el cálculo, por considerar que en dichos días se cursa la mayor cantidad de tráfico.

Para tomar en cuenta los otros factores que influyen en la demanda del servicio y compensar posibles errores en los datos proporcionados es conveniente agregar un margen de seguridad al volúmen de Tráfico en minutos por día, este margen sería del 25% de tal forma que:

$$\text{M T P D} = 9.366,7 \times 1,25 = 11.708,375$$

De la información obtenida se ha determinado que el tiempo promedio de comunicación pagada es $T_2 = 4,8$ minutos y la duración total de una llamada promedio es $T_1 = T_0 + T_2 = 3 + 4,8 = 7,8$ minutos, donde T_0 es el tiempo de operación.

Según la tabla No. 1 el valor C recomendado para el cálculo de redes nacionales, cuando no se disponen de registros de tráfico, es 9.

Reemplazando valores en la fórmula (1) el tráfico en unidades Erlangs es el siguiente:

$$E = \frac{7,8}{4,8} \times \frac{1}{9} \times \frac{11.708,375}{60} = \frac{91.325,325}{2.592} = 35,233535 \text{ erlangs}$$

De acuerdo a la tabla No. 2 para esta cantidad de Erlangs se deben conectar 47 circuitos o troncales de salida al momento de poner en funcionamiento el nuevo Sistema.

En los estudios que sobre tráfico se han hecho en la América Latina, a partir del segundo año, de la iniciación del nuevo servicio, se ha tomado casi invariablemente el 15% como incremento del volumen de tráfico en cada año, es decir, que si llamamos B el volumen de tráfico expresado en minutos por día en el primer año, en el segundo será:

$$1,15 \times B$$

$$\text{En el Tercero: } 1,15 \times 1,15 B = 1,3225 B$$

$$\text{En el cuarto: } 1,3225 \times 1,15 B = 1,520875 B$$

$$\text{En el Quinto: } 1,520875 \times 1,15 B = 1,749 B$$

siendo B = 11.708,375 minutos/día.

Entonces,

$$M T P D = 1,749 \times 11.708,375 = 20.477,947$$

Reemplazando valores en la fórmula (1) el tráfico esperado en el quinto año en unidades Erlangs será:

$$E = \frac{7,8}{4,8} \times \frac{1}{9} \times \frac{20.477,947}{60} = \frac{159.727,98}{2.592} = 61,62344 \text{ erlang}$$

Según la tabla No. 2 este valor corresponde a 76 líneas de salida.

PORTOVIEJO.- Entre Noviembre de 1.973 y Octubre de 1.974 (un año) se efectuaron 35.385 llamadas interurbanas siendo 171.330 los minutos tasados con servicio manual y semiautomático y 1.000 líneas de la Central telefónica.

Al igual que en la ciudad de Manta, se está instalando una Central cuya capacidad máxima es de 10.000 líneas en la que inicialmente estarán conectados 3.000 abonados con lo que el incremento será de 2.000.- De acuerdo a la tabla No. 3 para 2.000 subscriptores por Central, el número de llamadas por abonado en un mes es de 7,8 siendo 15.600 conferencias el total mensual, es decir, $15.600 \times 12 = 187.200$ llamadas por año.

La duración promedio de una llamada interurbana pagada es:

$$T_2 = \frac{171.330 \text{ minutos}}{35.385 \text{ llamadas}} = 4,841882 \hat{=} 4,9 \text{ minutos por llamada}$$

Luego, $187.200 \times 4,9 = 917.280$ será el total de minutos tasados en un año para los 2.000 subscriptores y, para los 3.000 será:

$$\begin{array}{r} 917.280 \text{ minutos} \\ 171.330 \text{ minutos} \\ \hline 1'088.610 \text{ minutos por año} \end{array}$$

Considerando al igual que en Manta un impulso del 75%, en el año en que empieza a funcionar el nuevo servicio, el volumen estimado de tráfico interurbano en minutos/año es:

$$1,75 \times 1'088.610 = 1'905.067,5$$

$$\text{En minuto por mes es: } \frac{1'905.067,5}{12} = 158.755,62$$

En minutos tasables promedio por día:

$$\frac{158.755,62}{20} = 7.937,78 = \text{M T P D}$$

Tomando para el cálculo los días laborables de un mes. De acuerdo a apreciaciones personales, en comparación con la ciudad de Manta los otros factores tales como desarrollo industrial, movimiento comercial influyen en menor proporción en la demanda del servicio, por lo que para este caso he tomado como margen de seguridad el 15%, entonces,

$$\text{M T P D} = 7.937,78 \times 1,15 = 9.128,447$$

El tiempo promedio de comunicación pagada es $T_2 = 4,9$ minutos y la duración total de una llamada promedio es:

$$T_1 = T_0 + T_2 = 3 + 4,9 = 7,9 \text{ minutos.}$$

El valor C, según la tabla No. 1 es 9 y reemplazando estos valores en la fórmula (1) el tráfico en unidades erlangs, es el siguiente:

$$E = \frac{7,9}{4,9} \times \frac{1}{9} \times \frac{9128,447}{60} = \frac{72114,731}{2646} = 27,254244 \text{ erlangs}$$

Según la tabla No. 2 para esta cantidad de erlangs se deben conectar 38 circuitos o troncales de salida al momento de entrar en funcionamiento el nuevo Sistema.

Considerando el 15% como incremento del volumen de tráfico en cada año, siendo B el volumen de tráfico expresado en M T P D en el primer año, en el segundo año será: 1,15 B y en el quinto: 1,749 B donde B = 9.128,447 minutos/día, es decir, $1,749 \times 9,128,447 = 15.965,653 = \text{M T P D}$

Reemplazando valores en la fórmula (1) el tráfico esperado en el quinto año será:

$$E = \frac{7,9}{4,9} \times \frac{1}{9} \times \frac{15.965,653}{60} = \frac{126.128,65}{2.646} = 47,66766 \text{ erlangs}$$

De acuerdo a la tabla No. 2 esto corresponde a 61 troncales de salida.

Por información proporcionada por la oficina de tráfico he podido apreciar que el movimiento telefónico interurbano de las ciudades de Bahía y Chone es muy semejante, con 200 abonados en sus respectivas centrales.- Actualmente se está haciendo una ampliación a 400 líneas, pero I E T E L tiene planificado, una vez terminado el edificio en cada una de estas ciudades, instalar una Central nueva para 1.000 suscriptores.- Como se puede observar además de un tráfico telefónico parecido las proyecciones en lo que respecta a Centrales son las mismas por lo que el número de canales obtenidos será el mismo tanto para Bahía como para Chone.

Por no disponer de datos de tráfico completos durante un año para el cálculo del número de troncales tomaré en consideración el número de abonados que tendrá la Central.- De acuerdo con la tabla No. 3 para 1.000 suscriptores, el número de llamadas de cada abonado por mes es 8,9 y el total mensual será 8.900 conferencias.- Se determinó que la duración promedio de una llamada pagada es de 4,9 minutos, entonces, los minutos tasados por mes serán $8.900 \times 4,9 = 43.610$.

Considerando como impulso el 75%, en el año en que entra en servicio el nuevo Sistema, el volumen estimado de tráfico interurbano en minutos/mes es:

$$43.610 \times 1,75 = 76.317,5$$

En minutos tasables promedio por día (M T P D):

$$\frac{76.317,5}{20} = 3.815,875$$

Escogiendo los días laborables que tiene el mes.

Considerando los otros factores que influyen en la demanda del servicio, he podido apreciar que estas ciudades tienen índices económicos parecidos, poco desarrollo industrial, con un movimiento comercial y agrícola más intenso en Chone lo cual es compensado con el desarrollo turístico que va adquiriendo Bahía, es por esto, que tomaré para ambas ciudades el mismo margen de seguridad que será del 15%, luego,

$$M T P D = 3.815,875 \times 1,15 = 4.388,2562$$

El tiempo promedio de comunicación pagada es $T_2 = 4,9$ minutos, y la duración total de una llamada promedio es:

$T_1 = T_0 + T_2 = 3 + 4,9 = 7,9$ minutos.-El valor de C es 9 (ver tabla No. 1) y reemplazando estos valores en la fórmula (1) se tendrá:

$$E = \frac{7,9}{4,9} \times \frac{1}{9} \times \frac{4.388,2562}{60} = \frac{34.667,223}{2.646} = 13,101747 \text{ erlangs}$$

Según la tabla No. 2 esto corresponde a 22 troncales de salida.

Considerando el 15% como incremento de volumen de tráfico en cada año siendo B el volumen de tráfico expresado en M T P D en el primer año, en el segundo año será: 1,15 B, y en el quinto: 1,749 B donde $B = 4.388,2562$

$$\text{luego, } 1,749 \times 4.388,2562 = 7.675,06 \text{ M T P D}$$

Reemplazando valores en la fórmula (1), el tráfico esperado en el quinto año será:

$$E = \frac{7,9}{4,9} \times \frac{1}{9} \times \frac{7.675,06}{60} = \frac{60.632,974}{2646} = 22,914956 \text{ erlangs}$$

Esto corresponde a 33 troncales de salida como se puede observar en la tabla No. 2.

La ciudad que sigue en importancia en la Provincia en lo que respecta al movimiento telefónico es Jipijapa que tiene -

200 abonados conectados y un servicio de larga distancia manual.- En la planificación de I E T E L se ha previsto incrementar a 600 el número de líneas en la Central y por no disponer de datos de tráfico de esta ciudad el cálculo del número de canales lo haré a base del número de subscriptores.

De acuerdo a la tabla No. 3 para 600 subscriptores por Central, el número de llamadas por abonado en un mes es 9,6 siendo 5.760 el total mensual.- La duración promedio de una llamada interurbana tasable es de 4,6 minutos, entonces, el volumen estimado de tráfico en minutos por mes es:

$$5.760 \times 4,6 = 26.496$$

Considerando un impulso del 75%, en el año en que empieza a operar el nuevo Sistema, el volumen de tráfico será:

$$26.496 \times 1,75 = 46.368 \text{ minutos/mes}$$

En minutos tasables promedio por día:

$$M T P D = \frac{46.368}{20} = 2.318,4$$

$$T_2 = 4,6 \text{ minutos } T_1 = T_0 + T_2 = 3 + 4,6 = 7,6 \text{ minutos y } C = 9$$

Reemplazando estos valores en la fórmula (1) el tráfico es:

$$E = \frac{7,6}{4,6} \times \frac{1}{9} \times \frac{2.318,4}{60} = \frac{17.619,84}{2484} = 7,093333 \text{ erlangs}$$

Según la tabla No. 2 esto equivale a 14 troncales de salida aproximadamente.

Dejaré 24 canales para repartirlos en poblaciones tales como Calceta, Junín, Rocafuerte, Santa Ana, Olmedo, 24 de Mayo que deben ser consideradas en el plan de Telecomunicaciones Rurales que se está elaborando en el país.

Entonces, de acuerdo al cálculo realizado en páginas anteriores la distribución de Canales para la Provincia de Manabí es la siguiente:

Manta	76	Canales
Portoviejo	61	"
Bahía	33	"
Chone	33	"
Jipijapa	14	"
Poblaciones Rurales	24	"
	<u>241</u>	"

Con este número de canales se podrá cubrir las necesidades telefónicas de la Provincia de por lo menos 5 años.- Como los equipos de Radiotransmisión por microondas tienen una vida promedio de aproximadamente 10 años es conveniente dejar un margen de canales para futuras ampliaciones o una posible redistribución, de tal forma, que con un sistema de microondas con una capacidad de hasta 300 canales telefónicos se podrá satisfacer los requerimientos anteriores.



T A B L A No. 1

Relación entre tráfico de la hora cargada y el tráfico diario.

Horas de diferencia	Valor de "1/C"
Coincidencia	1/9
Diferencia, 1 hora	1/8
Diferencia, 2 horas	1/7
Diferencia, 3 horas	1/7
Diferencia, 4 horas	1/6
Diferencia, 5 horas	1/5
" 6 "	1/5
" 7-9 "	1/5
" 11 "	1/6
" 12 "	1/7

T A B L A No. 2

TRONCALES EN FUNCION DE ERLANGS

ACCESIBILIDAD COMPLETA - PERDIDA "B" IGUAL A 0.01

Troncales	Erlangs	Troncales	Erlangs	Troncales	Erlangs	Troncales	Erlangs	Troncales	Erlangs	Troncales	Erlangs
1	0.0101	24	15.3	47	35.2	70	56.1	140	122.0	250	228.3
2	0.153	25	16.1	48	36.1	72	58.0	146	127.7		0.976
3	0.455	26	17.0	49	37.0	74	59.8	150	131.6	300	277.1
4	0.869	27	17.8	50	37.9	76	61.7	152	133.5		0.982
5	1.36	28	18.6	51	38.8	78	63.5	156	137.3	350	326.2
6	1.91	29	19.5	52	39.7	80	65.4	160	141.2		0.982
7	2.50	30	20.3	53	40.6	82	67.2	166	146.9	400	375.3
8	3.13	31	21.2	54	41.5	84	69.1	170	150.8		0.986
9	3.78	32	22.0	55	42.4	86	70.9	176	156.6	450	424.6
10	4.46	33	22.9	56	43.3	88	72.8	180	160.4		0.988
11	5.16	34	23.8	57	44.2	90	74.7	186	166.2	500	474.0
12	5.88	35	24.6	58	45.1	92	76.6	190	170.1		0.991
13	6.61	36	25.5	59	46.0	94	78.4	196	175.9	600	573.1
14	7.35	37	26.4	60	46.9	96	80.3	200	179.7		0.993
15	8.11	38	27.3	61	47.9	98	82.2	206	185.5	700	672.2
16	8.88	39	28.1	62	48.8	100	84.1	210	189.4		0.994
17	9.65	40	29.0	63	49.7	106	89.7	216	195.2	800	771.8
18	10.4	41	29.9	64	50.6	110	93.5	220	199.1		0.997
19	11.2	42	30.8	65	51.5	116	92.2	226	204.9	900	871.5
20	12.2	43	31.7	66	52.4	120	103.0	230	208.8		0.997
21	12.8	44	32.5	67	53.4	126	108.7	236	214.7	1000	971.2
22	13.7	45	33.4	68	54.3	130	112.5	240	218.6		0.998
23	14.5	46	34.3	69	55.2	136	118.2	246	224.4	1100	1071

T A B L A No. 3

NUMERO DE LLAMADAS INTERURBANAS V.S. SUBSCRIPTORES

SUBSCRIPTORES POR CENTRAL	NUMERO DE LLAMADAS POR MES	
	Por subscriptor	total
100	14	1.400
150	13	1.950
200	12	2.400
250	11.6	2.900
300	11	3.300
350	10.8	3.780
400	10.2	4.080
450	9.9	4.455
500	9.8	4.900
550	9.7	5.335
600	9.6	5.760
650	9.5	6.175
700	9.4	6.580
750	9.3	6.975
800	9.2	7.360
850	9.1	7.735
900	9.0	8.100
1.500	8.4	12.600
2.000	7.8	15.600
2.500	7.2	18.000
3.000	6.6	19.800
3.500	6.0	21.000
4.000	5.2	20.800
4.500	4.6	20.700
5.000	4.35	21.750
5.500	4.0	22.000
6.000	3.9	23.400

SUBSCRIPTORES POR CENTRAL	NUMERO DE LLAMADAS POR MES	
	Por subscriptor	Total
6.500	3.8	24.700
7.000	3.7	25.900
7.500	3.6	27.000
8.000	3.5	28.000
8.500	3.5	29.750
9.000	3.4	30.600
15.000	3.2	48.000
20.000	2.8	56.000
25.000	2.4	60.000
30.000	2.3	69.000
35.000	2.2	77.000
40.000	2.0	80.000
45.000	1.8	81.000
50.000	1.75	87.500
55.000	1.7	93.500
60.000	1.6	96.000
65.000	1.5	97.500
70.000	1.5	105.000
75.000	1.5	112.500
80.000	1.5	120.000
90.000	1.4	126.000

3.- BANDA DE FRECUENCIA UTILIZABLE

El Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones (IETEL) por intermedio de la Dirección Nacional de Frecuencia es la entidad gubernamental encargada de la asignación y aprobación de bandas de frecuencias por servicios, basandose en disposiciones, resoluciones y recomendaciones de organismos internacionales, de los que nuestro país es miembro y en normas nacionales establecidas para el efecto.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (U.I. T.) ha regulado la utilización del espectro de Radiofrecuencia atribuyendo rangos específicos a los servicios individuales en diferentes áreas geográficas.- De acuerdo a una de sus resoluciones el espectro radioeléctrico se subdivide en nueve rangos de frecuencias, que se designan por números enteros, en orden creciente, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Rango No.	Gama de frecuencias (excluido el límite inf. pero, incluye el superior)	Subdivisión métrica correspondiente
-----------	---	-------------------------------------

4	3 a 30 K HZ (M B F)	ondas miriamétricas
5	30 a 300 " (B F)	" Kilométricas
6	300 a 3.000 " (. M F)	" hectométricas
7	3 a 30 M HZ (A F)	" decamétricas
8	30 a 300 " (M A F)	" Métricas
9	300 a 3.000 " (U A F)	" decimétricas
10	3 a 30 G HZ (S A F)	" centimétricas
11	30 a 300 " (E A F)	" Milimétricas
	3 THZ	" decímilimétricas

Las frecuencias se expresan:

en Kilohertzios (K H Z) hasta 3.000 KHZ, inclusive,
 en Megahertzios (M H Z) por encima de esta frecuencia hasta 3.000 MHZ, inclusive,

en Gigahertzios (GHZ), a partir de esta última frecuencia hasta 300 GHZ, inclusive.

El " rango N " se extiende de $0,3 \times 10^N$ a 3×10^N HZ

Los símbolos y prefijos son los siguientes:

HZ	=	Hertzio
K	=	Kilo (10^3)
M	=	Mega (10^6)
G	=	Giga (10^9)
T	=	Tera (10^{12})

El sistema que estoy diseñando se lo clasifica entre la clase de servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados, y, el término microondas se lo utiliza generalmente para sistemas de comunicaciones que operan en el rango de frecuencias comprendido entre 1,7 y 11,7 GHZ.- Para este rango de frecuencia el C.C.I.R ha establecido una serie de Recomendaciones con el fin de que las administraciones asociadas a la U.I.T. hagan una utilización óptima del espectro de Radio-frecuencia, indicando entre otras cosas la disposición de las frecuencias con el número de canales Radioelectricos que pueden usar una misma antena, la capacidad de canales telefónicos para cada canal de Radio, el ancho de banda disponible y su frecuencia central.

El nombre de la banda y su respectiva Recomendación estan indicadas a continuación:

<u>BANDA</u>	<u>RECOMENDACION</u>
2 G H Z	279-1 283-1 382-1
4 G H Z	279-1 382-1
6 G H Z	383-1 384-1
7 G H Z	385

8 G H Z	386-1
11 G H Z	387
Enlaces por dispersión tropósferica	388
enlaces auxiliares	389

Cuando hay una gran demanda de asignaciones de bandas para numerosas clases de servicios radioeléctricos, se presentan problemas de coordinación de frecuencias susceptibles de causar interferencias, debido al congestionamiento del espectro.

En nuestro país no existe en la actualidad este problema ya que son reducidos los sistemas que funcionan en el rango de las microondas. Utiliza la banda de 6 GHz el sistema telefónico y de T.V. Guayaquil-Quito y la parte de transmisión de la estación terrena; la banda de 7 GHz el enlace entre la estación terrena y Quito Centro; y, algunos sistemas particulares tales como Canal 10 de T.V. utilizan equipos con un rango de 5,8 a 7,5 G H Z para el enlace entre los estudios y Cerro azul (7.125 GHz es la frec. de funcionamiento actual).

Después de analizar las varias posibilidades y considerando la capacidad de canales telefónicos del sistema he escogido como banda de frecuencia utilizable la de 7 GHz cuya recomendación (adjunta en hojas adicionales) establece una frecuencia central de $f_0 = 7.575 \text{ M} \cdot \text{H Z}$ para la banda: 7.425 - 7.725 MHz y las frecuencias de cada canal de Radio se expresan por las siguientes relaciones:

$$f_n = f_0 - 154 + 7n \quad (1)$$

$$f'_n = f_0 + 7 + 7n \quad (2)$$

donde:

f_n , es la frecuencia central de un canal radioeléctrico de la mitad inferior de la banda, en M H Z

f'_n , es la frecuencia central de un canal radioeléctrico de la mitad superior de la banda, en M H Z

n , número del canal de Radio.

El desarrollo de las relaciones (1) y (2) se indica en -

la tabla No.1 y será de utilidad para determinar en el capítulo correspondiente al planeamiento de frecuencia la frecuencia de Transmisión de los equipos del Sistema.

T A B L A. No. 1

El arreglo de Canales de R-F para el rango de frecuencia 7.425 a 7.725 M H Z de acuerdo a la Recomendación C.C.I.R. 385 es el siguiente:

$$f_n = f_0 - 154 + 7 n$$

mitad inferior de la banda

$$f_n = f_0 + 7 + 7 n$$

mitad superior de la banda

Canal No.	Radio frecuencia en M H Z	Canal No.	Radio frecuencia en M H Z
1 I	7428	1 S	7589
2 I	7435	2 S	7596
3 I	7442	3 S	7603
4 I	7449	4 S	7610
5 I	7456	5 S	7617
6 I	7463	6 S	7624
7 I	7470	7 S	7631
8 I	7477	8 S	7638
9 I	7484	9 S	7645
10 I	7491	10 S	7652
11 I	7498	11 S	7659
12 I	7505	12 S	7666
13 I	7512	13 S	7673
14 I	7519	14 S	7680
15 I	7526	15 S	7687
16 I	7533	16 S	7694
17 I	7540	17 S	7701
18 I	7547	18 S	7708
19 I	7554	19 S	7715
20 I	7561	20 S	7722

SISTEMAS DE RELEVADORES RADIOELECTRICOS PARA TELEFONIA
CON MULTIPLAJE POR DISTRIBUCION DE FRECUENCIA

Disposición de los canales radioeléctricos de los sistemas con una capacidad de 60, 120 y 300 canales telefónicos, que trabajan en la banda de 7 GHz

(Cuestión 1/9)

El C..C. I. R.,

CONSIDERANDO:

- a) Que conviene poder interconectar, en las frecuencias radioeléctricas, los sistemas de relevadores radioeléctricos con capacidad para 60, 120 y 300 canales de los circuitos internacionales que trabajan en la banda de 7 GHz;
- b) Que para estos sistemas de relevadores radioeléctricos - puede haber bandas de frecuencias de 300 MHz que están - disponibles;
- c) Que es posible reducir los gastos interconectando varios canales de ida y varios canales de retorno en una antena común transmisión-recepción;
- d) Que pueden reducirse al mínimo muchos efectos perturbados mediante una disposición cuidadosa y bien estudiada de las frecuencias radioeléctricas en los sistemas de relevadores radioeléctricos que utilizan varios canales radioeléctricos;
- e) Que con objeto de lograr una economía de frecuencias, conviene intercalar canales radioeléctricos complementarios con los previstos en la disposición principal;
- f) Que para las frecuencias centrales de los canales radioeléctricos conviene también tener los mismos valores que para los sistemas de relevadores radioeléctricos de 60, 120 y 300 canales, y



BIBLIOTECA

- g) Que la separación entre las frecuencias centrales de los canales radioeléctricos debe ser tal que los sistemas de relevadores radioeléctricos puedan funcionar con la desviación de frecuencia máxima indicada en la Recomendación 404-1 que les concierne,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que la disposición preferida de los canales radioeléctricos para varios sistemas que trabajen en la banda de 7 GHz, cada uno de ellos con capacidad para 60, 120 ó 300 canales telefónicos, se obtenga en la forma siguiente (véase la fig.1):

Sea f_0 la frecuencia central de la banda de frecuencias ocupada, en MHz,

f_n la frecuencia central de un canal radioeléctrico de la mitad inferior de esa banda, en MHz, y

f'_n la frecuencia central de un canal radioeléctrico de la mitad superior de esa en MHz;

las frecuencias de cada canal se expresan entonces, en MHz, por las relaciones siguientes:

mitad inferior de la banda: $f_n = f_0 - 154 + 7n$ (nota 1),

mitad superior de la banda: $f'_n = f_0 + 7 + 7n$ (nota 1),

donde $n = 1, 2, 3, \dots, 20$;

2. Que en una sección utilizada para una interconexión internacional, todos los canales de ida estén situados en una de las mitades de la banda, y todos los de retorno en la otra mitad;

3. Que cuando se empleen antenas comunes transmisión-recepción y se transmitan tres canales radioeléctricos por una sola antena, se elijan las frecuencias de los canales haciendo que, en cada mitad de la banda:

$n = 1, 8$ y $15, 0$

$n = 2, 9$ y $16, 0$

$n = 3, 10$ y $17, 0$

$n = 4, 11$ y $18, 0$

$$n = 5, 12 \text{ y } 19, 0$$

$$n = 6, 13 \text{ y } 20;$$

4. Que, para las interconexiones internacionales, el valor de la frecuencia central, sea preferentemente:
- $f_0 = 7575$ MHz, para la banda 7425-7725 MHz (nota 1), pero que, previo acuerdo entre las administraciones interesadas, puedan utilizarse otros valores de frecuencias centrales en ciertas zonas geográficas, por ejemplo:
- $f_0 = 7275$ MHz, 7400 MHz y 7700 MHz (nota 1);
5. Que la disposición de los canales radioeléctricos y la elección de la polarización de las antenas sean objeto de acuerdo entre las administraciones interesadas;
6. Que cuando en una banda de frecuencias radioeléctricas se utilicen sistemas de 300 canales telefónicos, se eviten, en general, combinaciones de canales que originen diferencias de frecuencia entre canales de menos de 14 MHz, pero que si se dispone de suficiente discriminación de antena, se prescinda de esta precaución.

NOTA 1.- Las fórmulas correspondientes a f_n y f'_n y los valores de f_0 citados difieren de los de la Recomendación 284 (Los Angeles, 1959). Esta modificación, puramente formal, tiene por objeto que la "frecuencia central" f_0 esté efectivamente situada en el centro de la banda de frecuencias ocupada y no entraña cambio alguno en lo que respecta a las frecuencias centrales de cada canal

Transmisión (o recepción) Recepción (o transmisión)

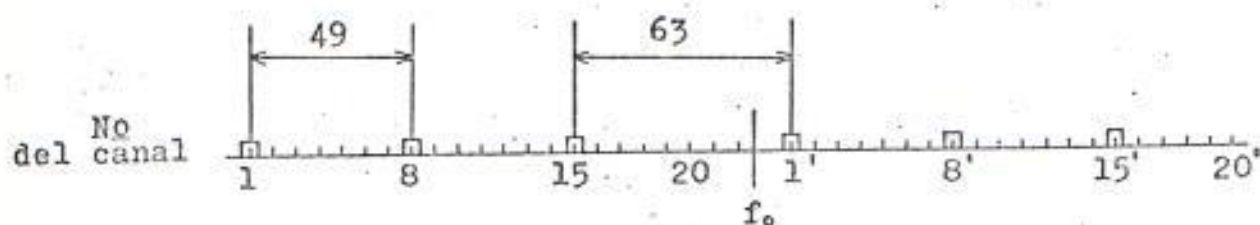


Fig. 1

4.- SELECCION DE LA RUTA OPTIMA

4 a.- Orden de Procedimiento.

El objetivo principal del planeamiento de trayectos de propagación para instalar sistemas de Radiotransmisión por Microondas, es establecer una ruta que cumpla con las especificaciones técnicas necesarias con requerimientos económicos mínimos.

La ruta está formada por estaciones terminales y repetidoras, dependiendo de la distancia entre los puntos que se desea interconectar el número de tramos que se formarían.- Los repetidores de microondas efectúan dos funciones importantes: amplifican la señal de entrada a un nivel apropiado para que alcance al repetidor siguiente y desplazan ésta señal a una frecuencia diferente para que no exista interferencia con la señal de salida.

Antes de iniciar el trazado de la ruta debo conocer ciertas características del sistema de transmisión, tales como número de canales para el tráfico actual, con un margen de canales para futuras ampliaciones y la banda de frecuencia de funcionamiento.- Estas decisiones ya han sido tomadas en los capítulos precedentes.

Entre los principales factores que se debe tener presente en la planificación de una ruta puedo enumerar los siguientes:

- 1o.) Utilizar elevaciones naturales para la ubicación de estaciones repetidoras.
- 2o.) Accesibilidad.- Tratar en lo posible que la estación es te ubicada en un punto cercano a una carretera o camino, de tal forma que no sea muy costosa la construcción de una vía.- Este es un factor que reviste gran importancia por cuanto hay que considerar que los equipos - para la instalación de la estación se transportarán en vehículos y periódicamente irán técnicos para realizar el mantenimiento preventivo o correctivo de los equipos.

- 30.) Posibilidad de provisión de energía eléctrica por la red pública.
- 40.) Area disponible.- En las estaciones repetidoras debe existir el espacio necesario para la construcción de la caseta que contendrá los equipos y para la cimentación de la base de la torre que sostendrá las antenas.- En las estaciones terminales hay que asegurarse de que no existan obstrucciones cercanas que podrían causar reflexiones indeseadas de la onda electromagnética.
- 50.) Condiciones meteorológicas.- Tener conocimiento de las variaciones atmosféricas que se pueden esperar en la zona elegida, principalmente en lo que concierne a temperatura, (para la instalación de sistemas eficientes de ventilación) y velocidad del viento (para escoger criterios de estabilidad para el cálculo de la estructura que sostendrá las antenas y para conocer la rigidez con que se colocarán los sistemas radiantes de tal forma que no haya variaciones angulares excesivas de las antenas).
- 60.) Longitud del tramo.- Los trayectos no deben ser excesivamente largos ya que la calidad de la transmisión puede ser deteriorada.- Se consideran longitudes normales aquellas que no sobrepasan los 70 Kmts.
- 70.) La ruta debe establecerse en línea quebrada para reducir las interferencias a un mínimo, al hacerlo en línea recta la inducción del tramo A al tramo C, reduciría la calidad del sistema.

El planeamiento preliminar se lo debe realizar en el laboratorio con la ayuda de cartas topográficas de la zona de escala apropiada e implementos de dibujo.- Mediante un estudio minucioso de los mapas y por un proceso de eliminación y selección se llega a la ruta que presenta más ventajas para el diseño del Sistema considerando los factores anotados anteriormente.- La selección definitiva de los sitios de instalación de antenas se hace una vez que se ha realizado un reconocimiento del terreno y si es posible, después de recorrer los trayectos para comprobar las elevaciones en los puntos críticos.

Con los datos obtenidos en el campo se corrige o se ratifica la selección hecha en los estudios preliminares.

Cuando se dispone de equipos para realizar pruebas de propagación estas se deben efectuar durante un conveniente lapso de tiempo (pueden ser de 15 a 30 días) en cada trayecto.- De estas pruebas es posible determinar con alto grado de precisión la siguiente información:

Localización de puntos de reflexión en el trayecto

El coeficiente de reflexión

El valor de K en el tiempo de medición

Las elevaciones de antena para los cuales se obtiene la atenuación mínima calculada como atenuación en el espacio libre

La mejor elevación de antena para minimizar el desvanecimiento debido a reflexiones desde la superficie de la tierra.

En caso contrario, con la ayuda de los perfiles topográficos de cada trayecto se deben calcular teóricamente los parámetros necesarios para el dimensionamiento del sistema.

4 b.- Ubicación de estaciones terminales y repetidoras del Sistema.-

El estudio preliminar para la determinación de la ruta lo he realizado en cartas topográficas de escala 1:50.000 preparadas por el Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) a base de fotografías aéreas y compilaciones hechas por el método fotogramétrico, con curvas de nivel de 20 mts. de intervalo.- Escogí por conveniencia técnica, como punto terminal en la Provincia de Manabí a la ciudad de Manta y en Guayaquil el Cerro El Carmen, lugar donde I.E.T.E.L. tiene planificado construir una torre de Telecomunicaciones en la que se ubicarán todos los sistemas de Radio-Enlace que se interconectan con esta ciudad.

En Manta los equipos estarán ubicados en el Edificio del Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones (I.E.T.E.L.) que tiene 2 pisos altos y una planta baja lo que equivale a una altura de 12 mts. hasta la base de la torre que sostendrá la

antena.- Este edificio está localizado en el malecón de la ciudad, se levanta a 4 mts. de altura sobre el nivel del mar y, no existe la posibilidad de obstrucción de la señal por causa de una construcción cercana.- Tiene como inconveniente su proximidad al mar ya que un punto de reflexión en el agua ocasionaría serios problemas en la calidad de la transmisión, pero este punto se puede desplazar por medio de la selección de las alturas de antena.- Se puede aprovechar la energía de la ciudad pero, en caso de interrupción de la misma existe un generador de emergencia.- Las coordenadas de esta estación terminal son las siguientes:

0° 56' 34" Latitud Sur
80° 43' 12" Longitud Oeste

El Cerro El Carmen tiene una elevación natural de 100 mts. y en el lugar en que se esta construyendo la torre no hay inconveniente en lo que respecta a obstrucciones por posibles construcciones vecinas; el edificio tendrá 36 mts. de altura pero su base ha sido diseñada para soportar una torre autosoportada de hasta 30 mts. de altura. - Se aprovechará la energía de la ciudad y se tendrán generadores de reserva para casos de emergencia.- Las coordenadas de esta estación terminal son las siguientes:

2° 10' 37,5" Latitud Sur
79° 52' 39" Longitud Oeste

Para las comunicaciones con Manta y Portoviejo I.E.T.E.L. ha desarrollado una estación repetidora de U.H.F. en un Cerro denominado Jaboncillo que tiene una elevación de 700 mts.- La ubicación de este punto es conveniente para el diseño de la red ya que hay línea de vista con Manta, Portoviejo y con algunas poblaciones de la provincia además, cuenta con vía de acceso, con una torre autosoportada de 30 mts. de altura, con la caseta en la que se colocarán los equipos y tiene dos generadores para la provisión de la energía eléctrica.- Entonces por conveniencia económicas y técnicas este será un punto de la Red de Microondas y las coordenadas del mismo son las

siguientes:

1°	2'	28,9"	Latitud Sur
80°	32'	29,7"	Longitud Oeste

Marcando estos puntos en las cartas topográficas escogí varias rutas alternativas que me permitían enlazar Jaboncillo con Cerro El Carmen, considerando entre otras cosas la longitud del trayecto, elevaciones naturales, comprobación de línea de vista mediante diagrama de perfiles, formación del enlace en línea quebrada, para luego, de un estudio cuidadoso de las varias posibilidades y, en las que para su selección definitiva juega un papel muy importante la vía de acceso a la estación, establecí que la ruta más favorable, es decir, la que presenta las mayores ventajas tanto técnicas como económicas es la que se ilustra en el diagrama No. 1 donde están ubicados con precisión los puntos de interconexión del Sistema de Microondas, se indica las distancias de los trayectos obtenidas de los mapas, así como también los varios Acimuts Geográficos medidos con la ayuda de un transportador y calculados con mayor exactitud por el Método de la posición inversa que utiliza las coordenadas de los puntos y tablas de Posiciones Geodésicas, el procedimiento seguido junto con los cálculos se incluyen en el presente trabajo.- (Ver apéndice sección A).

Para considerar definitiva esta selección realicé un reconocimiento del terreno con el objeto de comprobar las alturas de las elevaciones, los puntos de referencia de las cartas, accesibilidad hacia los puntos escogidos y en lo posible constatar la línea de vista del trayecto.- En primer lugar visité el Cerro denominado Rascacielo, que es el punto siguiente a Jaboncillo tomando la dirección Manta - Guayaquil, teniendo como coordenadas:

1°	17'	45,2"	Latitud Sur
80°	18'	19,8"	Longitud Oeste

El punto escogido del Cerro tiene una altura de 390 mts. comprobado con un altímetro, y cerca de él, a unos 50 mts, pasa una vía transitable en tiempo bueno o seco.- Este camino

llega hasta la población de Santa Ana, que esta unida con Portoviejo mediante carretero asfaltado, y es bastante bueno en gran parte de su longitud, desmejorando un poco al llegar al Cerro.- El viaje a este punto lo llevé a cabo en un vehículo tipo Land-Rover, contabilizando aproximadamente 13 Kmts. de recorrido desde Santa Ana con un tiempo de 15 minutos; comprobé además la veracidad de los nombres y ubicaciones de los recintos y escuelas que se atraviesan en el recorrido y que constan en las cartas topográficas.- Esta vía se puede apreciar en el mapa correspondiente a esta zona, carta CT - M I V - 83, 3590 - 111.

Luego de arribar al sitio indicado con la ayuda de la brújula y el Acimut correspondiente busqué la dirección hacia Jaboncillo, con el que hay una separación de 38,45 Kmts.; y utilizando los Binoculares pude observar dicho Cerro, comprobando de esta manera la línea de vista en ese trayecto.- Así mismo, busqué la dirección hacia el siguiente punto de la interconexión en el que hay una distancia de 44,35 Kmts. y pude constatar la línea de vista con los Binoculares aprovechando que la atmósfera se encontraba despejada.

Después de una limpieza y nivelación del terreno queda suficiente área disponible para la construcción de la caseta que contendrá los equipos y, para la cimentación de la base de la torre.- En lo que respecta a la provisión de energía eléctrica por parte de la Red pública, la única posibilidad es tomarla desde Santa Ana, pero debido a la distancia sería muy costoso, de tal forma que la solución adecuada sería instalar dos motores-generadores con cambio automático.

El siguiente punto de la Red está ubicado en el Cerro denominado El Roncador y cuyas coordenadas son las siguientes:

1°	40'	52,5"	Latitud Sur
80°	11'	43,8"	Longitud Oeste

En este punto hay un hito del I.G.M. y la altura marcada es de 229 mts., la cual fué comprobada mediante un altímetro.

A unos 400 mts. del punto pasa un camino transitable en tiempo bueno o seco que parte desde Pedro Carbo y llega al Recinto - El Roncador.- Esta vía que está indicada en el mapa CT - M I V F2 , 3588 - 1 correspondiente a esta zona, es recorrida por vehículos que transportan pasajeros y se puede decir que las condiciones en general son bastante aceptable en la mayor parte de su extensión.- El recorrido lo realicé en un vehículo tipo Land-Rover, contabilizando aproximadamente 17 Kmts. desde Pedro Carbo hasta el lugar escogido con un tiempo de 20 minutos, constatando además, los nombres de recintos y haciendas que están anotados en las cartas topográficas.- Realizando nivelamientos y limpieza del terreno, queda el espacio necesario para la construcción de la caseta en la que se ubicaran los equipos y para la cimentación de la base de la torres que sostendrá las antenas.- La única posibilidad de obtener energía eléctrica por parte de la red pública es desde Pedro Carbo pero debido a la distancia no sería conveniente esta inversión por lo que en esta estación repetidora también se deberá instalar dos motores-generadores con cambio automáticos.

Están incluidas en el presente trabajo las cartas topográficas utilizadas en la búsqueda de los puntos de la Red, las que han sido reducidas mediante copias Xeroescópicas, en las que están ubicadas las estaciones del sistema, la vía de acceso a las repetidoras, y los puntos adyacentes están unidos por una línea recta para formar la interconexión.

En el cuadro de la página siguiente se indica la posición de los puntos de la ruta, la distancia de cada uno de los trayectos y la longitud total.



TRAMO O SECCION	ESTACION	LONGITUD (OESTE)	LATITUD (SUR)	ALTURA (MTS)	DISTANCIA DEL TRAMO (KMTS)
1	MANTA	80° 43' 12"	0° 56' 34"	4	22,55
	JABONCILLO	80° 32' 29,7"	1° 2' 28,9"	700	
2	RASCACIELO	80° 18' 19,8"	1° 17' 45,2"	390	38,45
3	RONCADOR	80° 11' 43,8"	1° 40' 52,5"	229	44,35
4	EL CARMEN	79° 52' 39"	2° 10' 37,5"	100	65,25
LONGITUD TOTAL DE LA RUTA					170,6

UBICACION DE LAS ESTACIONES DE LA RUTA
OPTIMA AZIMUTS Y DISTANCIAS DE LOS TRAYECTOS

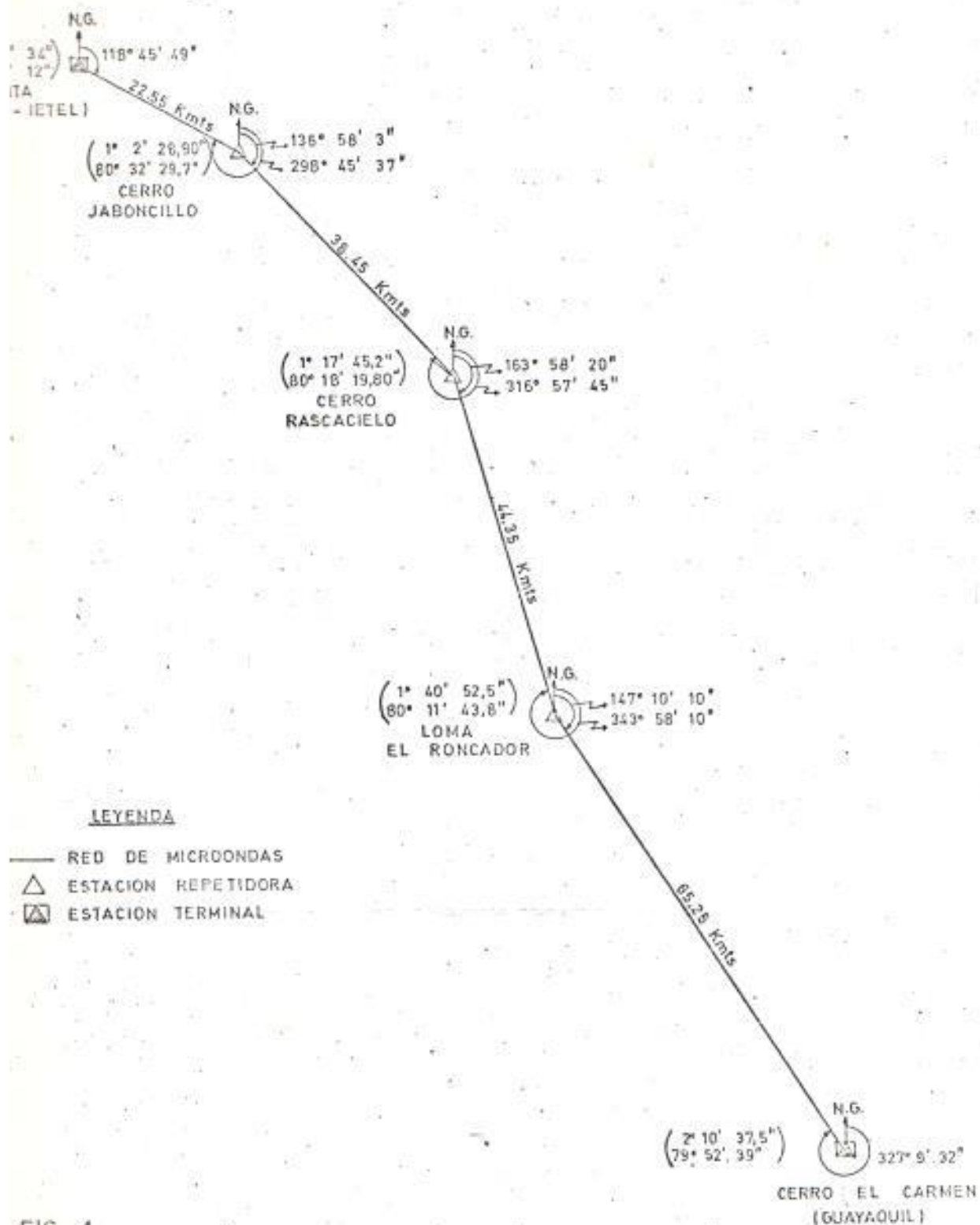


FIG. 1

4 c.- Descripción orográfica de la ruta escogida.-

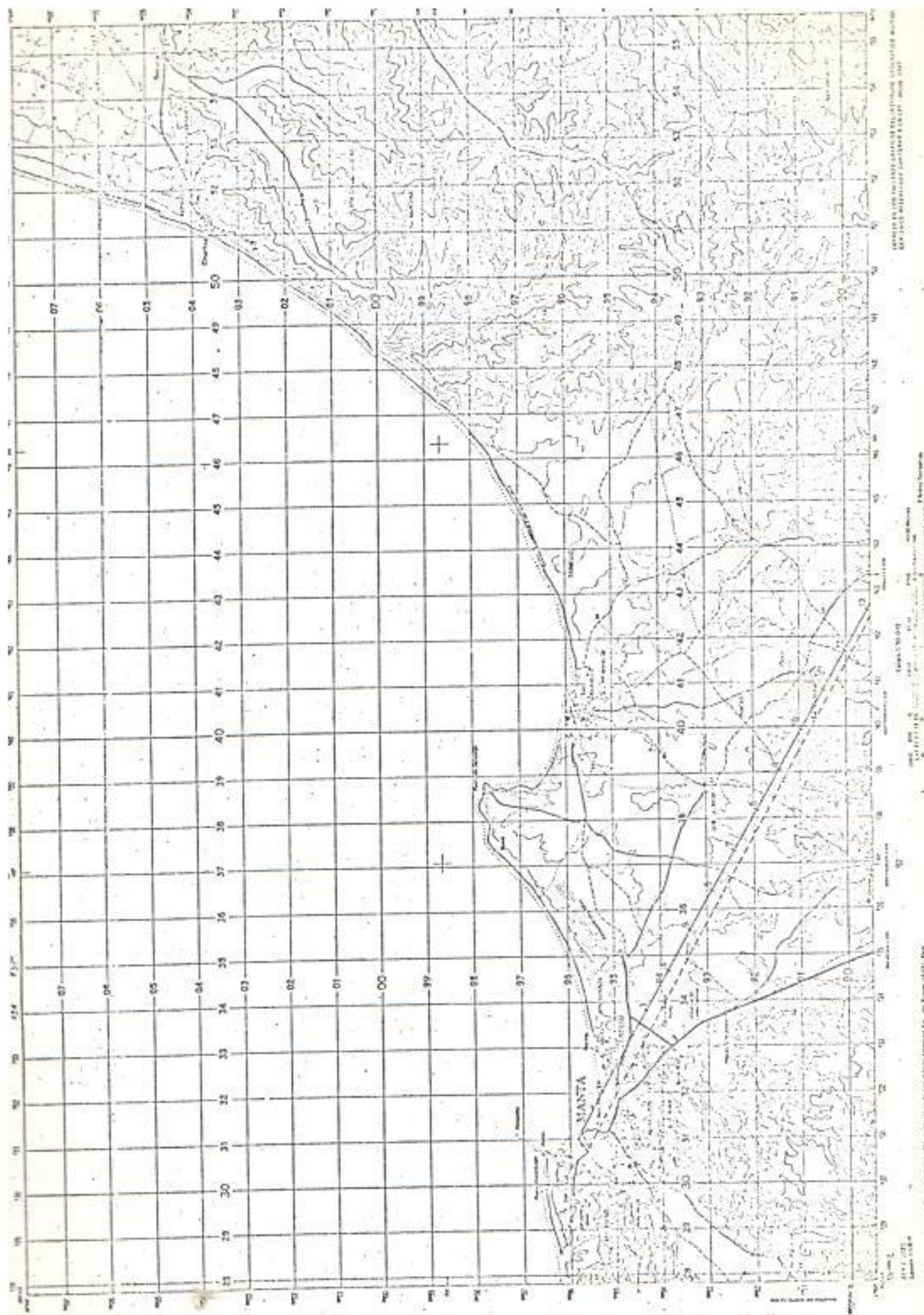
El trayecto Manta - Cerro Jaboncillo tiene una longitud de 22,55 kms.- Al iniciar su recorrido atraviesa por, aproximadamente 1 Kmt. de agua de mar, para luego cruzar el área urbana de Tarqui y, continuar por terrenos de escasa vegetación, con pocas variaciones de altura.- Después de atravesar unos 12 kms. la vegetación se torna más túpida y las cotas de las elevaciones comienzan a incrementarse.- Este ascenso continúa por terreno montañoso, atravieza un caserío llamado "Sequita", pasa por unos sembríos de café hasta llegar al Cerro Jaboncillo a 700 mts. de altura sobre el nivel del mar.

El siguiente trayecto Jaboncillo-Rascacielo tiene una longitud de 38.45 kms.- Desciende bruscamente por terreno montañoso hasta unos 72 mts. de altura, donde atraviesa el carretero que une Manta con Portoviejo, continúa por una zona de pocas irregularidades, en la que se aprecia árboles de lana de ceibo, hasta que comienza a subir por terrenos de gran vegetación y con marcadas variaciones de altura.- Luego, de unos 20 kms. de recorrido sigue por una zona en la que abundan los sembríos especialmente de maíz y, los caseríos son más frecuentes, continúa por terrenos boscoso caracterizado por árboles de gran altura hasta llegar al Cerro Rascacielo que está rodeado por un camino vecinal y es uno de los de mayor altura de esa comarca.- El punto de este Cerro escogido para la ruta tiene 390 mts. de alto.

El trayecto Rascacielo-Roncador tiene una longitud de 44,35 kms.- En su inicio atraviesa una parte de territorio cubierto de montes altos, luego, cruza por una zona de hierba tropical y, nuevamente pasa por terrenos boscoso caracterizado por la altura de sus árboles.- Después de 6 kms. de recorrido pasa por un caserío, atravieza varios esteros, sigue por unos matorrales (montes-bajos) y, continúa por territorio montañoso de espesa vegetación hasta que, luego de transitar unos 24 kms., su recorrido lo hace alternado entre terrenos

cubiertos de bosques y zonas de muy poca vegetación.- El trayecto finaliza en un punto de 229 mts. de la Loma El Roncador que está rodeada por montes altos y hierbas tropicales.- Como se puede apreciar en el diagrama de perfiles este tramo se caracteriza por la irregularidad de su terreno y dada su naturaleza montañosa se presenta favorable para la propagación de las ondas Radioeléctricas.

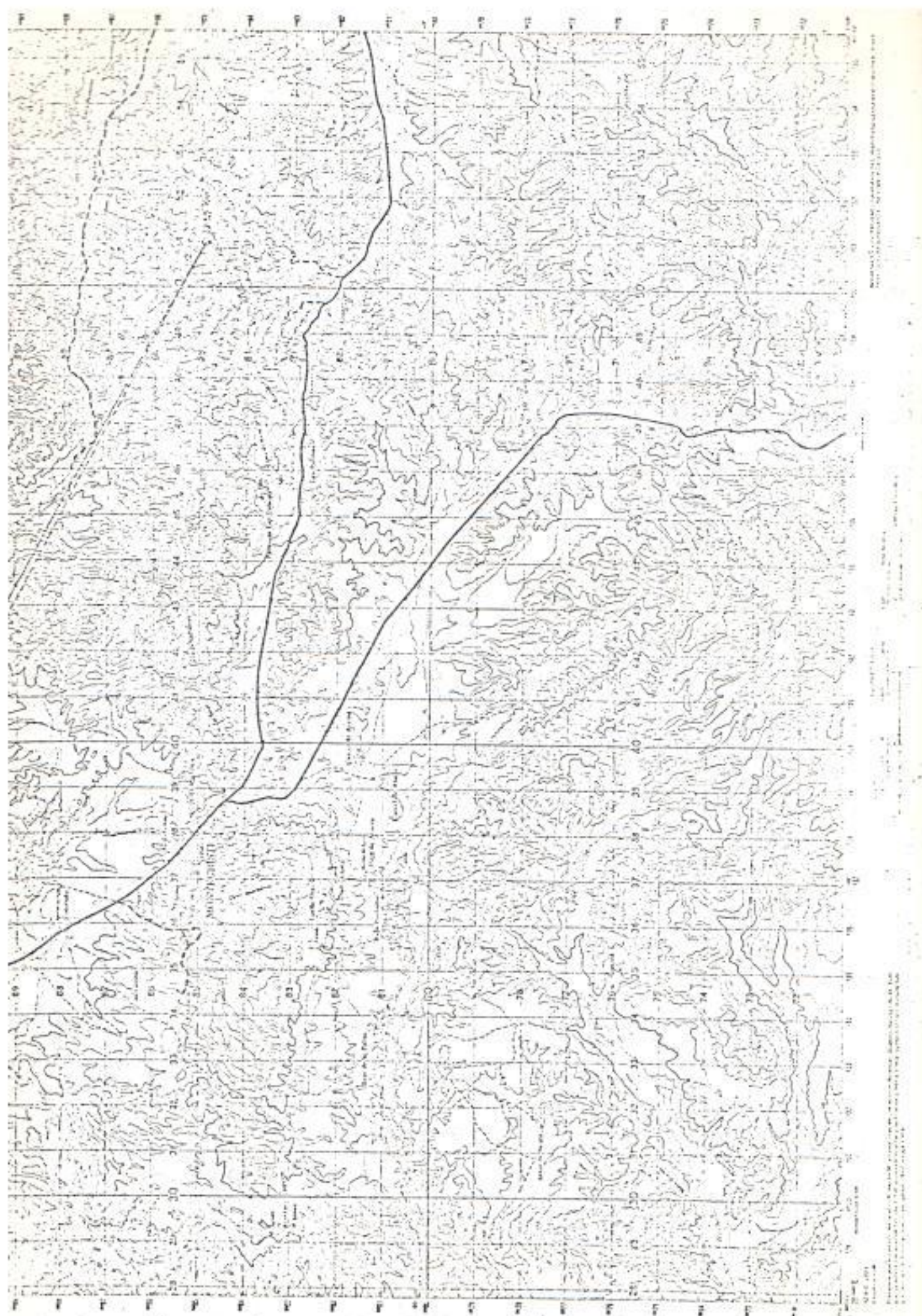
El trayecto El Roncador - Cerro El Carmen (Guayaquil), último de la ruta, tiene 65,25 Kmts. de extensión.- Los 5 primeros Kmts. atraviesa por terrenos cubiertos de espesa montaña, luego, cruza por una gran extensión de matorrales y hierbas tropicales, donde hay también varios esteros pequeños, ríos de poco caudal y pequeños lagos.- Sigue por sembríos de arroz, pasa por zonas de densa vegetación, atraviesa el carretera Guayaquil-Daule y varias lotizaciones, hasta llegar al Cerro El Carmen en la ciudad de Guayaquil.- El lugar en que se está construyendo la torre de Telecomunicaciones está delante de los tanques de agua para uso del cuerpo de bomberos y la altura de ese punto medido con altímetro es 100 mts.

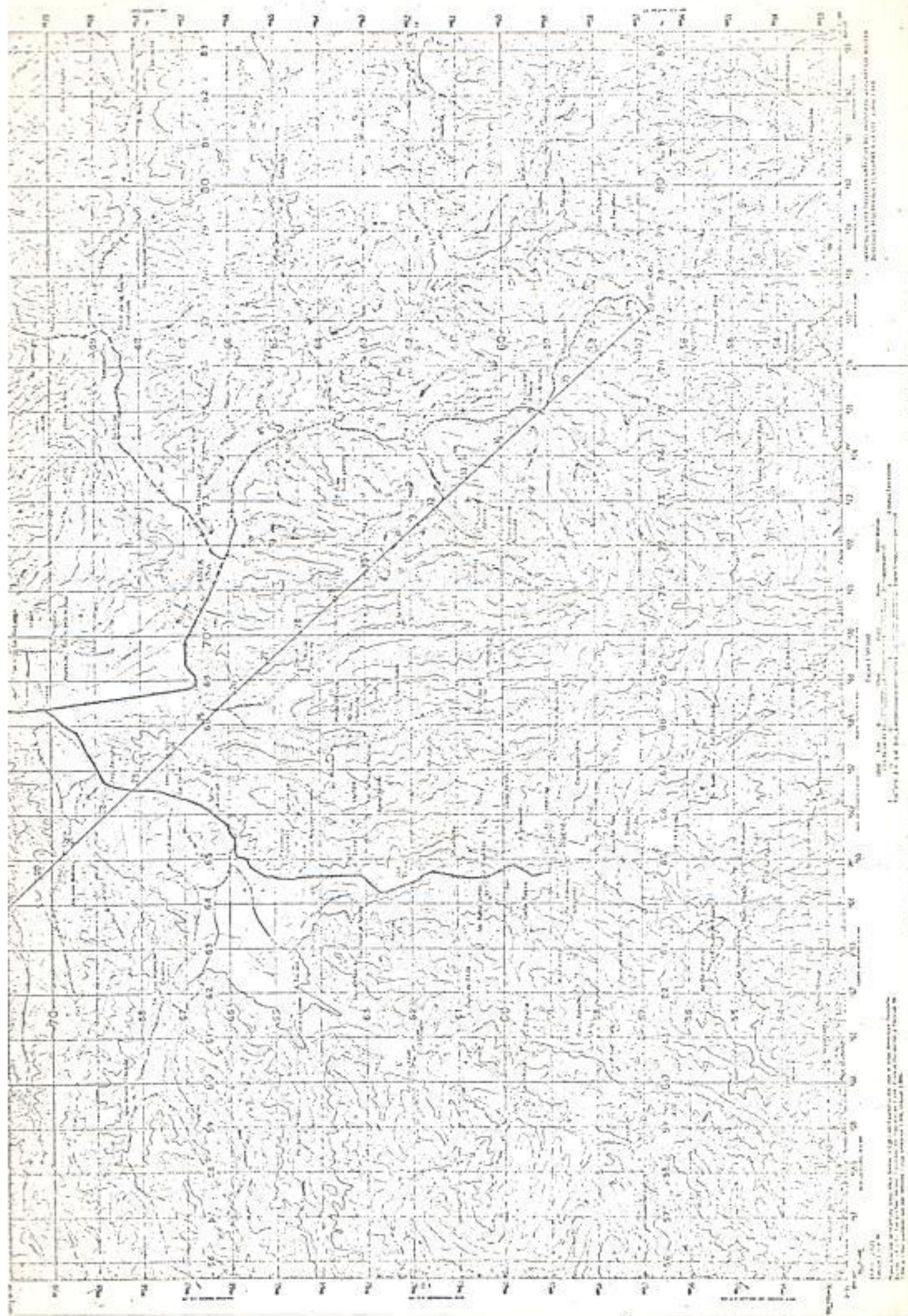


СРЕДНИЙ ПОЯС СССР (СРЕДНЕЕ ПОЯСНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ СССР)

Масштаб 1:500 000

Составитель: И. И. Иванов

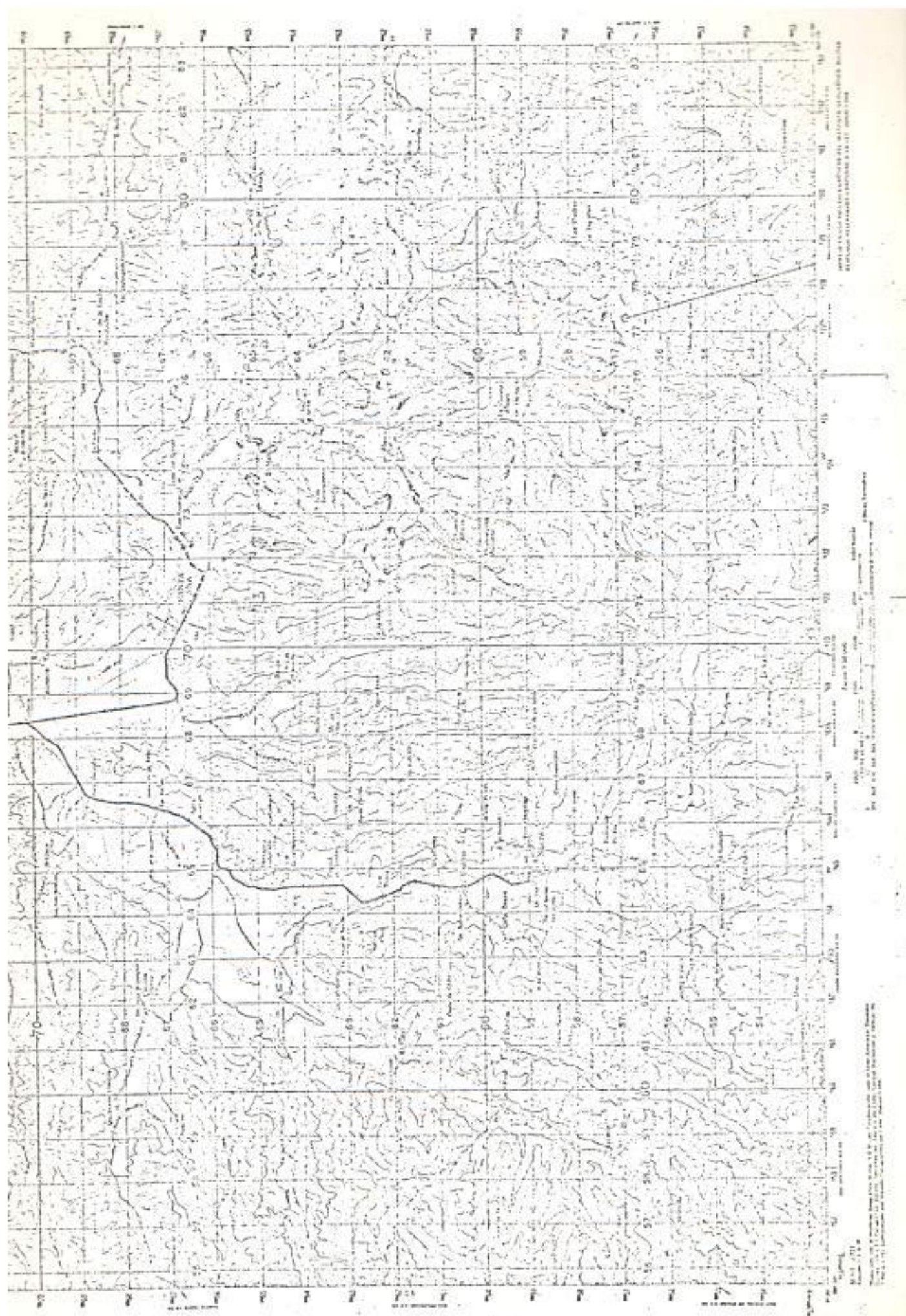


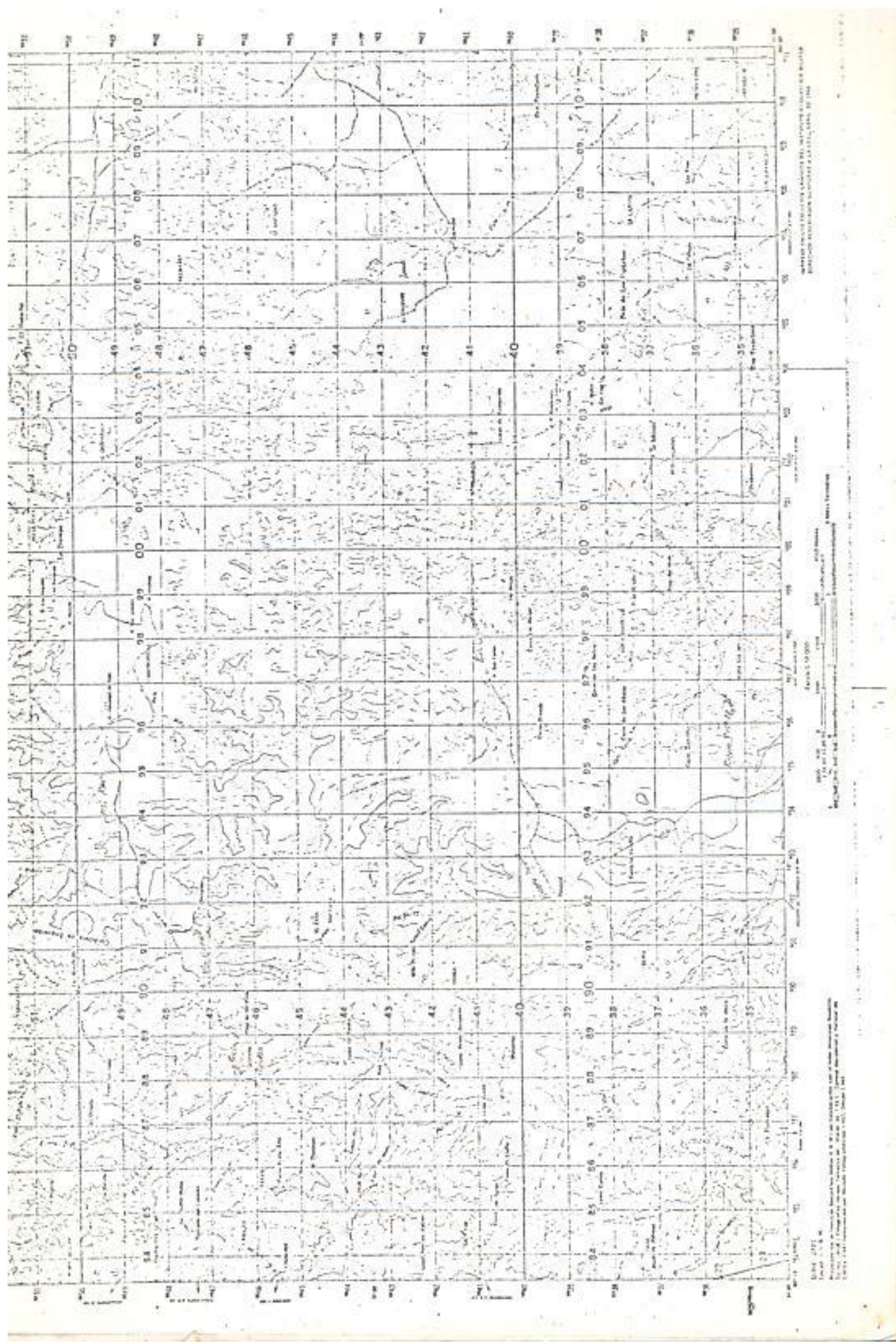


Map of the Balkans, showing the region of the Balkan Peninsula and the surrounding areas. The map is titled 'Topographic Map of the Balkans' and includes a scale bar and a north arrow.

Scale 1:50,000
Projection: UTM
Datum: WGS 84
Elevation: in meters

Map of the Balkans, showing the region of the Balkan Peninsula and the surrounding areas. The map is titled 'Topographic Map of the Balkans' and includes a scale bar and a north arrow.

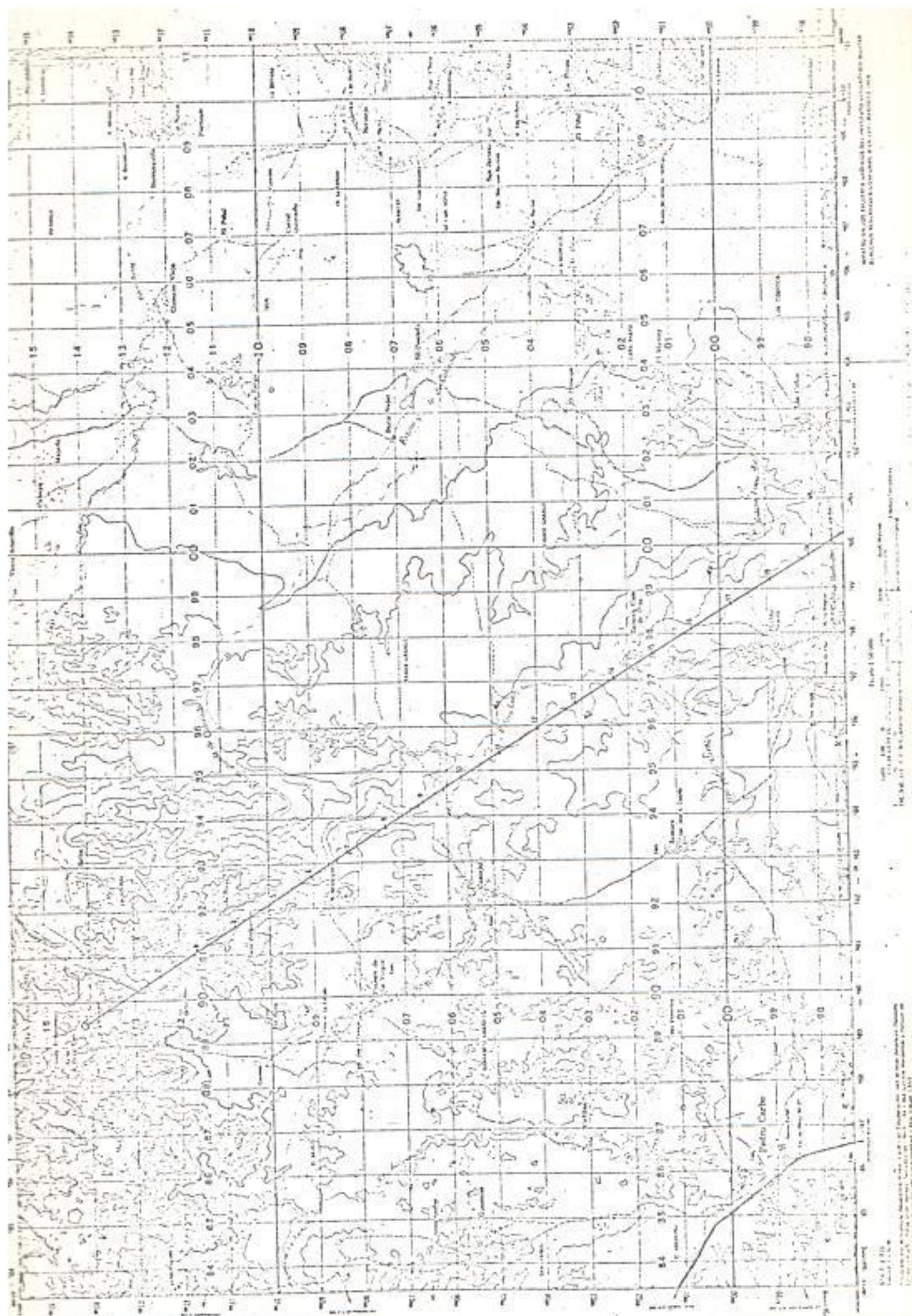




UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY
DEPARTMENT OF THE INTERIOR
WASHINGTON, D. C. 20540

Scale 1:50,000
Vertical Exaggeration 10x

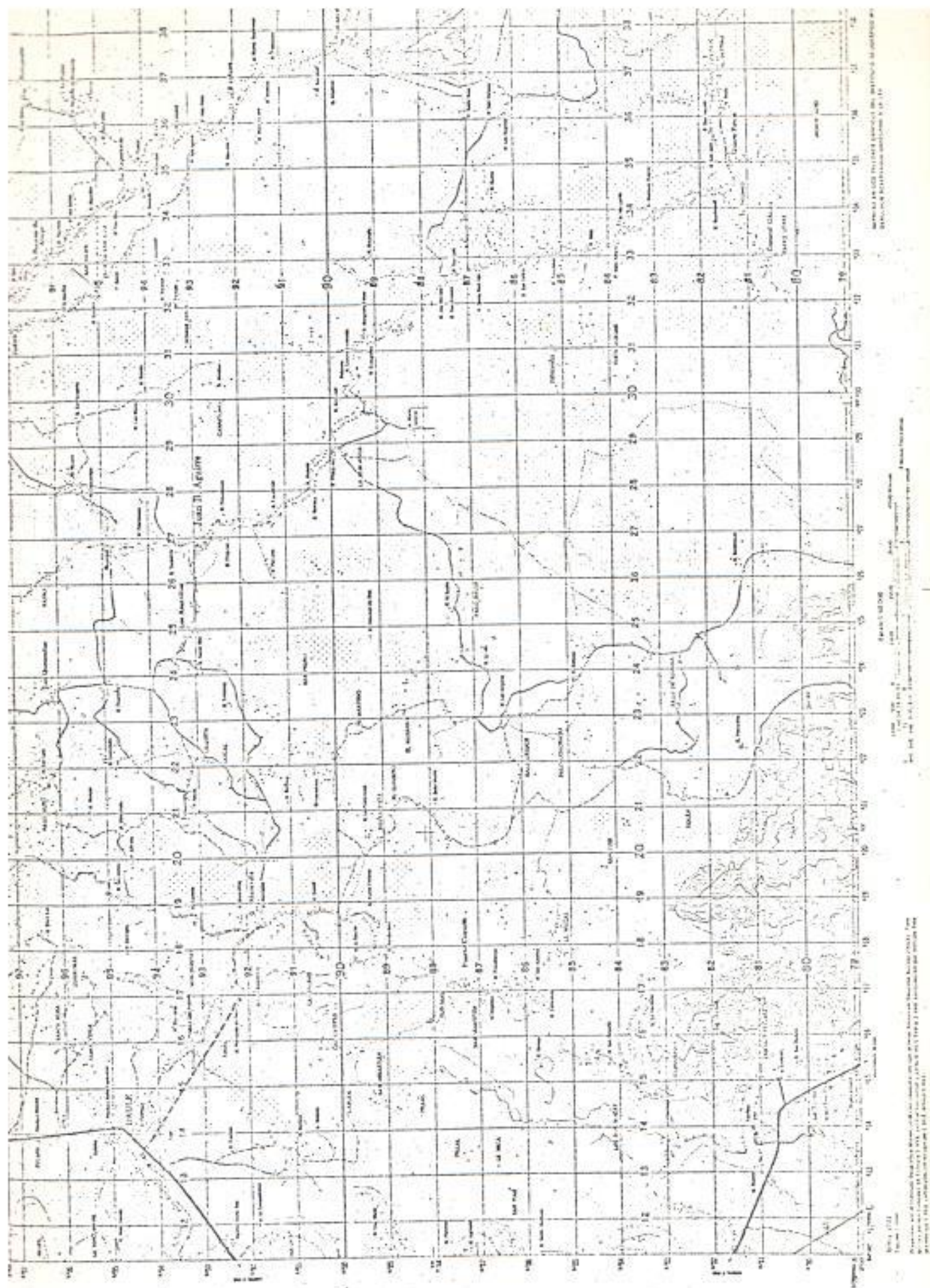
Sheet 1 of 1
Date 1960



Map of the region including the area of the ...

Scale 1:50,000

Sheet 1:10



Scale 1:50,000
 U.S. GEOLOGICAL SURVEY
 WASHINGTON, D. C.

Sheet 1000
 1910

San Juan de los Rios
 Mexico

5.- DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

5 a.- Objetivos y Requerimientos Generales.-

Los Sistemas de Telecomunicaciones son generalmente diseñados en tal forma que cumplan ciertas especificaciones que permitan una transmisión confiable y una calidad determinada; para lo cual se debe establecer el procedimiento a seguir en el diseño y cumplir las Regulaciones de carácter técnico recomendadas por los organismos internacionales competentes, considerando además, normas nacionales establecidas para el efecto.

En la primera parte de este trabajo se han hecho cálculos de la demanda de tráfico, se ha elegido la banda de frecuencia de funcionamiento y se ha seleccionado la ruta óptima.- En esta parte se analizarán las características de los trayectos de propagación tales como la atenuación total de transmisión, los perfiles topográficos, puntos de reflexión, desvanecimientos y se calculará la relación Señal/Ruido que es el parámetro que define la calidad de un Canal de Microondas.

En la fig.1, se presenta en diagrama de bloques la configuración básica de un Sistema de Telecomunicaciones.- Para transmitir simultáneamente, en la banda base un conjunto N de canales telefónicos, se recurre al múltiplex telefónico por división de frecuencias (F. D. M.), cuya operación consiste en ubicar en el espectro de frecuencia uno a continuación de otro todos los canales telefónicos, siendo esta señal múltiplex la tensión de modulación para los equipos radioeléctricos modulados en frecuencia, denominándose este tipo de transmisión FDM - FM.

La señal de salida obtenida (R.F.) es transmitida desde una de las dos estaciones terminales a través de varias repetidoras hasta la otra terminal, donde esta señal es derivada en aproximadamente la forma original.- Para completar el Sistema se requiere en la dirección contraria un segundo enlace que es normalmente paralelo al primero pero, que utiliza frecuencias de Radio separadas.- Cuando la transmisión y Recep-

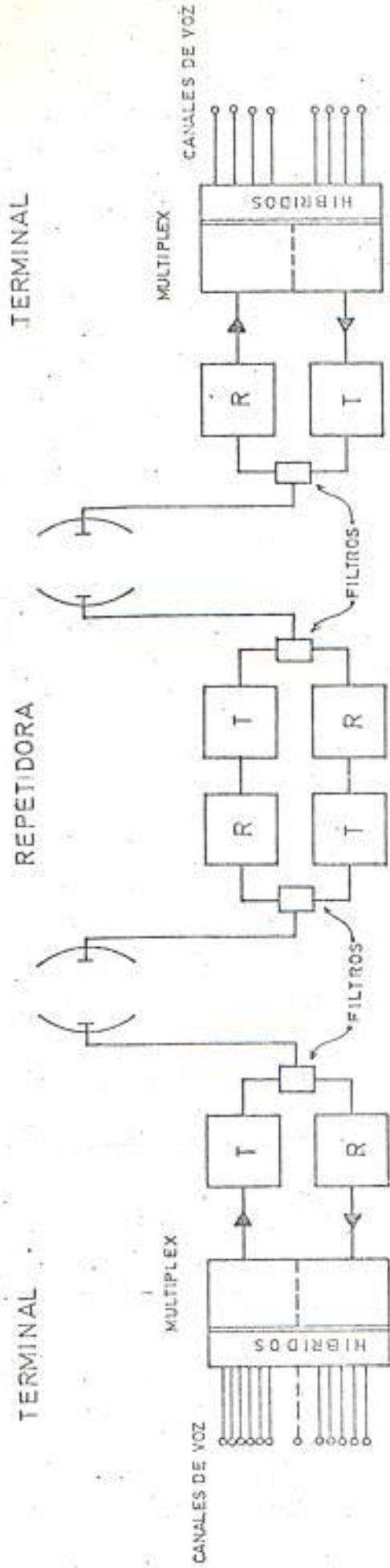


FIG. 1

ción son combinadas para utilizar la misma antena se requieren circuladores y filtros de acoplamiento.

El objeto de una estación repetidora es amplificar la señal para compensar las pérdidas en el trayecto y, en las mismas es posible hacer conexión de Receptor a Transmisor en 3 diferentes rangos de frecuencia: En Radiofrecuencia (R.F.), en frecuencia intermedia (I.F.) o en banda base, en cuyo caso se necesitaría equipos de Modulación y Demodulación.

Para la selección del tipo de conexión que se utilizaría en una repetidora se deberá considerar entre otros factores: El tipo de señal a ser transmitida, los requerimientos de tráfico, la parte técnica y la configuración de la Red.- Una repetidora en banda base es usada cuando la capacidad de canales telefónicos no es muy grande y/o, cuando es necesario derivar parte de la señal en algunas de las estaciones repetidora.- En caso de distancias muy largas, el uso de este tipo de conexión es inadecuado, debido entre otras cosas a la acumulación de las variaciones de nivel en banda base y, la distorsión no lineal introducida por la gran cantidad de Moduladores-Demoduladores (modems).- Por estas razones, la mayoría de los Sistemas de Radioenlaces para distancias muy largas y con gran capacidad de canales, utilizan repetidoras con conexión en frecuencia intermedia (Repetidoras Heterodinas).

5 b.- Pérdidas totales de Transmisión

La atenuación total entre los terminales de salida del Transmisor en un lado y los terminales de entrada del Receptor en el otro lado del trayecto se denomina Pérdidas de transmisión o Atenuación de transmisión A_t y, se obtiene de la siguiente relación:

$$A_t = A_0 + A_f + A_c + A_D - G_T - G_R + A_a \quad (1)$$

en donde:

A_0 = Pérdidas básicas de transmisión o Atenuación en el espacio libre.

- A_f = Pérdidas en los alimentadores de antena.
- A_c = Atenuación en circuladores y filtros de acoplamiento.
- A_M = Margen para desvanecimientos.
- G_T, G_R = Ganancias de las antenas de Transmisión y Recepción.
- A_a = Atenuación adicional introducida por anomalías de propagación, o presencia de obstáculos en el trayecto.

Por definición, la atenuación en el espacio libre A_0 , es la pérdida de la energía irradiada, que se obtiene entre dos antenas isotrópicas en el espacio libre o vacío sin considerar las influencias atmosféricas y los efectos que la tierra produce en dichas ondas.- Luego, para una distancia y una frecuencia dada hay una pérdida característica A_0 , la cual aumenta con la distancia y la frecuencia.

La atenuación de transmisión de un trayecto T-R está expresada por la fórmula:

$$\frac{P_T}{P_R} = \frac{(4\pi D)^2}{G_T G_R \lambda^2} \quad (2)$$

En decibelios: $A \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_T}{P_R}$

$$\begin{aligned} A \text{ (dB)} &= 20 \log D - 20 \log \lambda + 20 \log 4\pi - G_T \text{ (dB)} - G_R \text{ (dB)} \\ &= 20 \log 1.000 D - 20 \log \frac{\lambda}{100} + 22 - G_T \text{ (dB)} - G_R \text{ (dB)} \\ &= 20 \log D - 20 \log \lambda + 122 - G_T \text{ (dB)} - G_R \text{ (dB)} \end{aligned}$$

en donde D está expresada en Kmts y λ en cmts.

Reemplazando la frecuencia f en Gigahertz por λ :

$$\lambda f = c \quad \lambda = \frac{3 \times 10^{10}}{10^9 f \text{ (GHZ)}} = \frac{30}{f \text{ (GHZ)}}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (dB)} &= 20 \log D - 20 \log 30 + 20 \log f + 122 - G_T \text{ (dB)} - G_R \text{ (dB)} \\ &= 20 \log D + 20 \log f + 92,46 - G_T \text{ (dB)} - G_R \text{ (dB)} \quad (3) \end{aligned}$$

Una antena isotrópica produce un diagrama de radiación esférico con una ganancia igual a 1, de tal forma que $10 \log 1 = 0 \text{ dB}$
Luego,

$$A_0 \text{ (dB)} = 20 \log D + 20 \log f + 92,46 \quad (4)$$

es la atenuación en el espacio libre entre 2 antenas isotrópicas.



Cálculo de A_0 para los diferentes trayectos de la ruta:

1^{er} tramo: Hanta - Jaboncillo

$$D = 22,55 \text{ Kmts} \quad f_0 = 7,575 \text{ GHz}$$

$$A_0 = 20 \log 22,55 + 20 \log 7,575 + 92,46 = 137,11 \text{ dB} \quad (5)$$

2^{do} tramo: Jaboncillo - Rascacielo

$$D = 38,45 \text{ Kmts} \quad f_0 = 7,575 \text{ GHz}$$

$$A_0 = 20 \log 38,45 + 20 \log 7,575 + 92,46 = 141,75 \text{ dB} \quad (6)$$

3^{er} tramo: Rascacielo - El Roncador

$$D = 44,35 \text{ Kmts} \quad f_0 = 7,575 \text{ GHz}$$

$$A_0 = 20 \log 44,35 + 20 \log 7,575 + 92,46 = 142,99 \text{ dB} \quad (7)$$

4^{to} tramo: El Roncador - Cerro El Carmen

$$D = 65,25 \text{ Kmts} \quad f_0 = 7,575 \text{ GHz}$$

$$A_0 = 20 \log 65,25 + 20 \log 7,575 + 92,46 = 146,34 \text{ dB} \quad (8)$$

Generalmente, para la operación de Sistemas de Radioenlace en el rango de las microondas se utilizan antenas parabólicas cuya ganancia respecto a un radiador isotrópico es calculada de la siguiente fórmula:

$$G = 10 \log \left(\eta \frac{4\pi A}{\lambda^2} \right) \text{ dB} \quad (9)$$

donde: $A = \frac{\pi D^2}{4}$ área de la apertura de antena, siendo D el diámetro.

λ = longitud de onda

η = factor de ganancia = $\frac{\text{área efectiva}}{\text{área real}}$

$\eta = 0,5$ para antenas parabólicas.

A continuación, en la tabla 1 se detallan valores calculados de la ganancia de antenas parabólicas con respecto a un radiador isotrópico, como una función del diámetro de la apertura y de la frecuencia de operación con $\eta = 0,5$

Tabla 1

Frecuencia MHz	λ cm	Ganancia dB					
		D=1,2m	D=1,5m	D=2m	D=3m	D=4m	D=5m
7.500	4	36,4	38,4	40,9	44,4	46,9	48,9

El acoplamiento entre los equipos de radio y las antenas en microondas, se lo hace mediante guía de ondas y, la propagación de energía a través de este medio de transmisión es acompañada por una cierta cantidad de atenuación como resultado de la corriente inducida en las paredes de este conductor metálico hueco.- Esta pérdida de energía está expresada en decibelios de atenuación por unidad de longitud.

La tabla 2 da la atenuación en dB por 100 mts de guía de onda elíptica (flexible).- Este tipo de guía es el más comúnmente usado ya que debido a su construcción flexible facilita su encaminamiento sin causar distorsión en los campos que por ella se propagan.

Tabla 2

Tipo	ancho de Banda	atenuación dB/100 mts (A_f)		
La designación depende del fabricante	GHZ	f=7,15 GHZ	f=7,5GHZ	f=7,75 GHZ
	7,1 a 7,8	7,3	6,9	6,7

En ciertas ocasiones la atenuación aumenta por la corrosión que causa la humedad residual que aparece sobre las paredes interiores de la guía.- Por esta razón, al entrar en funcionamiento el Sistema estos conductores deberán ser presuri-

zados con aire seco o nitrógeno.

Para Sistemas con 2 canales de Radio que utilizan la misma antena la atenuación aproximada en los circuladores es de 1,2 dB y en los filtros de acoplamiento de 1,6 dB, en tal forma que para efectos de cálculo $A_c = 2,8$ dB (10)

Los valores para A_D y A_a se determinarán en capítulos posteriores.

5 c.- Perfiles Topográficos de Trayectos de Propagación.-

Una vez seleccionados los sitios para la ubicación de las estaciones terminales y repetidoras, se determinan las elevaciones del terreno comprendido entre dichos sitios y se traza un diagrama de perfiles en el que se debe indicar todas las cotas con la mayor precisión posible.- En los mapas del I.G.M. de escala 1:50.000 he trazado la ruta escogida y determinado en cada trayecto las alturas con sus correspondientes distancias.- Más adelante se anotan estos valores para cada tramo.

Al graficar los perfiles deben ser considerados como factores importantes, la curvatura de la tierra y el haz de microondas.- Las señales de radiotransmisión en frecuencias de microondas generalmente se propagan en línea recta en forma de un haz dirigido de un punto a otro, sin embargo, el haz puede curvarse o desviarse hacia la tierra por efecto de la refracción atmosférica.- Las ondas radioeléctricas se desplazan con distintas velocidades al atravesar medios de diferentes constantes dieléctricas, lo que determina una refracción angular en la tropósfera o atmósfera inferior; en el espacio libre la velocidad es máxima, pero en la atmósfera donde la constante dieléctrica es algo más elevada por la presencia de moléculas de gas y de agua, estas ondas se propagan más lentamente.- En lo que podría llamarse una atmósfera normal, la presión, la temperatura y la humedad o contenido de vapor de agua, disminuyen linealmente a medida que aumenta la altura, por consiguiente, el parámetro que combina el efecto resultante de aquellas propiedades meteorológicas, la constante dieléctrica, también disminuye con la altura.- Entonces, como

las ondas de Radiotransmisión viajan con mayor rapidez por un medio de menor constante dieléctrica, la parte superior de un frente de onda avanza más rápido que la parte inferior, que lo hace por una región de aire más denso, lo que provoca una deflexión de la onda hacia abajo.- Donde el cambio en la densidad del aire es gradual, esto es en una atmósfera uniforme, esa curvatura de la onda electro-magnética puede ser esencialmente continua de manera que el haz se curva suavemente, alejándose de la atmósfera menos densa y llevado hacia la parte de mayor densidad, de tal forma que el haz tienda en general a seguir la curvatura de la tierra.- Podría decirse, entonces, que en la propagación de microondas el radio de la tierra parece mayor que el verdadero ya que la tierra parece más plana por la tendencia del haz a desviarse hacia abajo en la atmósfera y seguir la superficie de la tierra.- Por simplicidad, esta curvatura del haz es tomada en cuenta introduciendo un factor del radio equivalente de la tierra designado por K, por el que el radio verdadero de la tierra es multiplicado, de tal forma que:

$$K \times R_t = \text{Radio equivalente de la tierra (Req.)} \quad (1)$$

Luego, al graficar los perfiles del tramo la introducción de este parámetro permite que en los trayectos de propagación los haces electromagnéticos refractados en una atmósfera estratificada sean considerados como una línea recta, siendo esto verdad cuando las condiciones de propagación son estables o casi estables, donde la estratificación del índice de refracción es asumido uniforme y su variación como una función de la altura sea lineal.- Este factor, que es una función de temperatura, presión atmosférica, índice higrométrico (humedad relativa) y que varía indirectamente con la velocidad del viento, varía en tiempo y espacio, de acuerdo a leyes aleatorias que pueden solo ser investigadas experimentalmente, siguiendo criterios estadísticos.

El C.C.I.R. proporciona información estadística sobre las

condiciones de refracción de la atmósfera más baja para diferentes partes del mundo y para los diferentes meses del año.- Datos sobre el parámetro ΔN han sido compilados en forma de mapas y tabulaciones, siendo ΔN la diferencia entre el índice refractivo 1.000 mts. arriba de la tierra y el valor en el nivel de la tierra.- La relación entre estos valores, ΔN y el factor K esta dada aproximadamente por:

$$K = \frac{157}{157 + \Delta N} \quad (2)$$



De acuerdo a los datos proporcionados por el C.C.I.R., - los valores ΔN son generalmente negativos, de tal forma que $K > 1$.- Un valor de K entre 0 y la unidad, involucra valores positivos de ΔN , pero, es universalmente reconocido que este régimen de infrarefracción es estremadamente raro, y si existe es limitado a duraciones de tiempo muy cortos.

Como para determinar valores extremos de K es necesario realizar mediciones meteorológicas especiales y evaluaciones o mediciones de propagación durante un largo período de tiempo, que puede ser de un año, en la región donde el enlace de Radio va a establecerse, para graficar los perfiles de los varios trayectos, voy a considerar un valor de $K = 4/3$ que se presenta en condiciones atmosféricas normales en que la gradiente refractiva es uniforme, asumiendo además que K tiene el mismo valor a lo largo de cada trayecto, aunque ello no es siempre así, en especial cuando la elevación de los puntos difiere mucho o cuando el terreno cambia rápidamente, pero, en la práctica, esta suposición da resultado muy satisfactorios en por lo menos 50% del tiempo.

La fórmula que me permite la construcción de la protuberancia de la tierra considerando la refracción atmosférica es la siguiente:

$$h = \frac{d_1 d_2 \times 1.000}{2 R_{eq}} = \frac{d_1 d_2 \times 1.000}{2 K R_t} \quad (3)$$

(Ver apéndice Sección B)

Reemplazando, $R_t = 6.370$ Kmts.

$$h = \frac{d_1 d_2}{K} \times \frac{1.000}{12.740} = \frac{d_1 d_2}{12,74 K} \text{ mts. (4)}$$

Esta relación se utiliza generalmente en trayectos de radio que sobrepasan los 10 Kmts. de distancia.

Para $K = \frac{4}{3}$ $h = \frac{d_1 \cdot d_2}{\frac{4}{3} \times 12,74} = \frac{d_1 \cdot d_2}{17} \text{ (5)}$

En el punto medio del trayecto: $d_1 = d_2 = D/2$

$$h_o = \frac{(D/2)(D/2)}{17} = \frac{D^2}{68} \text{ (6)}$$

Los valores para trazar la curvatura de la tierra en el gráfico de los perfiles de trayectos, son los siguientes:

1^{er} Tramo. - $D = 22,55$ Kmts.

d_1 (Kmts.)	d_2 (Kmts.)	h (mts.)	
2	20,55	2,42	
4	18,55	4,36	
6	16,55	5,84	
8	14,55	6,85	
10	12,55	7,38	
11,275	11,275	7,48	→ h_o
14	8,55	7,04	
16	6,55	6,16	
18	4,55	4,82	
20	2,55	3	

2^{do} Tramo .-

D = 38,45 Kmts.

d_1 (Kmts)	d_2 (Kmts)	h (mts)	
2	36,45	4,29	
4	34,45	8,1	
6	32,45	11,45	
8	30,45	14,33	
10	28,45	16,74	
12	26,45	18,67	
14	24,45	20,14	
16	22,45	21,13	
18	20,45	21,65	
19,225	19,225	21,74	→ ho
22	16,45	21,29	
24	14,45	20,4	
26	12,45	19	
28	10,45	17,2	
30	8,45	14,9	
32	6,45	12,14	
34	4,45	8,9	
36	2,45	5,19	

3^{er} Tramo.-

D = 44,35 Kmts.

d_1 (Kmts)	d_2 (Kmts)	h (mts)	
2	42,35	4,98	
4	40,35	9,49	
6	38,35	13,54	
8	36,35	17,1	
10	34,35	20,2	
12	32,35	22,84	
14	30,35	24,99	
16	28,35	26,68	

sige ...

18	26,35	27,9	
20	24,35	28,65	
22,175	22,175	28,93	→ ho
24	20,35	28,73	
26	18,35	28	
28	16,35	26,93	
30	14,35	25,3	
32	12,35	23,25	
34	10,35	20,7	
36	8,35	17,68	
38	6,35	14,2	
40	4,35	10,24	
42	2,35	5,8	

4^{to} Tramo.-

D = 65,25 Kmts.

d_1 (Kmts)	d_2 (Kmts)	h (mts)	
2	63,25	7,44	
4	61,25	14,4	
6	59,25	20,9	
8	57,25	26,94	
10	55,25	32,5	
12	53,25	37,59	
14	51,25	42,2	
16	49,25	46,35	
18	47,25	50	
20	45,25	53,24	
22	43,25	55,97	
24	41,25	58,24	
26	39,25	60	
28	37,25	61,35	
30	35,25	62,2	
32,625	32,625	62,6	→ ho
34	31,25	62,5	
36	29,25	61,94	
38	27,25	60,9	
40	25,25	59,4	



sigue ...

42	23,25	57,44
44	21,25	55
46	19,25	52
48	17,25	48,7
50	15,25	44,85
52	13,25	40,53
54	11,25	35,74
56	9,25	30,47
58	7,25	24,74
60	5,25	18,53
62	3,25	11,85
64	1,25	4,7

Cotas para el trazado de perfiles del tramo: Cerro Jaboncillo (700 mts) - Manta (Edificio de I E T E L) obtenidas de mapas del Instituto Geográfico Militar de escala: 1:50.000 .

Los mapas utilizados en este tramo son:

Montecristi CT - MIV - A2, 34,90 I
Manta CT - MIII - E4, 34,91 II

Estas son referencias de las cartas individuales al mapa índice nacional.

Distancia del trayecto: D = 22,55 Kmts

<u>Distancia (Kmts)</u>	<u>COTA (mts)</u>
0	700
0,25	600
0,5	520
0,7	600
1	580
2	400
3	280
4	160
5	120
6	100
7	80
8	140
9	100
10	75
10,8	80
11	78
12	70
13	78
14	60
15	70
16	60
17	45
18	35
19	30
20	20
20,6	ciudad (Tarquí)
21	"
21,4	empieza mar
22,4	termina mar
22,55	Edificio I E T E L

Cotas para el trazado de perfiles del tramo: Cerro Jaboncillo (700 mts) - Rascacielo (390 mts), obtenidas de mapas del Instituto Geográfico Militar de escala: 1:50.000

Los mapas utilizados en este tramo son:

Montecristi CT - MIV - A2, 3490 I
Portoviejo CT - MIV - B1, 3590 IV
Santa Ana CT - MIV - B3, 3590 III

Estas son Referencias de las cartas individuales al mapa índice nacional.

Distancia del tramo: D = 38,45 Kmts

<u>Distancia (Kmts)</u>	<u>COTA (mts)</u>
0	700
1	400
2	180
3	125
4	120
5	72
6	100
7	98
8	100
9	120
10	320
11	240
12	300
13	225
14	225
15	120
16	180
17	150
18	145
19	85
20	80
21	50
22	45
23	60
24	120
25	35

<u>Distancia (Kmts)</u>	<u>COTA (mts)</u>
26	60
27	130
28	220
29	300
30	160
31	220
32	130
33	100
34	200
35	140
36	180
37	180
38	260
38,45	390

Cotas para el trazado de perfiles del tramo: Rascacielo (390mts)
Loma El Roncador (229 mts) obtenidas de mapas del Instituto -
Geográfico Militar de escala: 1:5.000

Los mapas utilizados en este tramo son:

Santa Ana	CT - M IV - B3, 3590 - III
Noboa	CT - M IV - D1, 3589 - IV
Olmedo	CT - M IV - D2, 3589 - I
Colimes	CT - M IV - D4, 3589 - II
Pedro Carbo	CT - M IV - F2, 3588 - I

Estas son referencias de las cartas individuales al mapa índice nacional.

Distancia del tramo: D = 44,35 Kmts

<u>Distancia (Kmts)</u>	<u>COTA (mts)</u>
0	390
1	350
1,3	300
2	340
3	280
4	140
5	250
5,5	100



Distancia (Kmts)

COTA (mts)

6	120
7	140
8	220
8,2	320
9	160
9,4	110
10	140
11	270
12	120
13	160
14	120
15	140
16	100
17	160
18	120
19	50
20	200
21	150
22	100
23	200
24	120
25	55
26	70
26,4	100
27	80
28	55
28,5	100
29	80
29,4	180
30	140
31	120
31,2	180
32	100
33	60
34	40
35	60
36	50
37	85
38	120
39	160
40	110
41	145
42	200
42,4	160
43	200
43,3	120
44	200
44,35	229

Cotas para el trazado de perfiles del tramo: Loma El Roncador (229 mts) Cerro El Carmen (100 mts) obtenidas de mapas del Instituto Geográfico Militar de escala: 1:50.000 .

Los mapas utilizados en este tramo son:

Pedro Carbo	CT - M IV - F2, 3588 - I
Isidro Ayora	CT - M IV - F4, 3588 - II
Daule	CT - N IV - E3, 3688 - III
Pascuales	CT - N V - A1, 3687 - IV
Guayaquil	CT - N V - A3, 3687 - III

Estas son Referencias de las cartas individuales al mapa índice nacional.

Distancia del tramo: $D = 65,25$ Kmts

<u>Distancia (Kmts)</u>	<u>COTA (mts)</u>
0	229
1	145
1,4	100
2	120
3	180
4	90
5	75
6	60
7	40
7,2	60
8	35
9	60
10	35
11	40
12	40
13	35
13,4	40
14	35
15	60
16	40
17	60
18	60
19	50
20	20
21	18
22	18
23	16
24	15
25	14
26	12



sigue....

Distancia (Kmts)COTA (mts)

27	12
28	10
29	10
30	11
31	12
32	14
33	16
34	17
35	18
36	20
36,6	40
37	10
38	10
39	10
40	10
41	10
42	10
43	14
44	20
45	30
46	40
47	60
48	120
49	40
50	20
51	20
52	10
53	20
54	18
55	25
56	20
57	40
58	45
59	20
60	10
61	10
62	16
63	5
64	5
65	5
65,25	100

5 d.- Previsión teórica de la Propagación.

La propagación de las ondas electromagnéticas en frecuencias correspondientes al rango de las microondas se realiza a través de la tropósfera o atmósfera inferior y, es afectada por la presencia de la tierra o por las condiciones climatéricas en tal forma que la intensidad de la señal recibida es generalmente menor que la esperada en el espacio libre o vacío.- Estas ondas poseen muchas de las características peculiares a las ondas de la luz, por lo que el uso de ciertos principios de óptica tales como los de refracción, reflexión y difracción facilitan la descripción de la propagación de las ondas radioeléctricas.

En el párrafo anterior (5c) se explica el efecto de la refracción atmosférica, en donde se concluye que en la propagación de microondas el radio de la tierra parece mayor que el verdadero, es decir que la tierra parece más plana por la tendencia del haz a desviarse hacia abajo en la atmósfera y seguir la superficie terrestre.- Mediante la teoría de la difracción se estudia la tendencia del frente de onda a difractarse alrededor de los obstáculos que encuentra en el trayecto.- Este fenómeno se manifiesta notoriamente con efectos más marcados cuando más baja es la frecuencia usada o, en otras palabras cuanto mayor es la relación entre la longitud de onda y la dimensión del obstáculo.

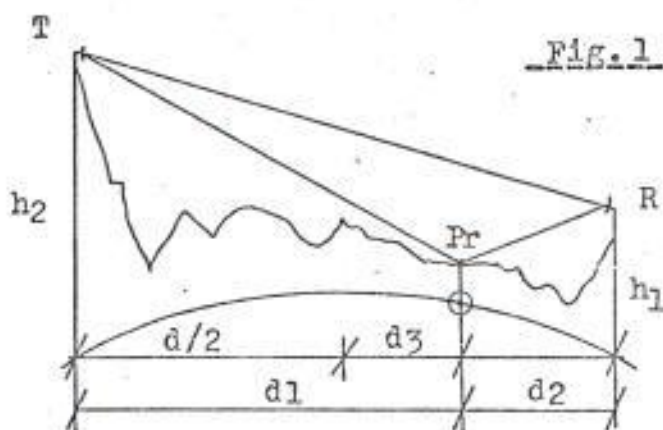
Cuando la visibilidad del trayecto no se encuentra obstruida por ningún tipo de obstáculo, las reflexiones desde la tierra son la principal fuente de las perturbaciones de propagación.- Dependiendo de la superficie de tierra reflectora la energía transmitida puede alcanzar el receptor por 2 vías, el trayecto directo en el espacio libre TR (onda directa) y, el trayecto indirecto TPR (onda reflejada); luego, como se puede apreciar en la fig. 1 , en el punto de Recepción el campo eléctrico resultante será: $\bar{E} = \bar{E}_d + \bar{E}_r$ (1)

El campo reflejado \bar{E}_r es igual al producto del campo directo por el coeficiente de reflexión que considera la absorción

de energía y, el desfaseamiento total entre los 2 rayos, esto es:

$$\bar{E}_r = \bar{E}_d \cdot R e^{j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta} \quad (2)$$

donde R es el módulo del coeficiente de reflexión y $\frac{2\pi}{\lambda} \Delta$ es la fase del rayo reflejado siendo λ , la longitud de onda y Δ , la diferencia de trayectos.- En base a datos experimentales y teóricos se obtienen gráficos o tablas del módulo y de la fase del coeficiente de reflexión en función de ciertos parámetros tales como frecuencia, ángulo de incidencia, polarización de la onda incidente, para los tipos de terrenos más frecuentes.- El coeficiente de reflexión de los trayectos radioeléctricos oscila entre 0 y -1 (100% de reflexión)



En un trayecto radioeléctrico, el espacio localizado en la vecindad de la línea de vista también influye en la propagación de las ondas electromagnéticas.- Utilizando el concepto de " ZONAS DE FRESNEL " se determina este espacio y su influencia en la transmisión radioeléctrica.

En el apéndice (Sección C) se explica la formación de los elipsoides de revolución denominados zonas de Fresnel y se obtiene la relación que permite calcular el radio, en cualquier punto del trayecto, de la primera, segunda..... y enésima zona de Fresnel.

La fórmula general es:

$$FN_n = \sqrt{\frac{n d_1 d_2 \lambda}{d_1 + d_2}} = \sqrt{\frac{n d_1 d_2 \lambda}{d}} \quad (3)$$

donde: $d = d_1 + d_2$ es la distancia total del tramo, y
 $\lambda =$ longitud de onda.

Si en la fórmula anterior d_1 , d_2 y d están dadas en Kmts y, λ en mts, entonces:

$$FN_n = \sqrt{\frac{n d_1 (\text{Kmts}) d_2 (\text{Kmts}) \lambda (\text{mts})}{d (\text{Kmts})}} = \sqrt{\frac{10^3 n d_1 d_2 \lambda}{d}} \text{ mts} \quad (4)$$

Utilizando en vez de λ , la frecuencia f en GHz, la relación (4) quedaría reducida a la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{f \times 10^9 (\text{GHz})} = \frac{3 \times 10^{-1}}{f} \text{ mts}$$

$$FN_n = \sqrt{\frac{10^2 \times 3 n d_1 d_2}{d f}} = 10 \times 1,73 \sqrt{\frac{n d_1 d_2}{d f}} = 17,3 \sqrt{\frac{n d_1 d_2}{d f}} \text{ mts} \quad (5)$$

En la mitad del trayecto: $d_1 = d_2 = \frac{d}{2}$, y;

$$FN_n = 17,3 \sqrt{\frac{n d^2/4}{d f}} = \frac{17,3}{2} \sqrt{\frac{n \cdot d}{f}} = 8,65 \sqrt{\frac{n \cdot d}{f}} \text{ mts} \quad (6)$$

Con la ayuda de la computadora he obtenido soluciones de las ecuaciones (5) y (6) con variaciones de n de 1 a 10, tomando como datos la frecuencia central de operación y las distancias de los trayectos que intervienen en el diseño.- En el presente trabajo se incluyen, el programa que ha sido elaborado con Fortran IV y, los valores del radio de la primera zona ($n = 1$), en intervalos de 1 Kmt, de los diferentes tramos de la ruta.

5 e.- Cálculo de altura de antena, puntos de reflexión y atenuación debido a obstáculos .-

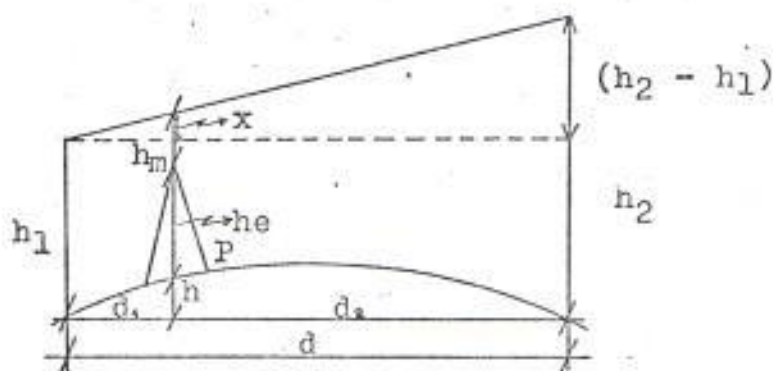
Alturas de antena: Para que exista propagación en el espacio libre en un trayecto de microondas es necesario que el radio de la primera zona de Fresnel este libre de obstrucciones,

para lo cual, se debe escoger las alturas de antenas de cada tramo de la ruta, en tal forma que cumplan esta condición.- En el diagrama de perfiles de cada trayecto se determina la elevación que está más cerca a la línea de vista y mediante un procedimiento geométrico, detallado a continuación, se calcula el margen sobre obstáculos h_m .- Para que se cumpla la condición anterior h_m debe ser mayor o igual a FN_1 ($h_m \geq FN_1$), siendo FN_1 el radio de la primera zona en el lugar en que está ubicada la elevación.

En la fig. 1 la elevación está localizada en el punto P y en la misma, se indican los siguientes parámetros:

- h , valor de la protuberancia de la tierra en P,
- h_e , altura de la elevación,
- h_1 , extremo de menor altura del trayecto,
- h_2 , extremo de mayor altura del trayecto,
- d , distancia del trayecto,
- d_1 , distancia desde h_1 a P, y;
- h_m , margen sobre obstáculos.

Fig. 1



De acuerdo a la fig. 1 : $h_m + h_e + h = h_1 + x$ (1)

Por semejanza de triángulos se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{(h_2 - h_1)}{x} = \frac{d}{d_1} \quad \text{de donde:} \quad x = \frac{d_1}{d} (h_2 - h_1) \quad (2)$$

Reemplazando (2) en (1) se tiene:

$$hm + h_e + h = h_1 + \frac{d_1}{d} (h_2 - h_1)$$

luego, $hm = h_1 + \frac{d_1}{d} (h_2 - h_1) - h_e - h$ (3)

Es conveniente aclarar que este valor se puede obtener con la ayuda del diagrama de perfiles pero, no es muy práctico ya que son posibles errores de apreciación, es por esto que este cálculo lo hago por medio de consideraciones de tipo geométrico simulando el haz electromagnético con una línea recta.

Puntos de Reflexión:

Para evitar desvanecimientos o distorsión de propagación la onda reflejada principal deberá ser debilitada tanto como sea posible.- Debido a esto, es necesario determinar con exactitud la ubicación del punto de reflexión en el trayecto y, encontrar la combinación de alturas de antena que haga posible bloquear las reflexiones con un obstáculo, cuando la configuración del terreno lo permita, o, en su defecto si este punto está localizado en un lago, río o mar tratar de desplazarlo a tierra y, de esta forma disminuir el efecto negativo que produce esta onda en la Recepción.

Se han desarrollado varios métodos para determinar el punto de reflexión, entre los que se puede mencionar el de la resolución de una ecuación de tercer grado que da la ubicación del punto para cualquier valor de K.- Se evalúan los parámetros r, t y φ por medio de las siguientes ecuaciones:

$$r = 6,37 \frac{K}{4} d (h_2 - h_1) \quad (4)$$

$$t = \frac{d^2}{12} + 8,5 \frac{K}{4} (h_1 + h_2) \quad (5)$$

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{r}{t \sqrt{t}} \quad (6)$$

La distancia d_3 , entre el punto medio del trayecto y el punto de reflexión es: $d_3 = 2\sqrt{t} \cos \left(\frac{\varphi}{3} + 240^\circ \right)$ (7)

entonces, el punto de reflexión Pr , está localizado en: (ver fig. 5d-1)

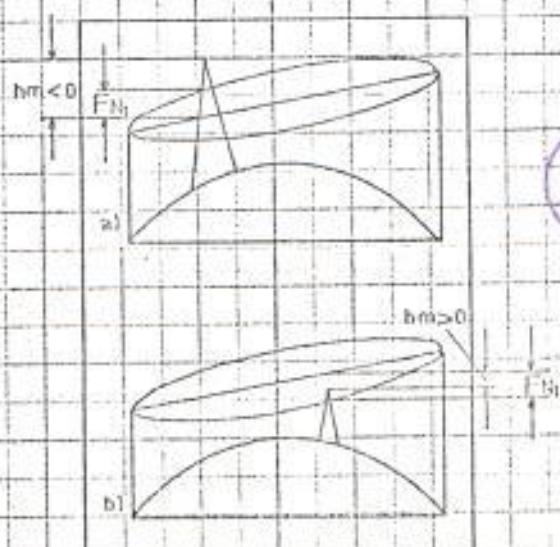
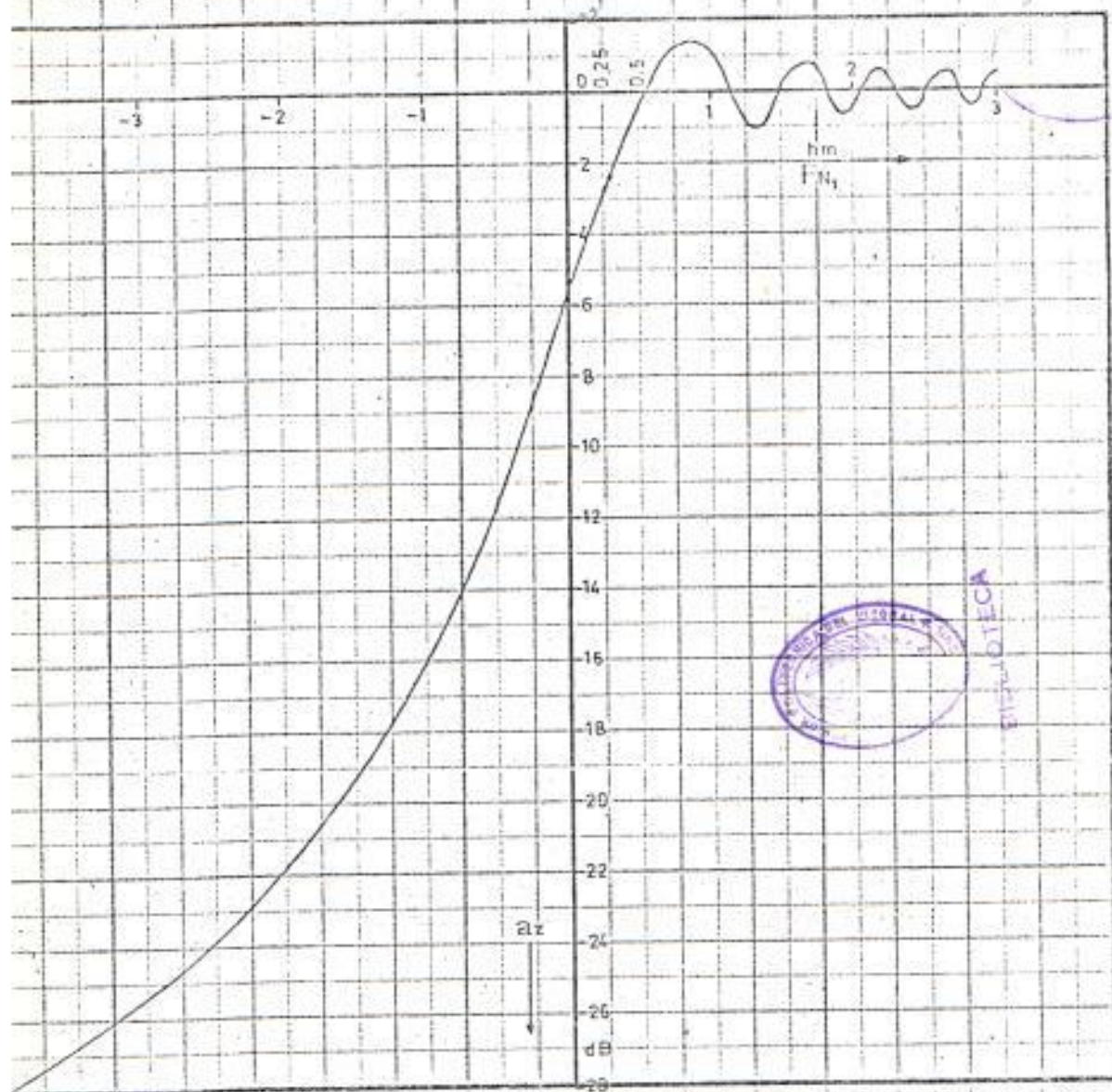
$$d_1 = \frac{d}{2} + d_3 \quad \text{y} \quad d_2 = d - d_1 \quad (8)$$

Atenuación debido a obstáculos:

Si el elipsoide que delimita la primera zona de Fresnel es parcialmente interceptado por un obstáculo, se tiene una atenuación adicional por difracción que no puede ser despreciada y deberá considerarsela en las pérdidas totales de transmisión del trayecto.

Cuando la configuración del obstáculo lo permite, éste es representado por simples formas geométricas y, de acuerdo a si la obstrucción intercepta o no la visibilidad directa, el fenómeno se denomina difracción inferior o superior, determinándose la atenuación introducida, en el gráfico de la fig. 2 anexa. - Esta curva es obtenida de un estudio de la relación entre el campo que alcanza el receptor por difracción y el campo que sería recibido en ausencia de obstáculo; las pérdidas en dB son dadas como una función de la relación entre el margen sobre obstáculos y el radio de la primera zona de Fresnel (hm/PN_1) . - La dependencia de esta atenuación sobre la frecuencia es tomada en cuenta al introducir PN_1 . - Los valores hm son considerados negativos ($hm < 0$) al haber obstrucción de la visibilidad directa (fig. 2a), denominándose este caso - difracción inferior; y, son considerados positivos, $hm > 0$, (fig. 2b) cuando la obstrucción es solo de la primera zona de Fresnel (difracción superior).

Los cálculos de estos parámetros se los realiza para cada uno de los trayectos de la interconexión en las páginas siguientes.



PERDIDAS a_r INTRODUCIDA
POR UN OBSTACULO



Tramo 1: Manta - Cerro Jaboncillo

En este trayecto el valor de hm es suficientemente grande, por consiguiente, se puede considerar el radio de la primera zona de Fresnel libre de obstrucciones para cualquier variación de K.

Considerando las condiciones actuales, tomaré para efectos de cálculo del punto de reflexión 5 mts. de altura de torre en Jaboncillo y 10mts. arriba de la terraza del edificio de I E - T E L en Manta, luego las alturas de antena serán:

$$h_2 = 700 \text{ mts. (altura de la elevación)} + 5 \text{ mts. (altura de torre)} = 705 \text{ mts.}$$

$$h_1 = 4 \text{ mts. (altura de elevación)} + 12 \text{ mts. (altura del edificio)} + 10 \text{ mts. (torre)} = 26 \text{ mts.}$$

La distancia del tramo es $d = 22,55$ Kmts. y, con $K = 4/3$ se puede calcular Pr con las siguientes ecuaciones:

Según 5 e (4-5-6).-

$$r = \frac{6,37}{4} \times \frac{4}{3} \times 22,55 (705-26) = \frac{6,37 \times 22,55 \times 679}{3} = 32.511,312$$

$$t = \frac{(22,55)^2}{12} + \frac{8,5}{4} \times \frac{4}{3} (705+26) = 42,375 + 2.071,167 = 2.113,542$$

$$t \sqrt{t} = 97.166,445 \quad 2 \sqrt{t} = 91,947$$

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{32.511,312}{97,166,445} = \cos^{-1} 0,334594 = 70,45^\circ$$

Por la ecuación 5e - 7 .- $d_3 = 91,947 \cos\left(\frac{70,45^\circ}{3} + 240^\circ\right) = -10,435$

Entonces, $d_1 = \frac{22,55}{2} - 10,435 = 0,84$ Kmts; y,

$$d_2 = d - d_1 = 21,71 \text{ Kmts.}$$

Se ubica este punto en el diagrama de perfiles de este trayecto trazado para $K = 4/3$ (anexado) y se describe la trayectoria de la señal reflejada.- Como se puede apreciar en la figura, Pr, está ubicado en el mar, el cual haciendo las veces de un espejo reflejaría la onda en tal forma que por la diferencia de fase disminuiría considerablemente la intensidad de la onda directa.- Por esta razón, se debe desplazar este punto a la zona urbana para que el efecto negativo de la reflexión sea mínimo.- Como solución a este problema se presentan las siguientes alternativas:

Alternativa 1 .-

Dada las condiciones del tramo para desplazar Pr, es más conveniente subir la altura de antena en h_1 .- Luego de varias tentativas determiné que con $h_1 = 40$ mts. Pr estaría ubicado en la zona urbana de Tarqui ($d_1 = 1,263$ Kmts. y $d_2 = 21,267$ Kmts) Para conseguir esta altura se requieren 24 mts de torre sobre el edificio de Manta, como el mismo no estaría en condiciones de soportar un peso de esta naturaleza, será necesario levantar una torre autosoportada de 40 mts en los patios adyacentes al edificio.- Con esta altura de antena se efectuarán los cálculos posteriores para esta alternativa.

Alternativa 2 .-

En el punto de coordenadas $0^{\circ} 56' 40''$ latitud Sur, $80^{\circ} 43' 24''$ longitud Oeste, I E T E L tiene una torre autosoportada de 30 mts, la que se podría utilizar para aumentar la altura de h_1 .- En este lugar se ubicarían las antenas y los equipos de Radio, llevando la señal de banda base hasta el Multiplex en la Central telefónica, por medio de cable coaxial.- La distancia entre este punto y el edificio de I E T E L en línea recta es de 400 mts.

La altura de antena es:

$$h_1 = 22 \text{ mts (cota de la elevación)} + 30 \text{ mts (altura de torre)} = 52 \text{ m.}$$

distancia del tramo: $d = 22,8 \text{ Kmts}$

Con $K = 4/3$ y las ecuaciones anteriores Pr estaría ubicado en:

$$d_1 = 1,62 \text{ Kmts} \quad \text{y} \quad d_2 = 21,18 \text{ Kmts}$$

Tramo 2: Jaboncillo - Rascacielo .-

Este trayecto tiene una longitud de 38,45 Kmts y en el diagrama de perfiles está dibujado el elipsoide que representa la primera zona de Fresnel, el cual se encuentra libre de obstrucciones y como se puede apreciar en la figura (hm) es de aproximadamente 165 mts; este margen es suficiente para cumplir la condición anterior, aunque hubiesen variaciones del valor de K, además, un margen sobre obstáculos de esta magnitud permite que el diagrama de radiación de la antena discrimine cualquier reflexión intensa en el trayecto.- Al no existir restricciones de este tipo tomaré para efectos de cálculo 10 mts de altura de torre en Jaboncillo y 10 mts en Rascacielo.

El terreno por el que atraviesa el haz es montañoso y no se presenta favorable para las reflexiones intensas desde el suelo, además muestra muchas variaciones de altura, las cuales bloquearían la principal onda reflejada.- Para describir la trayectoria de la posible onda reflejada es necesario conocer el punto de reflexión, el cual se calcula mediante el siguiente procedimiento:

$$d = 38,45 \text{ Kmts} \quad h_1 = 400 \text{ mts} \quad h_2 = 710 \text{ mts} \quad K = 4/3$$

$$r = \frac{6,37}{4} \times \frac{4}{3} \times 38,45 (710-400) = \frac{6,37 \times 38,45 \times 310}{3} = 25.309,071$$

$$t = \frac{(38,45)^2}{12} + \frac{8,5}{4} \times \frac{4}{3} (400 + 710) = 123,2 + \frac{8,5 \times 1.110}{3}$$

$$= 123,2 + 3.145 = 3.268,2$$

$$t\sqrt{t} = 3.268,2\sqrt{3.268,2} = 186.837 \quad 2\sqrt{3.268,2} = 114,336$$

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{r}{t\sqrt{t}} = \cos^{-1} (0,1354607) = 82,215^\circ$$

$$d_3 = 114,336 \cos \left(\frac{82,215^\circ}{3} + 240^\circ \right) = -5,177$$

$$d_1 = \frac{38,45}{2} - 5,177 = 14,048 \text{ y } d_2 = 38,45 - 14,048 = 24,402$$

Entonces, la ubicación del punto de reflexión es $d_1=14,048$ Km y $d_2 = 24,402$ Kmts y la trayectoria de la posible onda reflejada está indicada en el diagrama de perfiles del tramo.-

Como se puede apreciar la onda reflejada queda bloqueada completamente por las irregularidades del terreno, lo que es favorable para el buen funcionamiento del Sistema.

Tramo 3: Rascacielo - El Roncador .-

La longitud de este tramo es de 44,35 Kmts. y, en el diagrama de perfiles del mismo, trazado para $K = 4/3$ está dibujado el elipsoide de Fresnel, el cual se encuentra libre de obstrucciones.- Como se puede apreciar en la figura a 8,2 Kmts. del punto Rascacielo hay una elevación de 320 mts. que esta cerca del límite de la primera zona y que al variar el valor de K podría obstaculizar parte de la mencionada zona.- De acuerdo a estudios realizados por el C. C. I. R. el valor de K más bajo evaluado es de 0,8 para una duración del orden del 0,01 % del tiempo en un trayecto de longitud normal, entonces, para determinar el margen sobre obstáculos y por consiguiente las alturas

de antena utilizaré en este caso $K = 0,8$

De acuerdo a la fórmula (3) el margen sobre obstáculos hm es:

$$h_1 = 229 \text{ mts} \quad h_e = 320 \text{ mts} \quad d = 44,35 \text{ Kmts} \quad d_1 = 36,15 \text{ Kmts}$$

$$h_2 = 390 \text{ mts} \quad h = \frac{d_1 d_2}{K \times 12,74} = \frac{8,2 \times 36,15}{0,8 \times 12,74} = 29,08 \text{ mts}$$

$$hm = 229 + \frac{36,15}{44,35} (390 - 229) - 320 - 29,08$$

$$hm = 229 + 131,23 - 320 - 29,08 = 11,15 \text{ mts}$$

El radio de la primera zona de Fresnel en ese punto es:

$$FN_1 = 17,3 \sqrt{\frac{8,2 \times 36,15}{7,575 \times 44,35}} = 16,25 \text{ mts}$$

Como $hm < FN_1$ hay obstrucción de la primera zona con este valor de K , luego, se deberá buscar las alturas que permitan evitar esta obstrucción.

La cota necesaria para cumplir la condición de que el elipsoide no sea obstaculizado en ese punto es:

$$h + h_e + FN_1 = 29,08 + 320 + 16,25 = 365,33 \text{ mts.}$$

Se indica esta altura en el perfil de trayectos (en el punto del posible obstáculo) y, se traza una línea recta a través del tramo, paralela a la primera recta que simula la visibilidad directa y, que pase por el punto señalado hasta que corte los 2 extremos.- Con este procedimiento se establece que 10 mts de altura de torre tanto en Rascacielo como en El Roncador, serán suficientes para que exista propagación en el espacio libre en este trayecto con cualquier variación de K .- Con estas nuevas cotas el margen sobre obstáculos es:

$$h_1 = 239 \text{ mts} \quad h_2 = 400 \text{ mts}$$

$$hm = 239 + \frac{36,15}{44,35} (400 - 239) - 320 - 29,08$$

$$hm = 239 + \frac{36,15}{44,35} (161) - 320 - 29,08 = 21,15 \text{ mts}$$

Entonces, $hm > FN_1$ y se cumple la condición.

El terreno por el que atraviesa la onda e.m. es montañoso y debido a su naturaleza boscosa, la posibilidad de que se produzcan reflexiones intensas es muy pequeña, además, como se aprecia en el diagrama de perfiles este trayecto presenta muchas irregularidades que bloquearían cualquier posible reflexión.- De todas formas, la ubicación del punto de reflexión es la siguiente:

$$d = 44,35 \text{ Kmts} \quad h_2 = 400 \text{ mts} \quad h_1 = 239 \text{ mts} \quad K = 4/3$$

$$r = \frac{6,37}{4} \times \frac{4}{3} \times 44,35 (400-239) = \frac{6,37 \times 44,35 \times 161}{3} = 15.161,343$$

$$t = \frac{(44,35)^2}{12} + \frac{8,5}{4} \times \frac{4}{3} (400+239) = 163,91 + \frac{8,5}{3} \times 639 = 1.974,41$$

$$t\sqrt{t} = 1.974,41\sqrt{1.974,41} = 87.731,591 \quad 2\sqrt{t} = 2\sqrt{1.974,41} = 88,87$$

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{r}{t\sqrt{t}} = \cos^{-1} (0,172815) = 80,05^\circ$$

$$d_3 = 88,87 \cos \left(\frac{80,05^\circ}{3} + 240^\circ \right) = -5,14$$

$$d_1 = \frac{44,35}{2} - 5,14 = 17,035 \quad \text{y} \quad d_2 = 44,35 - 17,035 = 27,315$$

Tramo 4: El Roncador - Cerro El Carmen

Este trayecto radioeléctrico tiene una longitud de 65,25 Kmts.- A 17,25 Kmts del Cerro El Carmen (extremo más bajo del tramo, h_1) y, a 48 Kmts del punto El Roncador (extremo más alto del tramo, h_2) hay una elevación que, debido a la curvatura de la tierra, obstruye la visibilidad directa del trayecto, a nivel del suelo.- Para conseguir línea de vista se debe aumentar la altura en ambos puntos pero, considerando la ubicación del obstáculo este incremento de altura debe ser mayor en h_1 .- Es por esto que para efectos de cálculo voy a tomar 45 mts. de torre en h_1 y 30 mts. de torre en h_2 .- Al dibujar la primera zona de Fresnel con estas alturas de antena, se observa en el diagrama de perfiles que esta elevación obstruye parte de la mencionada zona por lo que será necesario conocer las pérdidas introducidas por esta obstrucción; es conveniente hacer resaltar que el elipsoide de Fresnel se encuentra totalmente despejado entre las antenas y el obstáculo.

Según la fórmula (3) el margen sobre obstáculos hm es:

$$h_1 = 100 + 45 = 145 \quad h_e = 120 \text{ mts} \quad d = 65,25 \text{ Kmts}$$

$$d_1 = 17,25 \text{ Kmts}$$

$$h = \frac{d_1 \cdot d_2}{17} = \frac{48 \times 17,25}{17} = 48,7 \text{ mts}$$

$$h_2 = 229 + 30 = 259 \text{ mts}$$

$$hm = 145 + \frac{17,25}{65,25} (259 - 145) - 120 - 48,7$$

$$hm = 145 + 30,14 - 120 - 48,7 = 6,44 \text{ mts}$$

El radio de la primera zona de Fresnel en ese punto es:



BIBLIOTECA

$$FN_1 = 17,3 \sqrt{\frac{48 \times 17,25}{7,575 \times 65,25}} = 22,39 \text{ mts}$$

Es decir que, $hm < FN_1$, lo cual indica que hay obstrucción en la primera zona.

La atenuación adicional por difracción producida por este obstáculo depende de la relación hm/FN_1 y, como $hm > 0$ este caso corresponde al de difracción superior.

$$\frac{hm}{FN_1} = \frac{6,44 \text{ mts}}{22,39 \text{ mts}} = 0,288$$

De acuerdo a la figura 2 anexada (caso b), a este valor - corresponde una atenuación por obstáculos de: $a_z = 2,8 \text{ dB}$

Esta atenuación es calculada para $K = 4/3$, pero como está expresado anteriormente el valor de K más bajo evaluado para una duración del orden del 0,01% del tiempo es de 0,8, entonces,

$$h = \frac{d_1 \cdot d_2}{K \times 12,74} = \frac{48 \times 17,25}{0,8 \times 12,74} = \frac{828}{10,192} = 81,24 \text{ mts}$$

de donde, $hm = 145 + 30,14 - 120 - 81,24 = -26,1 \text{ mts}$

$$\frac{hm}{FN_1} = \frac{-26,1 \text{ mts}}{22,39 \text{ mts}} = -1,17$$

Según la fig. 2: $a_z = 17,4 \text{ dB}$

Este valor es demasiado alto, por lo que se deberá subir la altura en los extremos para disminuir a_z . - La combinación de alturas de antena practicamente realizable que me permite obtener la menor pérdida por obstrucción es la siguiente:

$$h_1 = 100 + 60 = 160 \text{ mts} \quad h_2 = 229 + 100 = 329 \text{ mts}$$

$$hm = 160 + \frac{17,25}{65,25} (329 - 160) - 120 - 81,24$$

$$h_m = 160 + 44,68 - 120 - 81,24 = 3,44 \text{ mts}$$

$$\frac{h_m}{R_{N1}} = \frac{3,44}{22,39} = 0,153$$

luego, la atenuación adicional por obstáculos es: $a_z = 4 \text{ dB}$

Para conseguir estas alturas en h_2 se utilizarán antenas - periscopio con reflector plano (el diámetro de la parábola y la superficie del reflector se indicarán en los cálculos del comportamiento del sistema) y, en h_1 se deberá levantar encima del edificio de Telecomunicaciones una torre de 30 mts.

El aspecto favorable de esta obstrucción es que bloquearía cualquier onda reflejada proveniente de la superficie, pero de todas formas calcularé el punto de reflexión del trayecto utilizando las ecuaciones enunciadas anteriormente.

$$d = 65,25 \text{ Kmts} \quad h_1 = 160 \text{ mts} \quad h_2 = 329 \text{ mts} \quad K = 4/3$$

$$r = \frac{6,37}{4} \times \frac{4}{3} \times 65,25 (329-160) = \frac{6,37 \times 65,25 \times 169}{3} = 23.414,527$$

$$t = \frac{(65,25)^2}{12} + \frac{8,5}{4} \times \frac{4}{3} (329 + 160) = 354,797 + 1.385,5$$

$$t = 1.740,297$$

$$t\sqrt{t} = 72599,738 \quad 2\sqrt{t} = 83,434$$

$$= \cos^{-1} \frac{r}{t\sqrt{t}} = \cos^{-1} 0,3225153 = 71,19^\circ$$

$$d_3 = 83,434 \cos \left(\frac{71,19^\circ}{3} + 240^\circ \right) = -9,11$$

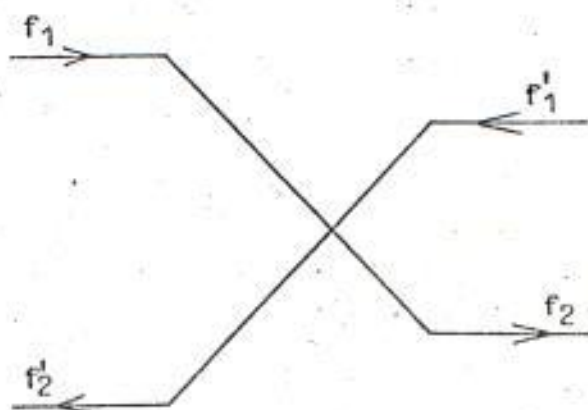
El punto Pr está ubicado en:

$$d_1 = \frac{65,25}{2} - 9,11 = 23,515 \text{ Kmts} , y$$

$$d_2 = 65,25 - 23,515 = 41,735 \text{ Kmts}.$$

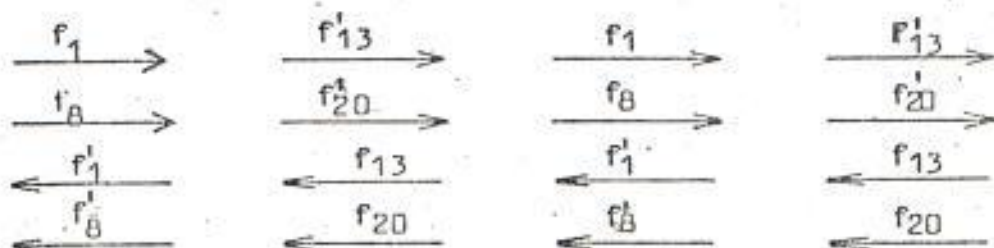
5 f.- Planeamiento de frecuencias .-

El plan de frecuencias para esta ruta se hará considerando 2 canales de R.F. de ida y 2 canales de R.F. de retorno, los que usarán antenas comunes transmisión - recepción .- En las estaciones repetidoras, para reducir las interferencias del propio sistema al mínimo, se desplazarán las frecuencias utilizando el plan de cuatro frecuencias esquematizado en el siguiente gráfico:



Con la ayuda de la Recomendación 385 del C.C.I.R. enunciada en el capítulo 3 efectuaré la disposición de las frecuencias radioeléctricas teniendo presente principalmente que para sistemas de 300 canales telefónicos, la diferencia de frecuencia entre canales radioeléctricos en paralelo no debe ser menor a 14 MHz y, que en una sección de la interconexión los canales de ida estén en una de las mitades de la banda y los de retorno en la otra mitad.

La disposición de las frecuencias de transmisión en las estaciones terminales y repetidoras es la siguiente:



De acuerdo a la tabla.3 - 1 estas frecuencias son las siguientes:

$$f_1 = 7.428 \text{ MHz}$$

$$f_8 = 7.477 \text{ MHz}$$

$$f_{13} = 7.512 \text{ MHz}$$

$$f_{20} = 7.561 \text{ MHz}$$

$$f'_1 = 7.589 \text{ MHz}$$

$$f'_8 = 7.638 \text{ MHz}$$

$$f'_{13} = 7.673 \text{ MHz}$$

$$f'_{20} = 7.722 \text{ MHz}$$

Con el objeto de hacer mejor utilización del espectro - Radioeléctrico, en cada una de las direcciones, pasando una estación, se asigna la misma frecuencia de Radio.- En la ruta esquematizada en la fig. 1 se indican las frecuencias y la polarización de las antenas.

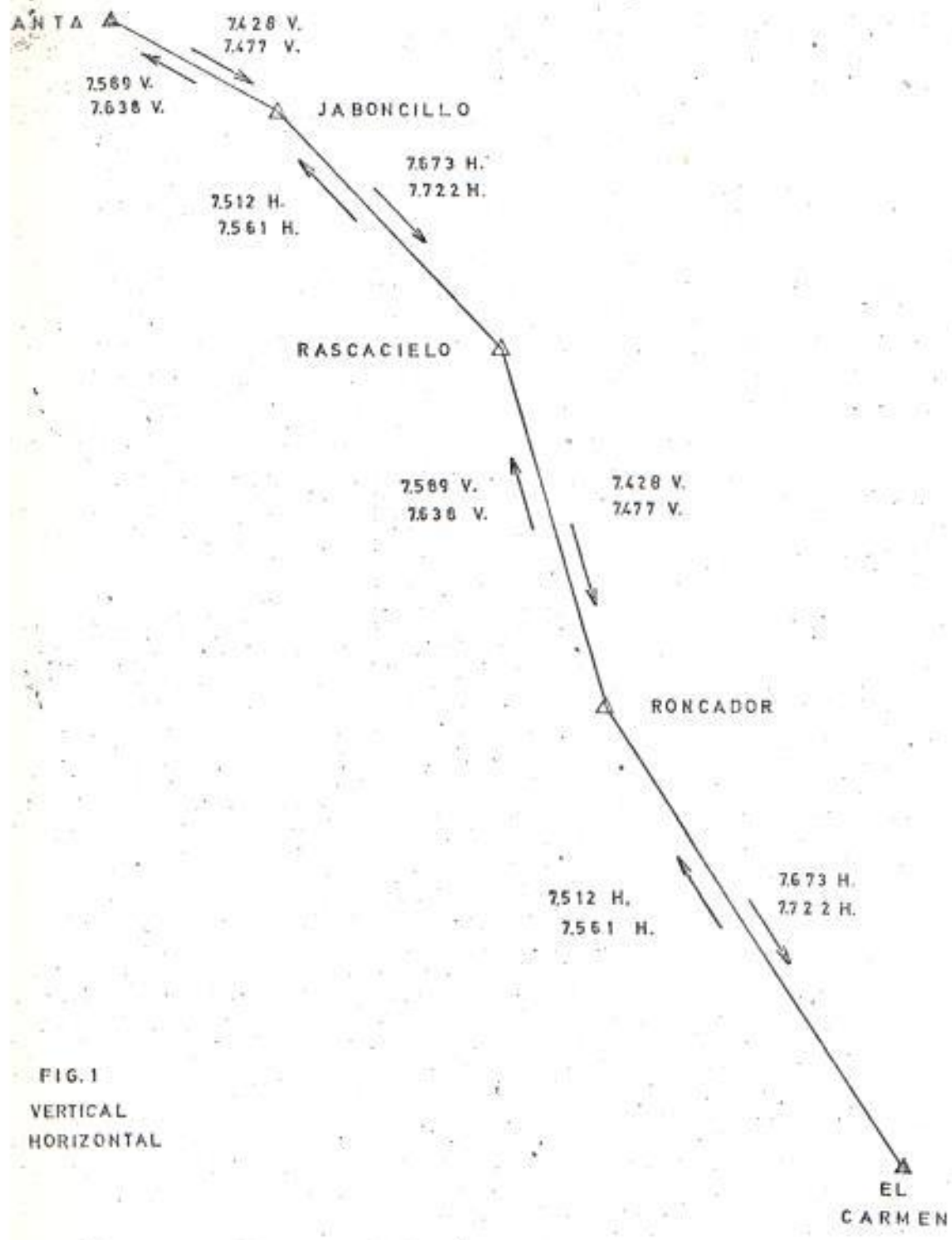


FIG. 1
 VERTICAL
 HORIZONTAL

6.- RUIDO

6.a.- Efectos del Ruido en el enlace de microondas .-

La calidad de la señal transmitida en un enlace por microondas puede ser evaluada en base a la relación Señal - Ruido - (S/R), en donde el ruido total debido a las varias secciones de repetición es acumulativo como suma de potencias.- Se justifica la suma de potencias por el hecho de que las señales espurias provienen de causas diferentes, es decir que no están correlacionadas.

Para la estimación del ruido total, a éste se lo divide en 2 categorías: ruido dependiente y ruido constante.

El ruido dependiente es afectado por las condiciones de propagación y consiste del ruido térmico debido a las pérdidas de propagación del trayecto y del ruido por interferencia que se considera despreciable cuando se hace una adecuada selección de los puntos de la ruta y un cuidadoso planeamiento de frecuencias.

El ruido constante consiste del ruido básico o térmico en modulador, demodulador y equipos de R.F. ; del ruido de intermodulación en modulador, demodulador y equipos de R.F. y, ruido de interferencia en los alimentadores (guías de onda).

Ruido dependiente.- Ruido térmico:

El nivel de entrada nominal de Radiofrecuencia o potencia de Radio recibida en valor relativo a 1 mw, $P_R(\text{dbm})$, para una sección de Radio, es igual a la Potencia de transmisión relativa a 1mw, $P_T(\text{dbm})$, menos la atenuación total del trayecto, $A_t(\text{dB})$, es decir:

$$P_R(\text{dbm}) = P_T(\text{dbm}) - A_t(\text{dB})$$

Luego, la relación de la potencia de la señal recibida normal (S) a la potencia de ruido, a la entrada del Receptor es:

$$(S/R) = P_R + 120 \text{ dB}$$

Este parámetro se calcula para el canal telefónico más alto



de la banda en un punto de nivel relativo cero. (Ver apéndice sección D).

Ruido constante:

Para la estimación de la calidad del enlace debo conocer - con cierta exactitud el valor de este ruido que está ligado a la construcción misma de los equipos, esto es, a circuitos R.F. circuitos MODEMS, etc.- Su potencia depende del número de canales telefónicos en funcionamiento y, la misma es proporcionada por la compañía constructora, en donde se realizan mediciones con circuitos ficticios de uno o más tramos, uniendo los equipos receptores - transmisores mediante atenuadores variables - que hacen las veces de la atenuación del trayecto.- Las mediciones se realizan simulando la señal telefónica con ruido blanco, que es una señal con espectro uniforme continuo que tiene propiedades estadísticas similares a la de multiplex y, se obtienen valores para las varias frecuencias estandarizadas por el C.C.I.R. .- Para sistemas con capacidad máxima de 300 canales telefónicos estas frecuencias son: 70, 270, 534 y 1248 KHz.- Para los cálculos posteriores tomaré los datos proporcionados para 1.248 KHz por la compañía constructora de equipos ZRL - 7.500-1 que operan en la banda de 7 GHz y tienen una capacidad de 300 canales telefónicos.- La contribución de ruido de los equipos para cada sección del radio-enlace, en pw, se indica - en la siguiente tabla:

TABLA 1

	CANAL DE MEDICION (KHZ)	p.w.
RUIDO BASICO PARA EQUIPOS IF + RF	1.248	20
RUIDO BASICO PARA EQUIPOS MODEM	1.248	5
RUIDO DE INTERMODULACION IF + RF	1.248	10
RUIDO DE INTERMODULACION MODEM	1.248	5

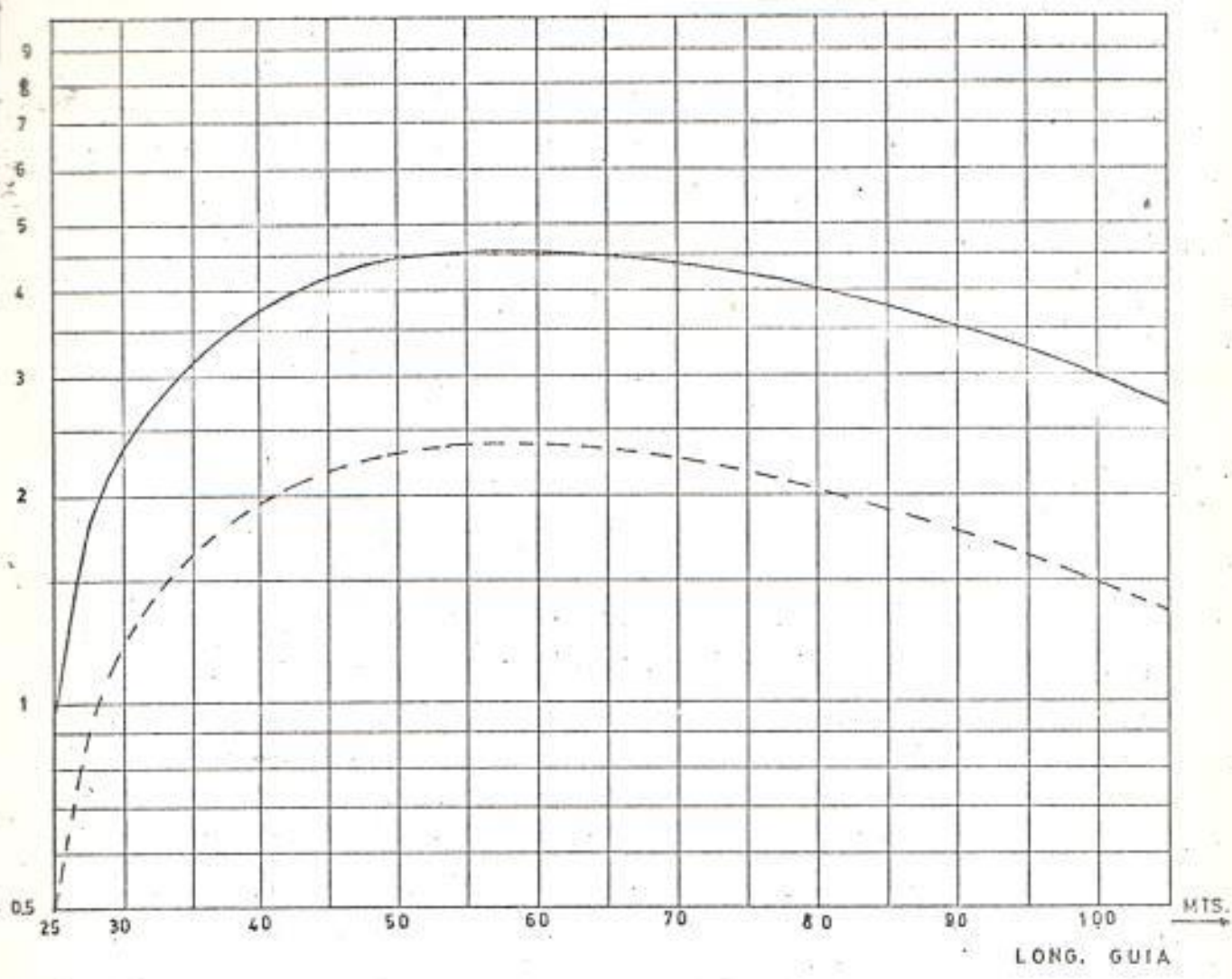


FIG.1 RUIDO DE INTERMODULACION EN GUIA DE ONDA ELIPTICA

———— CANAL DE MEDICION 1248 KHZ

----- CANAL DE MEDICION 534 KHZ

En la curva No.1 se indica el ruido de p_w calculado para guías de onda elíptica que se utilizará para la instalación de equipos del Sistema.

6 b.- Comportamiento del Sistema.-

Para el cálculo del ruido total del Sistema se cumplirán los objetivos del C.C.I.R. que establece en su Recomendación 395-1 para circuitos reales, que la potencia total de ruido para un enlace de longitud L , comprendido en los siguientes límites: $50 \text{ km} \leq L \leq 840 \text{ Km}$, no debe ser excedida por:

$$3 \frac{L}{\text{Km}} p_w + 200 p_w$$

Las contribuciones de ruido se obtienen por cálculos en el caso del ruido dependiente o por información proporcionada por los constructores de equipos en el caso del ruido constante.- Estos valores se suman y el resultado es el ruido total de la ruta en condiciones de no-desvanecimientos.- Luego, con el ruido total permisible u objetivo se establece una diferencia con la cual se calcula el margen de desvanecimiento promedio del Sistema de microondas en la parte final de la ruta.- De acuerdo a estudios realizados por el C.C.I.R. el margen de desvanecimiento simultáneo requerido es $\geq 6 \text{ dB}$ para el circuito de referencia hipotético y varía de 3 a 10 dB para enlaces que son diseñados en condiciones reales..

Ruido dependiente:

Cálculo de la relación Señal - Ruido térmico debido a las pérdidas de propagación en cada uno de los trayectos del enlace:



Tramo 1: Manta - Cerro Jaboncillo

Alternativa 1:

ESTACION	ALTURA DE TORRE (mts)	DIAMETRO DE ANTENA (mts)	GANANCIA DE ANTENA (dB)	LONGITUD DE GUIA DE ONDA (mts)
MANTA	40	1,5	38,4	40 + 10
JABONCILLO	5	1,5	38,4	5 + 10

Por 5b - 5 : $A_0 = 137,11$ dB

Por 5b - 10 : $A_c = 2,8$ dB

Según la tabla 5b - 2 la atenuación en guía de onda elíptica es:

6,9 dB/100 mts en 7,5 GHz, luego:

$$A_f = 65 \text{ mts} \times \frac{6,9 \text{ dB}}{100 \text{ mts}} = 4,5 \text{ dB} \quad A_a = 0 \text{ dB}$$

$$G_T + G_R = 38,4 + 38,4 = 76,8 \text{ dB}$$

De acuerdo a la fórmula 5b - 1:

$$A_t = 137,11 + 4,5 + 2,8 - 76,8 = 67,61 \text{ dB}$$

Si $P_T = +30$ dbm (1 wattio)

$$P_R = P_T - A_t = 30 - 67,61 = - 37,61 \text{ dbm}$$

$$(S/R)_c = 120 - 37,61 = 82,39 \text{ dB} = - n$$

Según tabla 1.a y 1.b (Apéndice Sección D):

$$(S/R)_c = 5,76 \text{ pw} \hat{=} 5,8 \text{ pw}$$

Alternativa 2:

ESTACION	ALPURA DE TORRE (mts)	DIAMETRO DE ANTENA (mts)	GANANCIA DE ANTENA (dB)	LONGITUD DE GUIA DE ONDA (mts)
MANTA	30	1,5	38,4	30 + 10
JABONCILLO	5	1,5	38,4	5 + 10

$$D = 22,8 \text{ Knts} \quad \text{Por } 5b - 4 : A_0 = 137,2 \text{ dB}$$

$$A_c = 2,8 \text{ dB} \quad A_a = 0 \text{ dB}$$

$$A_f = 55 \text{ mts} \times \frac{6,9 \text{ dB}}{100 \text{ mts}} = 3,8 \text{ dB}$$

$$G_T + G_R = 38,4 + 38,4 = 76,8 \text{ dB}$$

$$A_t = 137,2 + 3,8 + 2,8 - 76,8 = 67 \text{ dB}$$

$$P_T = + 30 \text{ dbm (1 Wattio)}$$

$$P_R = P_T - A_t = 30 - 67 = -37 \text{ dbm}$$

$$(S/R)_c = 120 - 37 = 83 \text{ dB} = -n$$

Según tabla 1.a y 1.b (Apéndice Sección D):

$$(S/R)_c = 5,02 \text{ pw}$$

Tramo 2: Cerro Jaboncillo - Rascacielo

ESTACION	ALTURA DE TORRE (mts)	DIAMETRO DE ANTENA (mts)	GANANCIA DE ANTENA (dB)	LONGITUD DE GUIA DE ONDA (mts)
JABONCILLO	10	1,5	38,4	10 + 10
RASCACIELO	10	1,5	38,4	10 + 10

Por 5b - 6 : $A_0 = 141,75 \text{ dB}$

$A_c = 2,8 \text{ dB}$ $A_a = 0 \text{ dB}$

$A_f = 40 \times \frac{6,9}{100} = 2,76 \text{ dB}$

$G_T + G_R = 38,4 + 38,4 = 76,8 \text{ dB}$

Por la fórmula 5b - 1:

$A_t = 141,75 + 2,76 + 2,8 - 76,8 = 70,51 \text{ dB}$

$P_T = + 30 \text{ dBm (1 Wattio)}$

$P_R = P_T - A_t = 30 - 70,51 = -40,51 \text{ dBm}$

$(S/R)_c = 120 - 40,51 = 79,49 \text{ dB} = -n$

Según tabla 1.a y 1.b (Apéndice Sección D)

$(S/R)_c = 11,2 \text{ pw}$



Tramo 3: Rascacielo - El Roncador

ESTACION	ALTURA DE TORRE (mts)	DIAMETRO DE ANTENA (mts)	GANANCIA DE ANTENA (dB)	LONGITUD DE GUIA DE ONDA (mts)
RASCACIELO	10	1,5	38,4	10 + 10
RONCADOR	10	1,5	38,4	10 + 10

Por 5b - 7 : $A_0 = 142,99$ dB

$A_c = 2,8$ dB

$A_a = 0$ dB

$A_f = 40 \times \frac{6,9}{100} = 2,76$ dB

$G_T + G_R = 38,4 + 38,4 = 76,8$ dB

Por la fórmula 5b - 1:

$A_t = 142,99 + 2,76 + 2,8 - 76,8 = 71,75$ dB

$P_T = +30$ dBm (1 Wattio)

$P_R = P_T - A_t = 30 - 71,75 = -41,75$ dBm

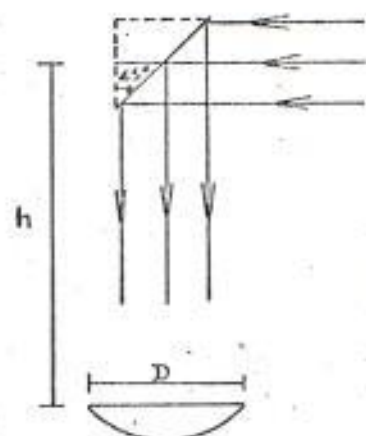
$(S/R)_c = 120 - 41,75 = 78,25$ dB = -n

Según tabla 1.a y 1.b (Apéndice Sección D):

$(S/R)_c = 14,9$ pw

Treno 4: El Roncador - Cerro El Carmen

Según el cap. 5e en la Estación El Roncador se deberá utilizar un sistema de antenas periscopio con reflector plano que tiene la forma indicada en la siguiente figura:



Para utilizar las curvas de la fig. 2 anexada, que muestra la ganancia adicional introducida por este tipo de antena, es necesario definir los siguientes parámetros:

$h \rightarrow$ altura del reflector con relación a la ubicación de la antena parabólica

$F_p \rightarrow$ área geométrica del reflector parabólico

$F_u \rightarrow$ área geométrica del reflector plano

$\lambda = 0,04$ mts para 7,5 GHz

Para una antena de 2 mts de diámetro, en 7,5 GHz:

$F_p = 1,74$ mts².

Si se toma la curva $\frac{F_u}{F_p} = 4$, entonces $F_u = 4 \times 1,74 = 6,96$ mts²

y, $\frac{h \cdot \lambda}{F_u} = \frac{97 \times 0,04}{6,96} = 0,557$ ($F_u \rightarrow 3 \times 2,32$)

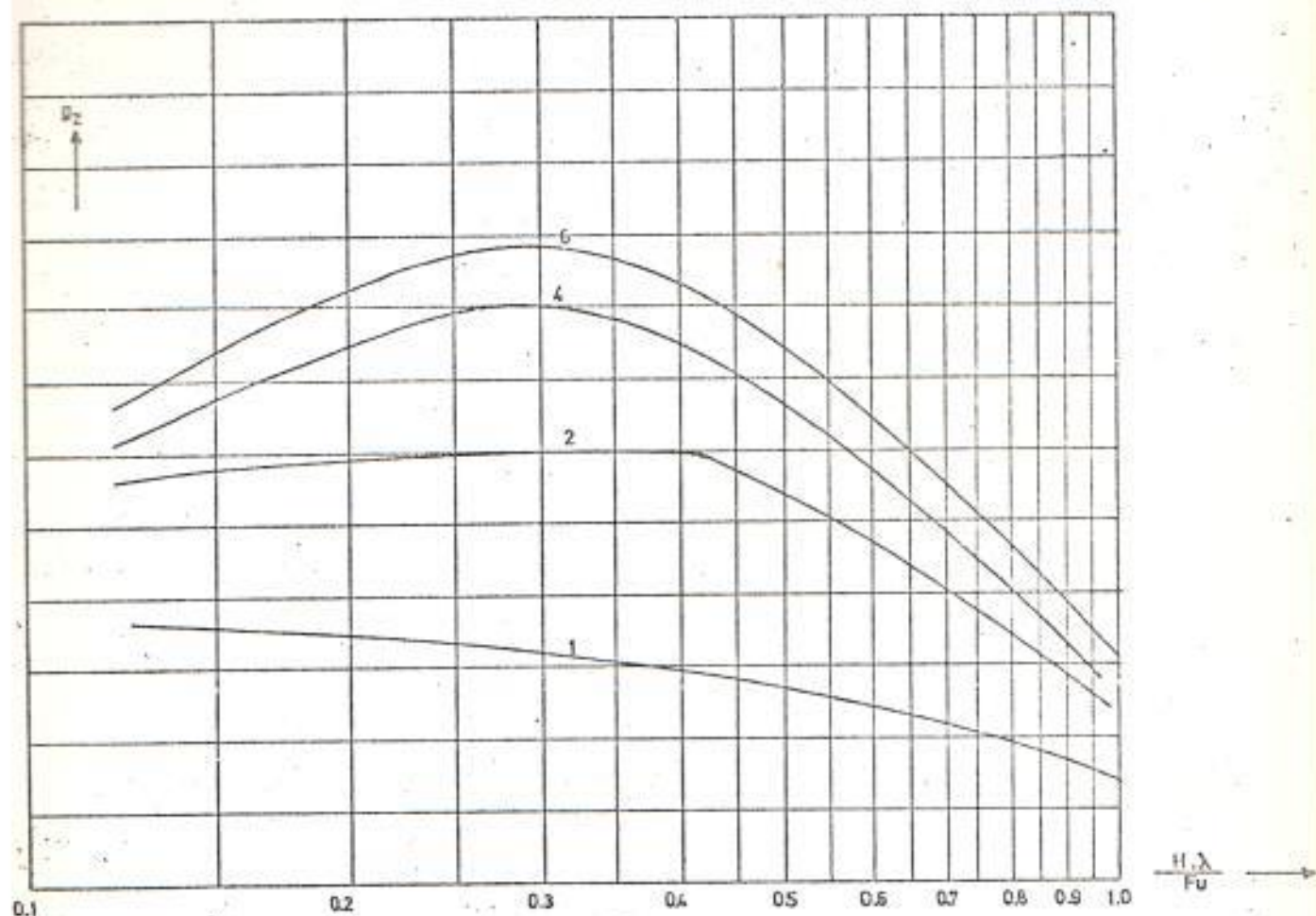


FIG. 2 GANANCIA ADICIONAL INTRODUCIDA POR REFLECTOR PLANO

F_u — AREA GEOMETRICA DEL REFLECTOR PLANO

F_p — AREA GEOMETRICA DEL REFLECTOR PARABOLICO

λ — LONGITUD DE ONDA

H — ALTURA

$\frac{F_u}{F_p}$ — PARAMETRO

De acuerdo a la figura anexada para estos parámetros se obtiene una ganancia de $G_z \hat{=} 0$ dB. - De acuerdo a este cálculo la superficie del reflector debe ser $F_u \geq 6,96 \text{ mts}^2$

ESTACION	ALTURA DE TORRE (mts)	DIAMETRO DE ANTENA (mts)	GANANCIA DE ANTENA (dB)	LONGITUD DE GUIA DE ONDA (mts)
RONCADOR	100 *	2	40,9	5 + 10
CERRO EL-CARMEN	30	3	44,4	30 + 10

* reflector plano

Por 5b - 8: $A_0 = 146,34 \text{ dB}$

$A_c = 2,8 \text{ dB}$

$A_a = a_z = 4 \text{ dB}$

$A_f = 55 \times \frac{6,9}{100} = 3,8 \text{ dB}$

$G_T + G_R = 40,9 + 44,4 = 85,3 \text{ dB}$

Por la fórmula 5b - 1:

$A_t = 146,34 + 3,8 + 2,8 + 4 - 85,3 = 71,64 \text{ dB}$

$P_T = + 30 \text{ dBm (1 wattio)}$

$P_R = P_T - A_t = 30 - 71,64 = - 41,64 \text{ dBm}$

$(S/R)_c = 120 - 41,64 = 78,36 \text{ dB} = -n$

Según tabla 1.a y 1.b (Apéndice Sección D) :

$(S/R)_c = 14,6 \text{ pw}$

Ruido Térmico en Condiciones de espacio libre (Sin desvanecimientos)

TRAMO	* MANTA JABUNCILLO	JABUNCILLO RASCACIELO	RASCACIELO RONCADOR	RONCADOR EL CARNEM
Distancia (Km)	22,55	38,45	44,35	65,25
Férridas totales (dB)	67,61	70,51	71,75	71,64
Potencia de salida del transmisor (dBm)	30	30	30	30
Nivel de entrada al receptor (dBm)	-37,61	-40,51	-41,75	-41,64
Relación Señal-Ruido (dB)	62,39	79,49	78,25	78,36
Potencia de Ruido térmico (pw)	5,8	11,2	14,9	14,6
				46,5



* Se toma la alternativa que presenta mayor ruido

Longitud total de la Ruta (L)		1	170,6 kms	
Número de Secciones de R. F.		2	4	
Número de Secciones de Modulación		3	4	
Canal de Medición		4	1.248	KHZ ²
Ruido Térmico		5	- 73,3	dBm
		6	46,5	pw
Ruido Básico o térmico	equipo de R. F.	7	80	pw
	equipo M D D E M	8	20	pw
Ruido Térmico total (6 + 7 + 8)		9	146,5	pw
		10	- 68,4	dBm
Ruido de Intermodulación	Guías de onda	11	17	pw
	equipo de R. F.	12	40	pw
	equipo M D D E M	13	20	pw
Ruido de Intermodulación total (11 + 12 + 13)		14	77	pw
		15	- 71,1	dBm
Ruido total sin desvanecimientos (9 + 14)		16	223,5	pw
		17	- 66,5	dBm
Ruido total permitido u objetivo $3 \times L + 200$		18	711,8	pw
		19	- 61,5	dBm
Margen de Ruido (18 - 16)		20	488,3	pw
Ruido térmico permitido en el receptor (20 + 6)		21	534,8	pw
		22	- 62,8	dBm
Desvanecimiento simultáneo permitido (22 - 5) (A _D)		23	10,5	dB
Margen de desvanecimiento simultáneo requerido			≥ 6	dB

De acuerdo a los cálculos efectuados en la tabla anterior con 10,5 dB como margen de desvanecimiento simultáneo se podrá mantener satisfactoriamente las recomendaciones del C.C.-I.R. .- Este margen de seguridad asegura un funcionamiento confiable del Sistema ya que es raro que un mismo instante de tiempo se produzcan desvanecimientos profundos en más de un trayecto de la ruta.

Margen de Umbral (ΔU):

Con desvanecimientos extremadamente profundos un sistema de Radiocomunicación con modulación de frecuencia puede fallar completamente si el ruido térmico a la entrada del receptor suprime la señal útil.- Cuando la potencia de la señal útil a la entrada del receptor es alrededor de 10 dB más que la potencia de ruido, referida a la entrada del receptor, en la región del ancho de banda IF, se llega a lo que se conoce como umbral del Sistema.- Esta diferencia de 10 dB se debe al hecho de que los picos de la señal de ruido tienden a ser más grandes que el voltaje de la portadora útil.

La potencia de ruido en la entrada del receptor se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = F K T B_{IF}$$

donde, B_{IF} , es el ancho de banda de la frecuencia intermedia (IF),

y; F, K, T (Ver apéndice Sección D)

Si $B_{IF} = 20 \text{ MHz}$

$$P = 9,5 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 300 \times 20 \times 10^6 = 78,7 \times 10^{-14} \text{ Watts}$$

Con una potencia de transmisión: $P_T = 1 \text{ Wattio (+30 dBm)}$

$$10 \log \frac{P}{1w} \text{ dB} = 10 \log 78,7 \times 10^{-14}$$

$$= 10 \log 10^{-14} + 10 \log 78,7 = -140 + 19 = -121 \text{ dB}$$

Luego, el valor umbral del sistema se alcanza obteniendo una atenuación de trayecto, A_t , de alrededor de: 111 dB (= 121 dB - 10 dB) con una potencia de transmisión de 1 Wattio.

$$\Delta U \text{ 1}^{\text{er}} \text{ tramo}_{(1)} = 111 \text{ dB} - 67,6 \text{ dB} = 43,4 \text{ dB}$$

$$\Delta U \text{ 1}^{\text{er}} \text{ tramo}_{(2)} = 111 \text{ dB} - 67 \text{ dB} = 43 \text{ dB}$$

$$\Delta U \text{ 2}^{\text{do}} \text{ tramo} = 111 \text{ dB} - 70,5 \text{ dB} = 40,5 \text{ dB}$$

$$\Delta U \text{ 3}^{\text{er}} \text{ tramo} = 111 \text{ dB} - 71,8 \text{ dB} = 39,2 \text{ dB}$$

$$\Delta U \text{ 4}^{\text{to}} \text{ tramo} = 111 \text{ dB} - 71,6 \text{ dB} = 39,4 \text{ dB}$$

Cuando hayan desvanecimientos extremadamente profundos - que sobrepasen ΔU , y en consecuencia el valor de Umbral, se producirá la conmutación a un canal de reserva que funciona en paralelo con el principal.- Con esta medida aumenta la confiabilidad del Sistema ya que se conoce por datos experimentales que este tipo de desvanecimientos no ocurre simultáneamente en diferentes frecuencias en un mismo trayecto.

7.- CONCLUSIONES GENERALES

El Sistema cuya capacidad máxima es de 300 canales telefónicos (4 KHz de ancho de banda, de acuerdo a las recomendaciones del CCITT) consta de 4 secciones de Radio con 2 estaciones terminales y 3 estaciones repetidoras.- Se compone de 2 canales de RF en paralelo, de los cuales un canal es de reserva, el que sirve para aumentar la seguridad de funcionamiento y facilitar el mantenimiento tanto preventivo como correctivo del Sistema.

La estación terminal consta de los equipos transmisor y Receptor para los 2 canales de RF, el equipo de conmutación, moduladores y demoduladores de la señal, y sistemas auxiliares.- Las estaciones repetidoras deberán conectarse en banda base, para lograr una mejor calidad de transmisión en la derivación de canales, y, están formadas por equipos transmisor y receptor para los 2 canales en las 2 direcciones, doble equipo de conmutación, 2 moduladores - demoduladores para cada dirección y sistemas y facilidades auxiliares.

Los parámetros más importantes del diseño tales como Potencia de Transmisión, nivel nominal de recepción, atenuación del trayecto, frecuencias de la portadora, diámetro y dirección de antenas, etc. están indicados en el diagrama de la Figura No.1 .

Para encaminar en una mejor forma el tráfico de la Provincia y aprovechar la ubicación de la estación repetidora Jaboncillo, desde donde es posible conectarse por Sistemas de Radio con la mayoría de las ciudades de la Provincia, se deberá instalar una Central de tránsito secundaria en la ciudad de Manta.- En el diagrama de bloques de la fig.2 están indicadas la distribución de los canales telefónicos a nivel de grupo (F.-D.M.) y la derivación de canales en Jaboncillo.- Para evitar congestión de tráfico se interconecta directamente 36 canales entre Manta y Portoviejo.

A P E N D I C E

A.- Cálculo de Acimuts.-

Para una orientación efectiva de las antenas de microondas es necesario conocer con cierto grado de exactitud el valor del Acimut Geográfico.- Para su cálculo se han desarrollado varios métodos, siendo uno de ellos el de la " Posición inversa " que utiliza las coordenadas de los puntos de la ruta (latitudes y longitudes) y tablas para la computación de Posiciones Geodésicas.- Estas tablas contienen valores para cada minuto de latitud desde 0° a 72° para los factores log. B y log. A .- De estas tablas se han extraído aquellos valores de log. B y log. A correspondientes a cada grado de latitud y, tabulados los valores de log. A y log. B/A (Tabla.1)

El procedimiento utilizado es el siguiente:

Trayecto:	Manta	-	Jaboncillo
Latitud (ϕ):	0° 56' 34"		1° 2' 28,9"
Longitud (λ):	80° 43' 12"		80° 32' 29,7"

Diferencia de latitudes en segundos ($\Delta\phi_{seg.}$) = 354,9

Diferencia de longitudes en segundos ($\Delta\lambda_{seg.}$) = 642,3

$$\phi_m = \phi + \frac{\Delta\phi_{seg}}{2} = 0^\circ 56' 34'' + 2' 57,45''$$

$$\phi_{m} = 0^\circ 59' 31,45''$$

log. B_m/A_m	0.002949	→ latitud más cercana a ϕ_m	
log. $\cos \phi_m$	-0.000065		Suma
log. $\Delta\lambda_{seg}$	2.807738		
	<hr/>		
	2.810622	Substracción	
log. $\Delta\phi_{seg}$	2.550106		
	<hr/>		
log. cot x	0.260516		

De donde: $x = 28^{\circ} 45' 43''$

$$c = \frac{\Delta\lambda}{2} (\text{Sen } \phi_m) \hat{=} 6''$$

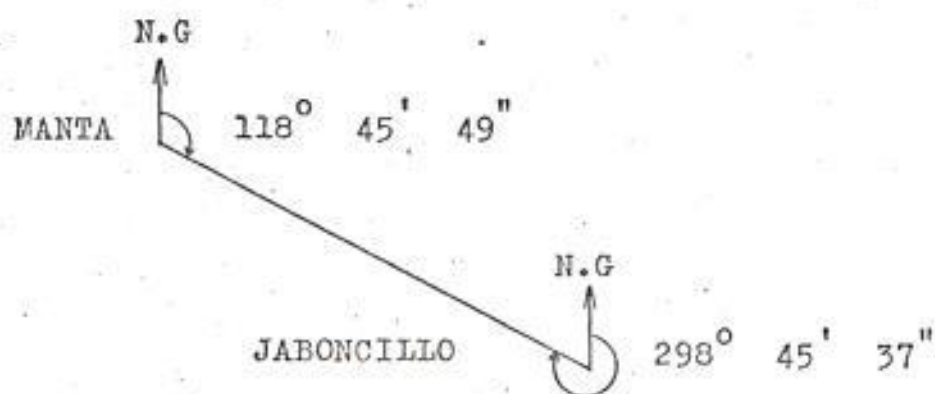
En el Hemisferio Sur, para el caso en que la estación situada al Este se encuentre localizada al Sur de la estación Oeste:

El Acimut en la estación Oeste (Manta) es:

$$90^{\circ} + x + c$$

El Acimut en la estación Este (Jaboncillo) es:

$$270^{\circ} + x - c$$



Trayecto: Jaboncillo - Rascacielo

Latitud (ϕ): $1^{\circ} 2' 28,9''$ $1^{\circ} 17' 45,2''$

Longitud (λ): $80^{\circ} 32' 29,7''$ $80^{\circ} 18' 19,8''$

$$\Delta \phi \text{ seg.} = 916,3$$

$$\Delta \lambda \text{ seg.} = 849,9$$

$$\phi_m = 1^{\circ} 2' 28,9'' + 7' 38,15'' = 1^{\circ} 10' 7''$$

$$\log. B_m/A_m \dots\dots\dots 0.002949$$

$$\log. \cos \phi_m \dots\dots\dots - 0.000090$$

$$\log. \Delta \lambda \text{ seg} \dots\dots\dots 2.929368$$

Suma

$$\log. \Delta \phi \text{ seg} \dots\dots\dots 2.962038$$

Substracción

$$\log. \cot x \dots\dots\dots - 0.029811$$

$$\log. \text{tg } x \dots\dots\dots 0.029811$$

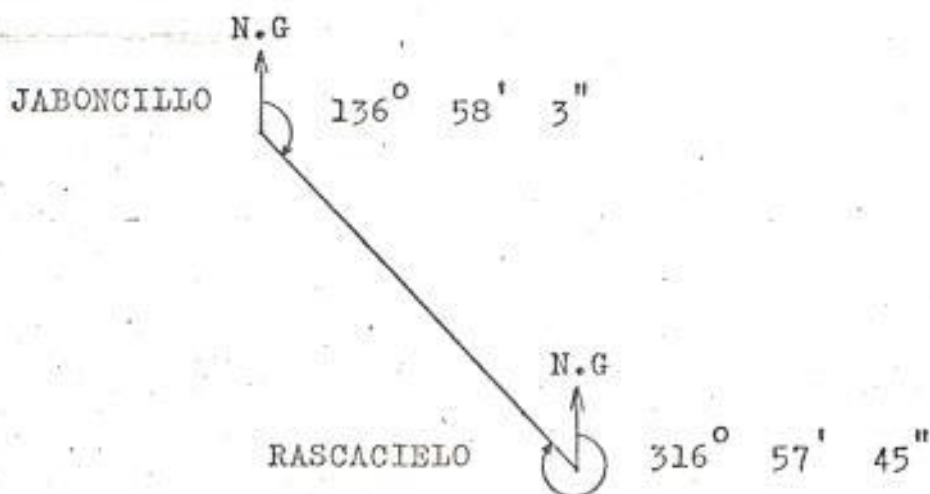
De donde : $x = 46^{\circ} 57' 54''$

$$C = \frac{\Delta \lambda}{2} (\text{Sen } \phi_m) \cong 9''$$

En este trayecto se aplica el mismo criterio del tramo anterior

Acimut en Jaboncillo (Oeste): $90^{\circ} + x + C$

Acimut en Rascacielo (Este): $270^{\circ} + x - C$



Trayecto: Rascacielo - El Roncador
 Latitud (ϕ): $1^{\circ} 17' 45,2''$ $1^{\circ} 40' 52,5''$
 Longitud (λ): $80^{\circ} 18' 19,8''$ $80^{\circ} 11' 43,8''$

$\Delta \phi \text{ seg} = 1.387,3$ $\Delta \lambda \text{ seg} = 396$

$\phi_m = 1^{\circ} 17' 45,2'' + 11' 33,65'' = 1^{\circ} 29' 18,85''$

log. B_m/A_m 0,002949

log. $\cos \phi_m$ - 0,000147

log. $\Delta \lambda \text{ seg}$ 2,597695

2,600497

log. $\Delta \phi \text{ seg}$ 3,142170

log. $\cot x$ - 0,541673

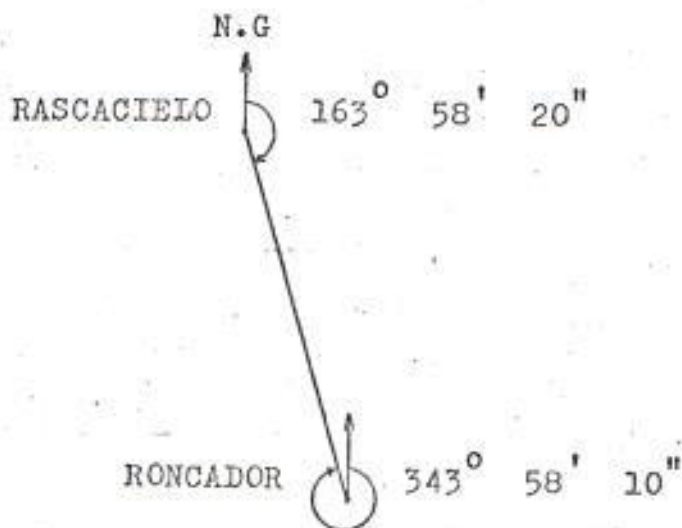
log. $\text{tg } x$ 0,541673

$x = 73^{\circ} 58' 15''$

$C = \frac{\Delta \lambda}{2} (\text{Sen } \phi_m) \hat{=} 5''$

Acimut en Rascacielo (Oeste): $90^{\circ} + x + C$

Acimut en Roncador (Este): $270^{\circ} + x - C$



Trayecto:	Roncador	-	El Carmen
Latitud (ϕ):	1° 40' 52,5"		2° 10' 37,5"
Longitud (λ):	80° 11' 43,8"		79° 52' 39"

$$\Delta \phi \text{ seg} = 1.785 \qquad \Delta \lambda \text{ seg} = 1.144,8$$

$$\phi_m = 1^\circ 40' 52,5'' + 14' 52,5'' = 1^\circ 55' 45''$$

$$\log. B_m/A_m \dots\dots\dots 0,002946$$

$$\log. \cos \phi_m \dots\dots\dots - 0,000246$$

$$\log. \Delta \lambda \text{ seg} \dots\dots\dots 3,058730$$

$$3,061430$$

$$\log. \Delta \phi \text{ seg} \dots\dots\dots 3,251638$$

$$\log. \cot x \dots\dots\dots - 0,190208$$

$$\log. \text{tg } x \dots\dots\dots 0,190208$$

$$\text{De donde: } x = 57^\circ 9' 51''$$

$$c = \frac{\Delta \lambda}{2} (\text{Sen } \phi_m) \cong 19''$$

$$\text{Acimut en Roncador (Oeste): } 90^\circ + x + c$$

$$\text{Acimut en El Carmen (Este): } 270^\circ + x - c$$

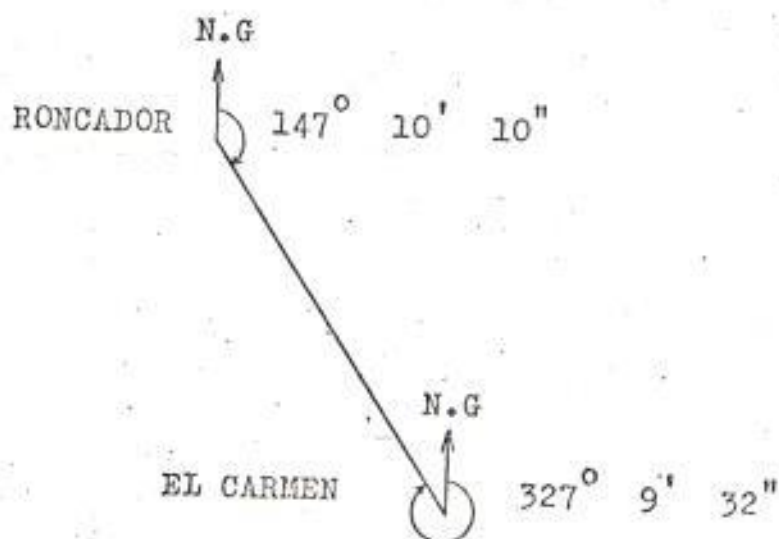


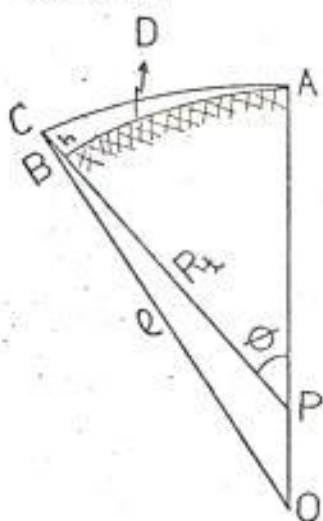
TABLA.1

Latitud (grados)	Log A_m	Log B_m/A_m	Latitud (grados)	Log A_m	Log B_m/A_m
00	8.509727	.002949	37	8.509194	.001884
01	726	.002949	38	169	.001834
02	725	.002946	39	144	.001784
03	723	.002941	40	118	.001733
04	719	.002935	41	093	.001683
05	715	.002927	42	066	.001631
06	711	.002917	43	042	.001580
07	705	.002906	44	8.509016	.001529
08	698	.002893	45	8.508990	.001477
09	691	.002878	46	965	.001426
10	682	.002861	47	939	.001374
11	673	.002843	48	913	.001323
12	663	.002823	49	888	.001272
13	652	.002801	50	862	.001221
14	641	.002778	51	837	.001170
15	628	.002753	52	812	.001120
16	615	.002726	53	787	.001071
17	601	.002698	54	762	.001021
18	586	.002669	55	738	.000973
19	571	.002638	56	714	.000925
20	555	.002606	57	690	.000877
21	538	.002572	58	667	.000830
22	520	.002537	59	644	.000784
23	502	.002501	60	621	.000739
24	483	.002463	61	599	.000695
25	464	.002424	62	578	.000652
26	444	.002384	63	557	.000610
27	423	.002343	64	536	.000568
28	402	.002301	65	516	.000528
29	381	.002258	66	496	.000489
30	359	.002214	67	478	.000452
31	336	.002169	68	459	.000415
32	313	.002123	69	442	.000380
33	290	.002077	70	425	.000346
34	267	.002029	71	409	.000313
35	243	.001981	72	393	.000282
36	218	.001933			

B.- Para encontrar la fórmula que me permita la construcción de la protuberancia de la tierra considerando la refracción atmosférica debo hacer el siguiente análisis:

Sea el punto P el centro de la tierra, y una sección de su superficie de longitud D se extiende a lo largo del arco A-B.- Debido a la gradiente de refracción un rayo de microondas que empieza horizontalmente en el punto A describe un arco circular hasta el punto C como está indicado en la fig. 1.- El radio de la tierra es denominado R_t , y el radio de curvatura del rayo es R_r , con su centro en el punto O.- El punto C del trayecto del rayo está localizado a una distancia h directamente arriba del punto B ubicado en la superficie de la tierra.

Fig. 1



BIBLIOTECA

El diagrama 2 muestra la geometría modificada que transforma el trayecto curvo del rayo en una línea recta que se extiende desde el punto A' al punto C'.- El centro de curvatura de esta línea es el punto O' localizado en el infinito.- El centro de la tierra está ahora ubicado en el punto P' y, el arco de longitud D se extiende a lo largo de su superficie desde el punto A' hasta B'.- El punto B' está situado sobre la línea recta que une P' con C', de tal forma que C' está directamente arriba del punto B' a una distancia h.- El objetivo es ajustar el nuevo

radio de la tierra (radio equivalente de la tierra Req.) de tal forma que la distancia h tenga la misma relación funcional con respecto a la distancia D en ambos diagramas.

Aplicando la ley del coseno en el $\Delta P O C$ de la fig.1 tenemos:

$$(h + R_t) = \rho^2 - (\rho - R_t)^2 - 2(h + R_t)(\rho - R_t) \cos \theta \quad (1)$$

se desarrolla en series $\cos \theta$, reemplazando θ por su equivalente D/R_t :

$$\cos \theta = 1 - \frac{D^2}{2 R_t^2} + \frac{D^4}{4! R_t^4} - \dots$$

Asumiendo que $D \ll R_t$, la serie se reduce a:

$$\cos \theta = 1 - \frac{D^2}{2 R_t^2} \quad (2)$$

Sustituyendo la (2) en la (1) queda:

$$h^2 + 2h \cdot R_t + R_t^2 = \rho^2 - \rho^2 + 2\rho \cdot R_t - R_t^2 - 2(h + R_t)(\rho - R_t) \left(1 - \frac{D^2}{2R_t^2}\right)$$

$$h^2 = -2h\rho + \frac{D^2 \rho h}{R_t^2} - \frac{D^2 h}{R_t} + \frac{\rho D^2}{R_t} - \frac{D^2}{2}$$

$$R_t^2 h^2 + 2 \cdot R_t^2 \rho h - \rho h D^2 - \rho R_t D^2 + R_t h D^2 + D^2 \cdot R_t^2 = 0 \quad (3)$$

Con la condición de que h y D son ambos pequeños comparados con ρ , entonces de $h \ll \rho$ deducimos que el primer término de la ecuación (3) es pequeño comparado con el segundo y se lo puede despreciar.- De la condición $D \ll \rho$ se deduce que el tercer término es pequeño comparado con el cuarto y el quinto con el sexto, de tal forma que la ecuación (3) puede ser simplificada con error despreciable a:

$$2 R_t^2 \rho h - \rho R_t D^2 + D^2 \cdot R_t^2 = 0$$

$$2 R_t^2 \rho h = (\rho R_t - R_t^2) D^2$$

de donde:
$$h = \frac{\rho R_t - R_t^2}{2 R_t^2 \rho} D^2 = \frac{\rho - R_t}{2 \rho R_t} D^2 \quad (4)$$

Reemplazando R_t por el Radio equivalente de la tierra R_{eq} y dejando que ρ tienda a infinito, la ecuación (4) se reduce a la siguiente expresión:

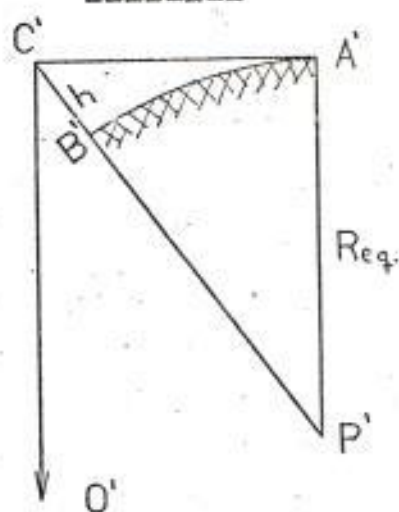
$$h = \frac{\rho D^2}{2 \rho R_{eq}} - \frac{R_t D^2}{2 \rho R_{eq}} = \frac{D^2}{2 R_{eq}}$$

Sabemos que $R_{eq} = K \cdot R_t$, entonces: $h = \frac{D^2}{2 K \cdot R_t}$ (5)

En la fórmula (5) h viene expresado en Kmts, para expresarlo en mts se debe multiplicar el segundo término por 1.000, luego

$$h = \frac{D^2 \times 1.000}{2 K R_t}$$

Fig. 2



Si indicamos por d_1 y d_2 la distancia desde los terminales del arco hasta el punto en que h es calculado, la fórmula (5) se expresaría como:

$$h = \frac{d_1 \cdot d_2 \times 1.000}{2 K R_t}$$
 (6)

C.- ZONAS DE FRESNEL

En la fig.1 se muestra un trayecto en el que una antena transmisora, T, emite energía, la cual se desplaza a partir de la fuente en un frente de onda en expansión.- El camino más corto entre T y R es d y el ángulo θ es de 180° , para cualquier otro trayecto θ estará comprendido entre 0 y 180° , y el coseno θ es una medida del " factor de oblicuidad " que define la magnitud del componente que llega al Receptor.

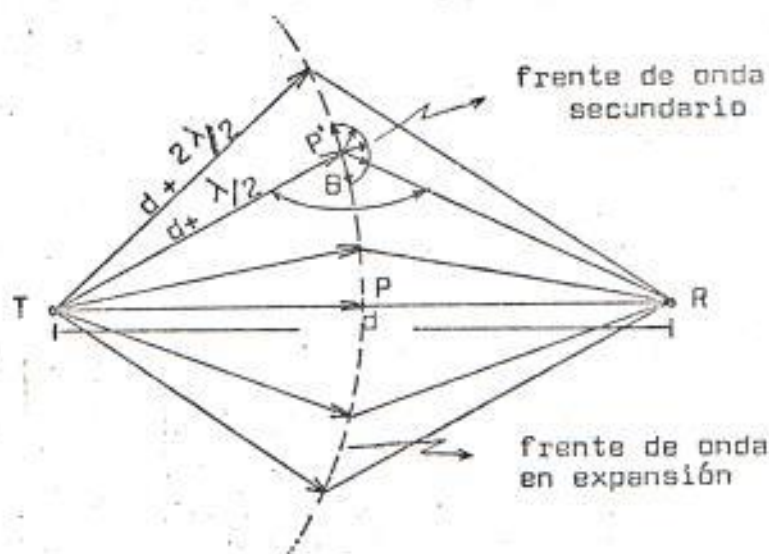


Fig. 1

El punto P' define el trayecto indirecto cuya longitud adicional es de media longitud de onda ($\lambda/2$); si este punto se desplaza por la circunferencia del círculo interior (ver Fig.2), definirá todos los trayectos posibles de longitud igual a: $d + \lambda/2$.- Este círculo interior se denomina primera zona de Fresnel y se puede decir que el límite de esta zona es el lugar geométrico de los puntos desde los cuales la onda puede reflejarse de modo que recorra media longitud de onda más para llegar desde la antena transmisora hasta la receptora, en tal forma que la ecuación:

$$TP' + P'R = TR + \lambda/2 \quad (1)$$

delimita la primera zona de Fresnel

Esta ecuación puede expresarse de la siguiente forma (Fig. 2):

$$\begin{aligned} \sqrt{FN_1^2 + d_1^2} + \sqrt{FN_1^2 + d_2^2} &= d_1 \sqrt{\left(\frac{FN_1^2}{d_1^2} + 1\right)} + d_2 \sqrt{\left(\frac{FN_1^2}{d_2^2} + 1\right)} \\ &= d_1 + d_2 + \lambda/2 \end{aligned}$$

Como $\frac{FN_1^2}{d_1^2}$ y $\frac{FN_1^2}{d_2^2} \ll 1$, los radicales pueden ser expandidos en series, utilizando $\sqrt{1+x} \cong 1 + x/2$ si $x \ll 1$

Entonces, $d_1 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{FN_1^2}{d_1^2}\right) + d_2 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{FN_1^2}{d_2^2}\right) = d_1 + d_2 + \lambda/2$

$$FN_1^2 \left(\frac{1}{2d_1} + \frac{1}{2d_2}\right) = \frac{\lambda}{2}$$

de donde: $FN_1 = \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d_1 + d_2}}$ (2)

es el radio de la primera zona de Fresnel

La fórmula General es: $FN_n = \sqrt{\frac{n d_1 d_2 \lambda}{d_1 + d_2}} = \sqrt{n} FN_1$ (3)

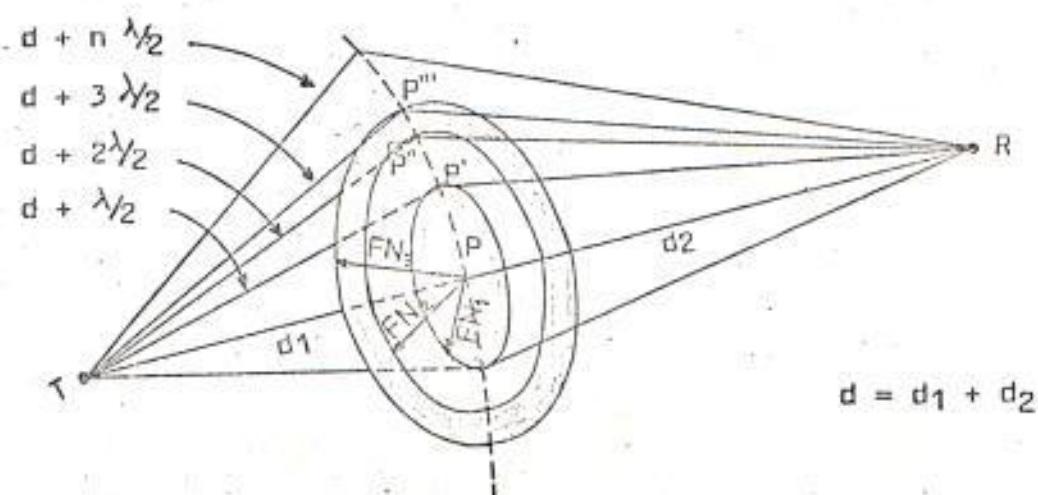


FIG. 2

D. - Cálculo de la relación Señal - Ruido (S/R_t) .-

En todo sistema de Radio-enlace la relación Señal-Ruido térmico (S/R_t) es calculada de la siguiente fórmula:

$$S/R_t \text{ (dB)} = V_s - A_t \quad (1)$$

donde, V_s es la figura de mérito del Sistema o valor del Sistema y A_t es la atenuación total del trayecto.

El valor del Sistema es una figura que caracteriza a los equipos de Radio-enlace en lo que respecta al ruido térmico y para telefonía (F.D.M./F.M.) puede ser calculado por la siguiente expresión:

$$V_s = 10 \log \frac{P_t}{F K T B} \left(\frac{f_n}{f_m} \right) + D + 2,5 \text{ (dB)} \quad (2)$$

Como una ley natural el ruido térmico está siempre presente y, su potencia depende tanto de la temperatura absoluta del punto considerado, como del ancho de banda.- Es por esto que la potencia de ruido térmico por ancho de banda en Hz a la entrada del receptor es dada por el producto K T B, en donde K, es la constante de Boltzman's con valor igual a $1,38 \times 10^{-23}$ Joule/°K; T, es la temperatura ambiente convencional y, B, es el ancho de banda del canal telefonico.

Para T = 27° C (300°K) y B = 3.100 Hz (de acuerdo a recomendaciones del C.C.I.T.T. un canal telefonico tiene una banda transmitida de 300 a 3.400 Hz):

$$KTB = 1,38 \times 10^{-23} \frac{\text{joule}}{\text{°K}} \times 300 \text{ °K} \times 3.100 \text{ Hz}$$

$$= 1,38 \times 10^{-23} \times 93 \times 10^4 \frac{\text{watts}}{\text{Hz}} \times \text{Hz} = 128,34 \times 10^{-19} \text{ watts}$$

$$K T B = 128,34 \times 10^{-16} \text{ miliwatts}$$

Este valor de potencia corresponde a un nivel absoluto de:

$$10 \log (128,34 \times 10^{-16}) \text{ dbm} = 10 \log 128,34 + 10 \log 10^{-16}$$

luego, $K T B = 21,1 - 160 = -138.9$ dbm

El mejoramiento de la potencia de ruido debido a la modulación de frecuencia es expresado mediante la relación (fd/fm) , en donde:

fd , es el valor r.m.s. de la desviación de frecuencia por canal, y, fm , es la frecuencia modulante (indica la posición del canal en la banda base).

Para una distribución más uniforme de la relación Señal - ruido en los varios canales de un sistema telefónico multicanal se utiliza generalmente una red pasiva de pre-acentuación. Cuando se usa esta red, fd no es entonces una constante pero, seguirá siendo dependiente de fm , en tal forma que es usual dividir fd en una parte fija fn (valor r.m.s. de la desviación de frecuencia, que no es afectado por la inclusión de la malla) y, un factor característico de pre-acentuación D . La parte fija fn , es escogida de la Recomendación C.C.I.R. 404-1, que da una tabla de valores para la desviación por canal en enlaces de Radio sin pre-acentuación (Ver Tabla No 1).

El factor de pre-acentuación D es especificado de acuerdo a la recomendación C.C.I.R. 275 por la fórmula:

$$D = 5 - 10 \log \left[1 + \frac{6,90}{1 + 5,25 \left(\frac{fr}{f} - \frac{f}{fr} \right)} \right]$$

donde, fr (frecuencia resonante del sistema) = $1,25 f_{max}$
 f_{max} , frecuencia del canal telefónico más alto de la banda base

f , frecuencia de la banda base.

Para Sistemas con una capacidad máxima de 300 canales telefónicos $D \hat{=} 4$ dB

La tabla No 2, (Recomendación C.C.I.R. 399) me indica el valor de la frecuencia del canal más alto de la banda en el que se puedan realizar mediciones con el uso de una señal con espectro uniforme continuo (ruido blanco) que tiene propiedades

estadísticas similares a la señal de Multiplex .- De acuerdo a esta tabla $f_m = 1.248$ KHZ

Según tabla No.1 $f_n = 200$ KHZ

La potencia de ruido térmico medida a la salida del receptor muestra un valor más alto que el que se esperaría a la entrada del mismo .- Esta característica del Receptor de añadir su propio ruido térmico es expresada por la figura de Ruido del Receptor (N) .- Esta figura es la relación entre el ruido térmico medido a la salida del Receptor y el ruido térmico que uno esperaría en el mismo punto si sólo KT estaría presente a la entrada del receptor (expresada en dB) .- La mayoría de los sistemas en uso tienen figuras de ruido del receptor que varían entre 8 y 13 dB .- Para efectos de cálculo tomaré:

$$N = 10 \log F = 9,5 \text{ dB}$$

Si ruido de espectro uniforme continuo es medido en una banda de 3,1 KHZ, el nivel de ruido debe ser reducido por 2,5 dB para obtener el nivel de potencia psicofonético.

Reemplazando la (2) en la (1):

$$S/R_t = 10 \log \frac{P_t}{FKTB} \left(\frac{f_n}{f_m}\right)^2 + D + 2,5 - A_t \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

$$= 10 \log P_t - 10 \log F - 10 \log KTB + 20 \log \left(\frac{f_n}{f_m}\right) + D + 2,5 - A_t$$

$$= P_T(\text{dBm}) - N(\text{dB}) - 10 \log KTB + 20 \log \left(\frac{f_n}{f_m}\right) + D + 2,5 - A_t \quad (4)$$

Reemplazando los valores calculados anteriormente y, conociendo que $P_R(\text{dBm}) = P_T(\text{dBm}) - A_t(\text{dB})$, la ecuación (4) queda en la siguiente forma:

$$S/R_t = P_R(\text{dBm}) - 9,5 + 138,9 - 15,9 + 4 + 2,5$$

$$\text{de donde: } S/R_t = P_R + 120 \text{ dB} \quad (5)$$

El nivel n de la potencia de Ruido es normalmente referido a 1 mw y es identificado añadiendo el subscrito "mo" al dB, es decir $n = x \text{ dBmo}$.- La relación señal - Ruido (S/R) difiere del nivel de potencia de ruido por el signo algebraico (S/R=-n)

debido a que la potencia de referencia es 1 mW

La tabla 3 expresa la conversión de niveles de ruido (dBm) a potencias de ruido en pW y viceversa.

TABLA 1

Número máximo de Canales	Desviación por Canal R. M. S. (KHZ)
12	35
24	35
60	50, 100, 200
120	50, 100, 200
300	200
600	200
960	200

TABLA 2



BIBLIOTECA

Capacidad del Sistema	Limites de la banda ocupada por canales telefónicos (KHZ)	Frecuencias de Canales, de medición (K H Z)
60	60- 300	70 270
120	60- 552	70 270 534
300	60- 1300	70 270 534 1248
600	60- 2540	70 270 534 1248 2438
960	60- 4028	70 270 534 1248 2438 3886

Tabla 3a

Conversión de niveles de ruido $n(\text{dBm})$ a potencias de ruido en pw y viceversa.

n/dBm	- 30	- 40	- 50	- 60	- 70	- 80	
- 0	10×10^5	10×10^4	10×10^3	10×10^2	10×10	10	pw
- 1	$7,95 \times 10^5$	$7,95 \times 10^4$	$7,95 \times 10^3$	$7,95 \times 10^2$	$7,95 \times 10$	7,95	pw
- 2	$6,31 \times 10^5$	$6,31 \times 10^4$	$6,31 \times 10^3$	$6,31 \times 10^2$	$6,31 \times 10$	6,31	pw
- 3	$5,02 \times 10^5$	$5,02 \times 10^4$	$5,02 \times 10^3$	$5,02 \times 10^2$	$5,02 \times 10$	5,02	pw
- 4	$3,98 \times 10^5$	$3,98 \times 10^4$	$3,98 \times 10^3$	$3,98 \times 10^2$	$3,98 \times 10$	3,98	pw
- 5	$3,16 \times 10^5$	$3,16 \times 10^4$	$3,16 \times 10^3$	$3,16 \times 10^2$	$3,16 \times 10$	3,16	pw
- 6	$2,51 \times 10^5$	$2,51 \times 10^4$	$2,51 \times 10^3$	$2,51 \times 10^2$	$2,51 \times 10$	2,51	pw
- 7	$2,00 \times 10^5$	$2,00 \times 10^4$	$2,00 \times 10^3$	$2,00 \times 10^2$	$2,00 \times 10$	2,00	pw
- 8	$1,59 \times 10^5$	$1,59 \times 10^4$	$1,59 \times 10^3$	$1,59 \times 10^2$	$1,59 \times 10$	1,59	pw
- 9	$1,26 \times 10^5$	$1,26 \times 10^4$	$1,26 \times 10^3$	$1,26 \times 10^2$	$1,26 \times 10$	1,26	pw

Tabla 3b

Tabla para interpolar los valores de 3a en incrementos de -
0.1 dBm.

n_R/dBm	-0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9	
m - 0	10	9,78	9,56	9,34	9,12	8,91	8,72	8,51	8,32	8,13	pw
m - 1	7,95	7,76	7,59	7,42	7,25	7,08	6,92	6,76	6,61	6,46	pw
m - 2	6,31	6,17	6,03	5,89	5,76	5,62	5,50	5,37	5,25	5,13	pw
m - 3	5,02	4,90	4,79	4,68	4,57	4,47	4,37	4,27	4,17	4,07	pw
m - 4	3,98	3,89	3,80	3,72	3,63	3,55	3,47	3,39	3,32	3,24	pw
m - 5	3,16	3,09	3,02	2,95	2,89	2,82	2,76	2,69	2,63	2,57	pw
m - 6	2,51	2,46	2,40	2,34	2,29	2,24	2,19	2,14	2,09	2,04	pw
m - 7	2,00	1,95	1,91	1,86	1,82	1,78	1,74	1,70	1,66	1,62	pw
m - 8	1,59	1,55	1,51	1,48	1,45	1,41	1,38	1,35	1,32	1,29	pw
m - 9	1,26	1,23	1,20	1,18	1,15	1,12	1,10	1,07	1,05	1,02	pw

Siendo m = -30, -40, -50, -60, -70, o -80 (Tabla 3a)

BIBLIOGRAFIA

- 1.- The physics of Microwave Propagation.- Donald C. Livingston.
- 2.- Sistemas de Telecomunicación por Arne Cavalli Björkman.
- 3.- Seminario de Telecomunicaciones Rurales.- Conferencia del Sr. Mario Pachajoa.- Delegado de la O.E.A.
- 4.- Microwave Communication.- Edited by SHIGERU - YONEZAWA.
- 5.- Telephone Traffic Theory Tables and Charts Part 1 SIEMENS.
- 6.- Radio Relay Systems.- Dr. Ing. Helmut Carl.
- 7.- Engineering Considerations for Microwave Communications Systems.- LenKurt.
- 8.- Economic and technical aspects of the choice of transmission Systems.- U.I.T.
- 9.- Propagation.- Appendix to Section B. IV . 3 of the Handbook Economic and technical aspects of the choice of transmission Systems.- U.I.T.
- 10.- Microwave Frequency channel arrangements.- Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation.
- 11.- Planning and Engineering of Radio Relay Links.- H. Brodhage, W. Hormuth.- Siemens.
- 12.- Publicaciones de las Recomendaciones del C.C.I.R.