


ESTUDIO DE UN RADIO ENLACE QUITO - GUAYAQUIL PARA EL  
SERVICIO FIJO AERONAUTICO

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en  
la especialización de electrónica y telecomunicaciones  
de la Escuela Politécnica Nacional

Hugo J. Herrera S.

Quito, agosto 1968

Certifico que esta tesis  
ha sido totalmente desa-  
rollada por el Sr Hugo Herrera.



~~Ing. Luis Silva~~

Consultor de Tesis

A M I S P A D R E S

---

# I N D I C E

## INTRODUCCION

### CAPITULO I

COMUNICACIONES EN ALTA FRECUENCIA.- Estructura de la Ionósfera.- Absorción Ionosférica.- Refracción Ionosférica.- Frecuencias máximas Usables.- Frecuencias Más bajas Usables.- Desvanecimiento.- Características Predecibles de la actividad Ionosférica.- Paso de la Onda en la ionosfera.- Pérdidas.- Predicción del ruido radio-eléctrico.- Determinación del ruido en el Ecuador.

DISEÑO DE LAS CARACTERISTICAS DEL ENLACE A.F. QUITO-GUAYAQUIL.- Estimación de las pérdidas.- Potencia en el transmisor.- Planificación de la estación transmisora.- Sintetizadores de frecuencia.- Diagramas de bloques de las diferentes estaciones.- Facilidades de Monitoreo.- Facilidades de mantenimiento.- Diseño de las antenas.

RECOMENDACIONES SOBRE LOS EQUIPOS SEGUN C.C.I.R.- Especificaciones del equipo.- Resumen.

### CAPITULO II

RADIO-ENLACE QUITO-GUAYAQUIL EN MUY ALTAS FRECUENCIAS.

Teoría de la propagación Troposférica.- Atenuación en Muy Altas Frecuencias.- Ganancia obtenible por obstáculos.- Desvanecimiento de las ondas en Muy Altas Frecuencias.- Influencia de la atmósfera inferior en la propagación.- Índice refractivo de la Atmósfera Interferencia en la onda de Fresnel.- Zonas de Fresnel.

Aplicación de las "Nomogramas de Bullington" al radio-enlace Quito-Guayaquil. Determinación del emplazamiento de las estaciones.- Estimación de las pérdidas.

MEDICIONES DE CAMPO.- Comprobación de los estudios teóricos por medio de las mediciones de campo realizadas por la Unidad de Búsqueda de Frecuencias de la OACI.- Diseño de los equipos a utilizarse en el sistema.- Sistemas de antenas.-

CARACTERISTICAS RADIOELECTRICAS BASICAS DE LOS EQUIPOS, según C.C.I.R.

### CAPITULO III

#### COMUNICACIONES POR DISPERSION TROPOSFERICA

Teoría de la Dispersión Troposférica.- Pérdidas en la Dispersión troposférica.- Pérdidas producidas por el cambio en el ángulo de enfocamiento del haz.- Fórmula de YEH.- Diversidad.

PARAMETROS GENERALES DE LOS EQUIPOS A UTILIZARSE.- Muy Alta Frecuencia de alcance extendido.- Estimación de las pérdidas en el enlace Quito-Guayaquil en la Dispersión Troposférica.

### CAPITULO IV

Conclusiones.- Análisis económico de la instalación del sistema.- Diferentes propuestas.- Gastos de Ingeniería Civil.- Conclusión Final.

### BIBLIOGRAFIA

## I N T R O D U C C I O N

La Dirección General de Aviación Civil, se halla empeñada en los actuales momentos, en proveer al País de una red de comunicaciones entre los principales centros aeronáuticos;- esta intención se convierte en necesidad urgente cuando se trata de los Centros Internacionales de Quito y Guayaquil.- Los aeropuertos pertenecientes a estas dos ciudades registran un tráfico aeronáutico cada vez más intenso y esto trae consigo el que los servicios de "Protección al Vuelo" exijan comunicaciones entre los aeropuertos, de excelente calidad y de suma confiabilidad, las mismas que se conseguirán únicamente con un sistema bien planificado y acorde con los últimos adelantos y ventajas que la electrónica brinda en el campo de las telecomunicaciones.

En consideración de esta necesidad, he creído conveniente realizar un trabajo que trate de la planificación del sistema de comunicaciones mencionado, en base a la comparación entre varias de las posibilidades que existen para unir las ciudades de Quito y Guayaquil. En el trabajo se consideran tres factibilidades, como son:

- a) Comunicaciones en Altas Frecuencias,
- b) Comunicaciones en Muy Altas Frecuencias,
- c) Comunicaciones por Dispersión Troposférica

La variación de la frecuencia empleada en la transmisión de una onda electromagnética hace que el comportamiento de esta sea diferente, produciendo un cambio radical en los elementos

electrónicos utilizados para conseguir que una información sea transportada de un lugar a otro. Además, el medio de propagación utilizado por la onda va cambiando en cuanto la frecuencia va sobrepasando ciertos valores en bandas casi bien definidas que toman los nombres de: Altas Frecuencias, Muy Altas Frecuencias, Ultra Altas Frecuencias, etc., etc.

Incluyo en esta tesis un medio de comunicaciones bastante novedosa, el denominado por "Dispersión Troposférica", el mismo que está alcanzando una gran utilización y se convertirá en breve plazo, en el sistema preferido, por su gran confiabilidad y por el considerable ahorro que constituye el poder prescindir de las estaciones esclavas, llamadas comunmente "REPETIDORAS".

Como comprobación de los estudios teóricos, en el rango de Muy Altas Frecuencias, he creído conveniente introducir en este trabajo las mediciones de campo realizadas por la Unidad de Búsqueda de Frecuencias de la OACI y que por falta de equipo especializado en el País, no lo he podido efectuar personalmente.

Además de los estudios teóricos, incluyo también consideraciones económicas preliminares de dos de las factibilidades que podrían servir como base para pensar en la posibilidad de financiación del sistema.

Aspiro a que este trabajo, pueda servir en un futuro próximo, como fundamento para la instalación de un sistema para el servicio Fijo Aeronáutico en la Aviación Civil del -

Ecuador, que esté de acuerdo con la política de Protección al Vuelo, que siguen en la actualidad los directivos de la Dirección General de Aviación Civil, Institución a la cual me honro en pertenecer.

Agradezco al señor Ingeniero Luis Silva, Director de Tesis por la magnífica colaboración brindada para la culminación de este estudio de Grado y además, a todos aquellos que contribuyeron, a lo que yo considero, llevar a feliz término este trabajo.



## CAPITULO I

### COMUNICACIONES EN ALTA FRECUENCIA (H.F.)

Una onda electromagnética puede ser propagada desde un punto de emisión, a otro de recepción por una de las siguientes formas, o por una combinación de ellas:

- a) Por ONDA DE TIERRA
- b) Por ONDA DE ESPACIO O TROPOSFERICA
- c) Por ONDA DE CIELO O IONOSFERICA

En la primera se puede conseguir, relativamente, un pequeño alcance, puesto que la onda se atenúa rápidamente. En este medio se consigue mejores resultados en las llamadas muy bajas frecuencias, que comprenden aproximadamente las frecuencias hasta seis megaciclos; esta clase de propagación encuentra su mejor utilización en estaciones de Radiodifusión y en ciertas radioayudas para la navegación.

La onda de espacio o troposférica tiene su aplicación en las muy altas y ultra altas frecuencias y será objeto de un estudio detenido, en la segunda parte de esta tesis.

Las altas frecuencias comprendidas entre los tres y los treinta megaciclos, son empleados en comunicaciones de largo alcance por medio de la acción de la ionósfera y por tanto, toda comunicación en estas frecuencias estará sujeta a los cambios de las propiedades de la ionós -

fera, motivo por el cual es menester conocerla para poder planificar un radio-enlace. En los siguientes párrafos incluyo de una manera sintética las principales características de las capas ionosféricas.

#### ESTRUCTURA DE LA IONOSFERA

La ionósfera está conformada por tres capas que se extienden desde una altura aproximada de 60 Km., estas capas se las conoce con el nombre de capas D, E y F. La capa F se divide en la F1 y F2. en las horas del día, la primera tiene una elevación de 180 Km. y la segunda está situada entre 240 y 380 Km. Durante el anochecer la capa F2 disminuye su altura y la capa F1 se eleva, conformando nuevamente la capa F a una altura de 300 Km. La capa que tiene un alto índice de ionización y por lo tanto, la capa más reflectiva es la capa F2 puesto que está sujeta a los efectos de los rayos cósmicos y los meteoros así como a las emisiones corpusculares y radiaciones ultravioletas del sol.

La altura de las diferentes capas es variable a través de los diferentes meses del año, debido a que el calor del sol produce expansión en la capa y mientras más extendida está, la capa es más liviana y puede elevarse a mayor altura.

Las capas más bajas que F2 son afectadas por rayos ultravioletas de gran poder de penetración, pero debido a su gran densidad gaseosa tiene tendencia a desionizarse -

puesto que los iones y los electrones se recombinan cuando chocan entre sí, disminuyendo la ionización de la capa.

Debemos también mencionar la existencia de una capa delgada, pero altamente ionizada, la capa E; esta capa desempeña un gran papel en las comunicaciones pero su acción es impredecible, se presenta subitamente en el día o en la noche, así como en las diferentes épocas del año. Sus características precisas y la causa de su apareamiento deberán ser todavía determinadas.

#### ABSORCION IONOSFERICA

Apenas una pequeña parte de la energía ultravioleta radiada por el sol llega a la tierra, pues esta se desgasta al ionizar las capas superiores de la atmósfera; de la misma manera, gran parte de la energía contenida en las ondas A. F. se pierde en las capas desionizadas porque la energía que se intercambia entre las ondas con átomos neutros es mayor cuando la cantidad de átomos es elevada.

Por lo dicho, se puede deducir que la mayor parte de la absorción ocurrirá en la capa D que está situada más cerca de la tierra. En la capa E la absorción es mínima y en las capas superiores es casi nula. Como la capa D ejerce influencia únicamente durante el día, la absorción de las ondas eléctricas será nula en horas de la noche.

#### REFRACCION IONOSFERICA

El más importante efecto de la ionización es reducir el índice de refracción de la ionósfera, variando de

esta manera la dirección de las ondas electromagnéticas de acuerdo con la LEY DE SNELL.

$$\mu = \frac{\text{Sen } i}{\text{Sen } r} \quad \begin{array}{l} i = \text{ángulo de incidencia} \\ r = \text{ángulo de reflexión} \end{array}$$

$\mu$  es función de la frecuencia y de la onda en la siguiente forma:

Cuando la onda penetra en la ionósfera se desarrolla un campo eléctrico

$$\mathcal{E} = E \cos wt$$

Este campo acelera los electrones libres de la ionósfera de acuerdo con la relación

$$\textcircled{1} \quad F = Me \times a = Me \times y''$$

donde  $F$  = fuerza que actúa sobre el electrón en Newtons.

$Me$  = masa del electrón en Kg.

$a$  = aceleración del electrón en  $m/\text{seg}^2$

La fuerza que actúa sobre el electrón en un campo eléctrico es:

$$\textcircled{2} \quad F = \mathcal{E} e$$

$F$  = fuerza en newtons

$\mathcal{E}$  = campo eléctrico

$e$  = carga del electrón en Coulombios

Igualando  $\textcircled{1}$  y  $\textcircled{2}$

$$Me \times y'' = eE \cos wt$$

$$y'' = \frac{eE}{Me} \cos wt$$

$$y' = \frac{eE}{Me \omega} \text{ sen } \omega t$$

$$y' = \text{velocidad del electrón } (\text{m/seg})$$

Si suponemos existen N electrones por metro cúbico, la densidad de la corriente de conducción sería:

$$D = N e y' \left[ \frac{\text{A. m. l}}{\text{seg m}^3} \right] = \frac{N e^2}{Me \omega} E \text{ sen } \omega t$$

La densidad de corriente de desplazamiento que debe existir según se demuestra con las leyes de Maxwell

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \epsilon_0 E \cos \omega t = -\epsilon_0 \omega E \text{ sen } \omega t$$

Y la densidad de corriente total será igual a la suma de corriente de conducción y corriente de desplazamiento.

$$\text{Densidad efectiva} = E E r \epsilon_0 \omega \cos \omega t - \frac{N q^2}{\omega m} E \cos \omega t$$

El primer término es el desplazamiento por la energía electromagnética según Maxwell y el segundo es el desplazamiento de corriente en el medio

$$D_{ef} = E \omega \cos \omega t \left( \epsilon_0 \left( E r - \frac{N q^2}{\omega^2 m \epsilon_0} \right) \right)$$

$$\text{Llamando } E' = E r - \frac{N q^2}{\omega^2 m \epsilon_0}$$

$$E r = 1 \text{ y } \frac{q^2}{4\pi^2 m^2 \epsilon_0} = 81$$

donde

$$q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ coulombios}$$

$$m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ Kgr.}$$

$$\epsilon_0 = 8.66 \times 10^{-12}$$

$$\epsilon' = 1 - \frac{81 N}{f^2}$$

según la Ley de Snell

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \mu = \sqrt{\frac{\epsilon'}{\epsilon_r}} = \sqrt{\epsilon'}$$

puesto que  $\epsilon_r = 1$

$$\text{entonces } \mu = \sqrt{1 - \frac{81N}{f^2}} = \sqrt{1 - \frac{D}{f^2}} \quad D = 8.1 N \quad (3)$$

De esto deducimos que  $\mu$  es función de la frecuencia  $f$  y del factor  $D$ , el cual a su vez, es función de la densidad de ionización.

Para una frecuencia determinada,  $\mu$  decrece cuando la densidad de ionización crece al acercarse al centro de la capa ionizada.

En la ecuación (3) podemos hacer varias especulaciones, así por ejemplo, cuando  $\mu = 0$  la onda regresará a la tierra, convirtiéndose la refracción en reflexión entonces

$$0 = \sqrt{1 - \frac{D_{\max}}{f_0^2}} \quad 1 = \frac{D_{\max}}{f_0^2} \quad f_0^2 = D_{\max}$$

$D_{\max}$  = máxima densidad de ionización

Lo anteriormente dicho se cumplirá, puesto que cuando  $\mu$  sea cero, la onda se refractará en una dirección normal de un radio de la tierra, y cualquier refracción ulterior hará que la onda salga de la capa con el mismo ángulo con el que ingresó. En el caso especial de que la onda incida verticalmente,  $\mu$  debe llegar a un valor de cero para que la onda regrese a la tierra. La más alta frecuencia a la cual esto ocurre en una capa se denomina la FRECUENCIA

CRITICA de la capa.

Del conocimiento de la frecuencia crítica de la capa se puede calcular la más alta frecuencia que puede retornar a la tierra cuando esta ha sido radiada con un ángulo oblicuo:

puesto que  $r = 90^\circ$        $\text{sen } r = 1$

entonces  $\text{sen } i = M = \sqrt{1 - \frac{f_c^2}{f^2}}$

$$\text{sen}^2 i = 1 - \frac{f_c^2}{f^2} \quad \frac{f_c^2}{f^2} = \text{cos}^2 i$$

$$f = f_c \text{ sec } i$$

Esta es la llamada ley de la secante que es muy útil para escoger la frecuencia de operación de un circuito dado, aunque debe hacerse correcciones, debido a que esta ley es válida únicamente cuando se considera plano, el nivel de la tierra y de la capa.

#### FRECUENCIAS MAXIMAS USABLES (M F U)

La base para cualquier planificación es el conocimiento de la frecuencia crítica de la capa, con este objeto se colectan sistemáticamente medidas realizadas por centros de sondeo IONOSFERICO a través de todo el mundo.

De datos proporcionados por estas estaciones se deduce un parámetro, la M.F.U. (máxima frecuencia usable), que es la más alta frecuencia, la cual con una particular reunión de condiciones, puede ser usada para propagar una onda de radio sobre una ruta dada.

Han sido elaborados mapas mundiales de la máxima fre-

cuencia usable valiéndose de las predicciones del número de manchas solares para cada estación y cada hora del día en base a fórmulas empíricas que tienen como variables el número de manchas solares, el ángulo que forma la posición del sol con su zenith, temperatura, etc. Para ilustración, - incluyo dos mapas de los mencionados, que han sido extraí- - dos del boletín emitido por U.S. "Departamento of Commerce" y que es válido para el mes de marzo de 1.967.



## FRECUENCIAS MAS BAJAS USABLES

Las frecuencias más bajas usables están relacionadas con la mínima intensidad de campo requerida para la recepción. Es la frecuencia más baja que se puede usar para enviar una onda electromagnética en un enlace determinado. La frecuencia de la onda reflejada en la ionósfera determina la atenuación de la misma, de una manera inversa, así mientras más baja es la frecuencia más grande es la atenuación; de esta manera la más baja frecuencia usable representa un compromiso entre una frecuencia que puede ser transmitida sin interrupción, debido a los cambios ionosféricos, y una frecuencia sin pérdidas excesivas causadas por la atenuación ionosférica.

## DESVANECIMIENTO

El desvanecimiento hace que la cantidad de potencia radiada por una estación deba ser mucho mayor para conseguir condiciones estables en la recepción, causando de esta manera el encarecimiento de las instalaciones.

## CAUSAS DE DESVANECIMIENTO

Existe cuatro causas principales de desvanecimiento, a saber:

- a) ABSORCION
- b) VARIACION DE LA ZONA DE SALTO (lenta)
- c) INTERFERENCIA
- d) CAMBIOS DE LA POLARIZACION (rápida)

## DESVANECIMIENTO LENTO

La intensidad de señal media es principalmente depen-

diente de la longitud de la trayectoria y el número de reflexiones en la tierra, pero se puede considerar que para un circuito determinado estos factores permanecen constantes, y a pesar de esta consideración persistirán aún variaciones diarias, debido a la absorción en la capa D y en menor intensidad en la capa E.

Sobre estas variaciones existen algunas que ocurren sin normalidad y que son debidas a las estaciones y al grado de actividad solar.

Experiencias han demostrado que para un circuito, una frecuencia y una hora determinadas, las variaciones que existen entre un valor medio mensual y cualquier valor medio será suficiente darle a la relación Señal/Ruido una cantidad de 10 db. de protección para asegurar su confiabilidad. Todo lo anterior en caso de ignorar el ruido, el cual sufre las mismas variaciones que cualquier señal, por lo tanto, será necesario darle una protección adicional al circuito, y se ha tomado como valor suficiente el de 14 db., que es equivalente a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores de protección aconsejados.

#### DESVANECIMIENTO RAPIDO

A causa de la irregular e inestable estructura de las capas ionosféricas; las señales de alta frecuencia propagadas por este medio tienden a separarse a lo largo de un grupo de señales con relaciones de fase variables.

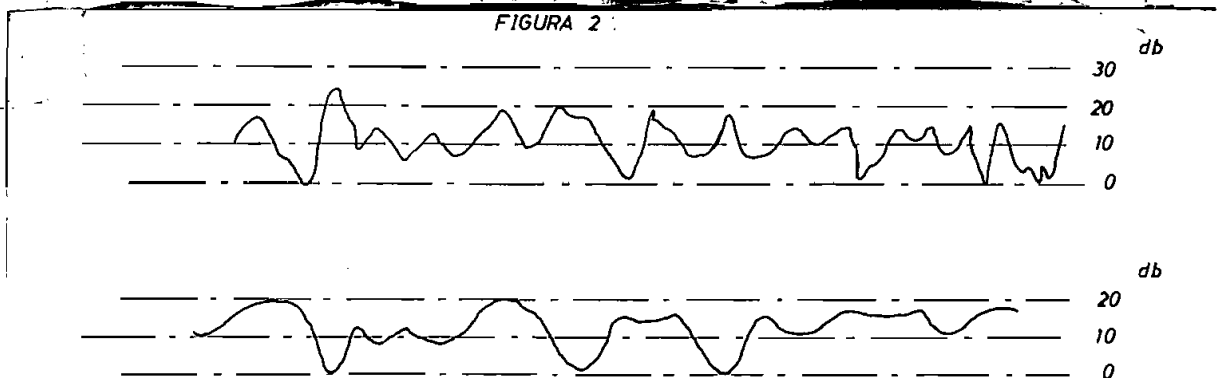
Lo anterior no solamente que producirá una fluctua-

ción en la amplitud de la señal (que es algunas veces hasta de 30 db.), sino también que el tiempo que transcurre entre la llegada de la primera y de la última señal significativa, viene a ser un factor limitante en la recepción de telegrafía de alta velocidad.

Dependiendo de la naturaleza de la señal, la distribución de amplitud del desvanecimiento rápido puede ser considerado como un tipo de desvanecimiento "LOGARITMICO NORMAL" o como un tipo denominado "RAYLEIGH". (I+I)

Cuando se hace consideraciones en períodos de pocos minutos la variación de la amplitud de la señal parece seguir la ley de "REYLEIGH" y los cálculos de factores de seguridad para telegrafía de alta velocidad se hace de acuerdo con esta forma de variación, mientras que para telegrafía de baja velocidad como el MORSE, la telegrafía etc., los factores de seguridad se calculan con la ley "LOGARITMICA NORMAL".

Gráficos obtenidos especialmente, de la variación del nivel de la señal por desvanecimiento, se pueden ver en la figura. No. 2.



REGISTROS DE UN OSCILOGRAFO DE DESVANECIMIENTO RAPIDO DE SEÑALES DE FRECUENCIA SIMPLE (tomado de "POINT TO POINT" TELECOMMUNICATIONS de febrero de 1.965)

## CARACTERISTICAS PREDECIBLES DE LA ACTIVIDAD IONOSFERICA

Manchas solares.- Uno de los más notables fenómenos que ocurren en la superficie solar, es el apareamiento y desapareamiento de ciertas áreas oscuras conocidas como manchas solares, cuya duración y naturaleza son todavía desconocidas. La observación de las citadas manchas, se ha hecho posible gracias a que la temperatura en las mismas es de -- 3000° K., lo que significa obscuridad si comparamos con los 6000° K. de la fotosfera. Entre los más apreciables efectos de las "manchas solares" están los fuertes campos magnéticos que alcanzan valores hasta de 0.4 Weber/m<sup>2</sup>.

### EL CICLO DE MANCHAS SOLARES

La formación y desvanecimiento de las "manchas" se lo puede identificar como una actividad solar que supone energía con un necesario índice; una de las fórmulas empíricas utilizadas para la evaluación de este índice es el NUMERO DE WOLF que está dado por (1-2)

$$R = K (10 g + s)$$

g = número de grupos de manchas

s = número de manchas observables

k = factor de corrección de los aparatos de medición.

Una observación progresiva del número de manchas solares nos lleva a la conclusión, que este varía en una forma cíclica, con un período de once años. Un ciclo, sin embargo, di =

fiere de cualquier otro, por lo cual, el intento de hacer predicciones con un gran lapso de tiempo en adelante lleva casi siempre a soluciones erróneas.

La forma más usual de determinar el número de manchas solares, es emplear las predicciones de estaciones de sondeo ionosférico. Cuando se desea hacer predicciones de futuros ciclos de actividad solar es aconsejado tomar como base un mínimo de 10 y un valor promedio máximo de 130, como ilustración se puede observar en la figura 3 un "mapa" de uno de los ciclos de actividad solar para el período comprendido entre el año 1963 y 1974. Este gráfico ha sido extraído de un boletín del "Institute for Telecommunication Sciences and aeronamy" (Central Radio Propagation Laboratory) (Marzo de 1967).

#### PREDICCIÓN DE LAS MÁXIMAS FRECUENCIAS USABLES

Como habíamos visto anteriormente las máximas frecuencias dependen de la variación diurna, estacional y geográfica del número de manchas solares.

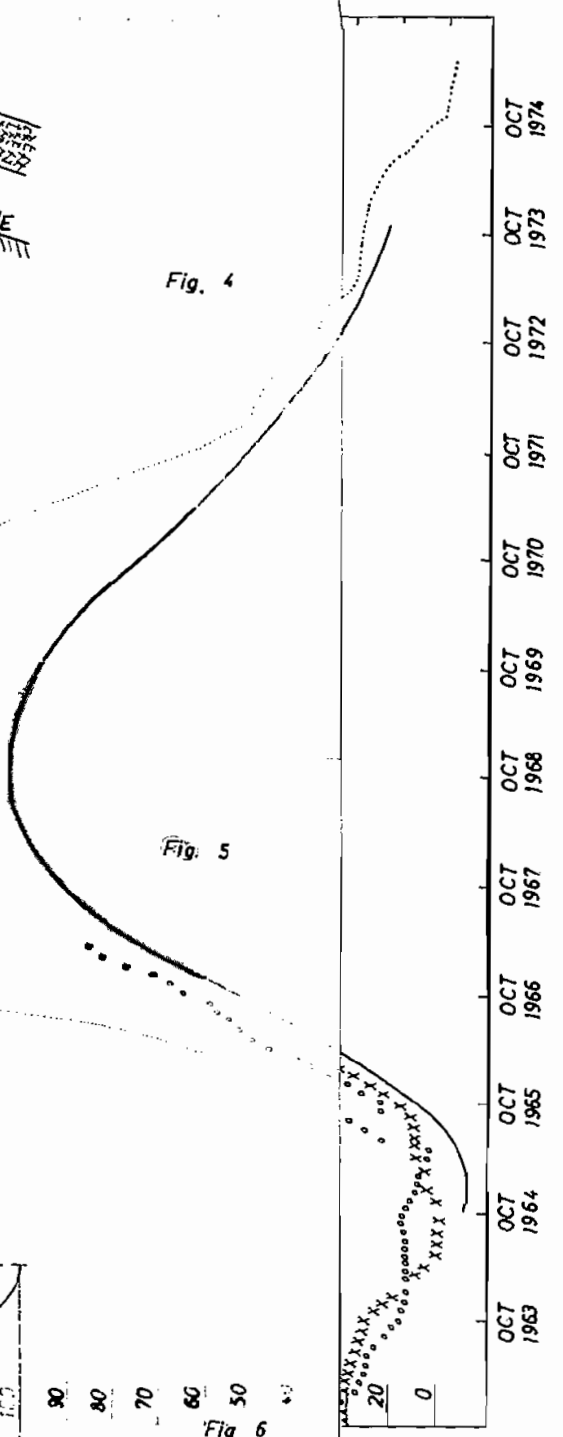
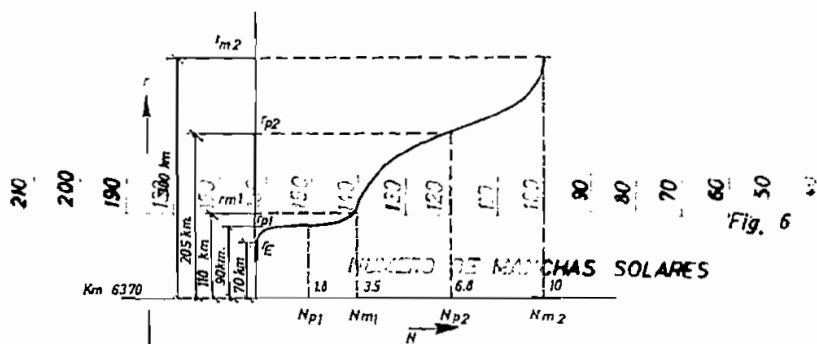
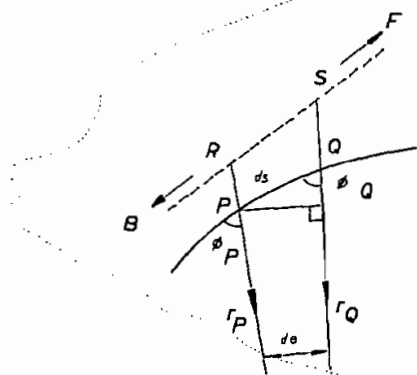
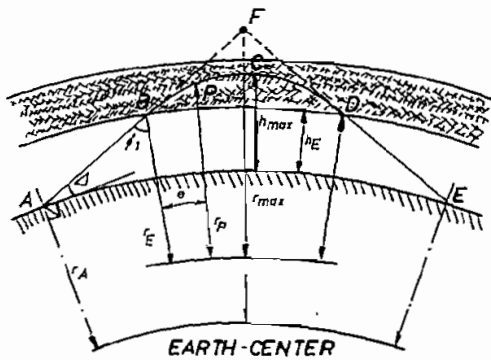
La actividad de las capas E y F son tales que las frecuencias críticas pueden ser predecibles en términos del ángulo zenital solar y el número de manchas solares R por medio de las siguientes fórmulas empíricas, tomadas de "Ionospheric Radio Propagation", por Keneth Davies.

Para la capa E

$$(E) = 0,9 (180 + 1,44 R)$$

Para la capa F

$$(F) = (4,3 + 0,01 R)$$



La capa E controla usualmente las comunicaciones entre dos puntos situados hasta la distancia de 2.000 km. La capa F - en cambio, se utiliza para distancias entre 2.000 y 3.000 (4.000) Km.

Una posibilidad derivada de las fórmulas anteriores para la predicción de la MFU es la elaboración de IONOGRAMAS, los mismos que gráficamente nos darían los valores deseados de MFU.

#### EL PASO DE LA ONDA EN LA IONOSFERA

Si asumimos que no existe influencia del campo magnético de la tierra y tampoco rozamiento por fricción, aceptando, además, que las capas ionosféricas pueden ser consideradas como horizontales, es posible encontrar una fórmula en forma diferencial, para el tiempo de propagación, la distancia, máxima altura, ángulo de radiación, etc., etc., que una onda en altas frecuencias alcanza al propagarse a través de la ionósfera. Con tal objeto es necesario encontrar una función que represente la variación del índice de refracción como una función de la altura. Por datos tomados de centros de investigación, se ha encontrado que la variación del índice mencionado puede idealmente ser representado por la figura 6, que consiste de partes de parábolas.

En la figura (4) se ha representado la trayectoria de una onda de radio frecuencia desde el punto A al E a través de los puntos B - C - D, localizados en la ionosfera, la figura (5) nos da la trayectoria del rayo en una longitud infinitesimal.

Aplicando la ley de Snell y llamando  $n$  al índice de refracción,  $r$  a la distancia hasta el centro de la tierra,  $r_e$  la distancia desde el centro de la tierra hasta la parte inferior de la capa ionizada,  $\phi$  el ángulo de incidencia,  $v$  la velocidad de grupo y  $c$  la velocidad de la luz, tenemos las siguientes ecuaciones :

$$r_p n_p \text{ Sen } \phi_p = r_a n_a \text{ Sen } \phi_a = r_e \text{ Sen } \phi_i$$

$$n \hat{=} f(r)$$

$$v = cn$$

ahora recordemos que

$$n^2 \hat{=} 1 - KN \quad (2)$$

En la cual  $N$  es la densidad eléctrica y

$$K \hat{=} \frac{8.1}{f^2 (mc/s)} \quad (3)$$

si  $f$  está en megaciclos y  $N$  es el número de electrones por  $\text{cm}^3$  dividido por  $10^5$ , y tratamos de encontrar una función para  $N$  podemos escribir

$$KN \hat{=} a + \frac{b}{r} + \frac{g}{r^2} \quad (4)$$

donde  $a$  -  $b$  y  $g$  deben ser determinados por condiciones límites; entonces

$$n^2 \hat{=} 1 - KN = 1 - \left( a + \frac{b}{r} + \frac{g}{r^2} \right) \quad (5)$$

cuándo  $r = r_{ec}$   $N = 0$

$$are^2 + bre + g = 0 \quad (6)$$

si la ionización comienza (teóricamente) en  $B$  para  $r = r_e$

$\frac{dN}{dr}$  debe ser cero:

$$r_e = \frac{-2g}{b} \quad 4ag = b^2$$



y finalmente,

$$b = -2are \quad g = are^2$$

entonces la ecuación (4) puede escribirse

$$N \approx \frac{a}{k} \left(1 - \frac{re}{r}\right)^2 \quad (6)$$

$r_{max}$  se conseguirá cuando  $\Phi = 90^\circ$ ; entonces de las ecuaciones (1)

$$r_{max} = n \operatorname{Sen} \Phi_{max} = re \operatorname{Sen} \Phi_1$$

$$n \approx \frac{re \operatorname{Sen} \Phi_1}{r_{max}}$$

y (5) y (6) puede escribirse

$$r_{max} = re \frac{a + \sqrt{\operatorname{Sen}^2 \Phi_1 + a \omega^2 \Phi_1}}{a - 1}$$

$r_{max}$  equivale a la altura máxima que alcanzará la onda en su trayectoria hasta el punto E.

Además, por simples matemáticas, podemos deducir de las ecuaciones (1) y la figura la siguiente ecuación

$$d\theta = \frac{re \operatorname{Sen} \Phi_1 dr}{r \sqrt{r^2 f^2(r) - re^2 \operatorname{Sen}^2 \Phi_1}}$$

Si integramos  $\theta$  entre  $r$  y  $re$  podemos deducir el alcance de la onda,

Ahora consideremos una parte de la figura (6) que es usada para representar la variación del índice de refracción en la parte más baja de la ionósfera; las constantes que definen esta curva particular son:

$$re = 70 \text{ Km.} \quad a = 200 \quad f = 20 \text{ Mc/s}$$

si se escoge otro valor de  $a$ , la curvatura de la curva de io-

nización variará. Es necesario anotar que esta curva puede ser utilizada para otras frecuencias, lo cual puede ser comprobado de la siguiente forma; decidimos que

$$N \cong \frac{a}{k} \left( 1 - \frac{re}{r} \right)^2$$

si cambiamos la frecuencia,  $k$  cambiará en  $k^1$  y cambiando  $a$  en forma proporcional el cociente  $\frac{a}{k}$  permanecerá invariable y consecuentemente la ecuación permanecerá idéntica.

En forma simplificada la fig. (7) nos da un sumario de los resultados obtenidos empleando las fórmulas deducidas anteriormente.

Conclusión :

Es posible calcular exactamente la trayectoria de un rayo de radiofrecuencia si se conoce la curva de ionización. Curvas para incidencia vertical dando alturas reales y virtuales que pueden ser comparadas con los ionogramas dados por estaciones de sondeo ionosférico, pueden ser obtenidas aplicando los principios enunciados.

Pérdidas :

Las siguientes son las posibles pérdidas que pueden ocurrir entre los terminales de transmisión y recepción:

- a) Pérdidas que se producen en las reflexiones de las ondas en la tierra. (lo llamaremos en este trabajo  $Lq$ );
- b) Pérdidas de distancia, debido a la difusión de la onda (lo denominaremos  $Lsp$ );
- c) La absorción ionosférica (lo llamamos  $La$ )

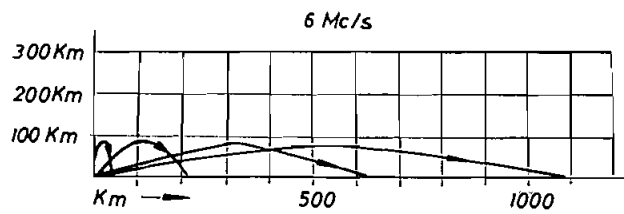
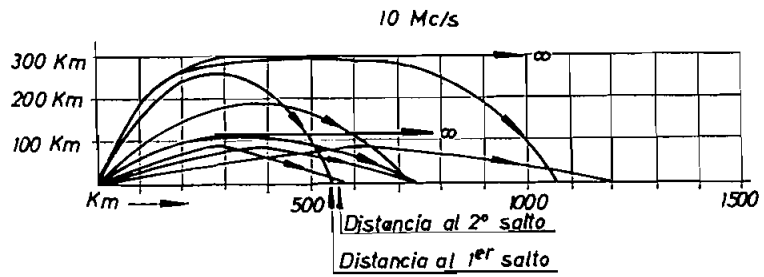
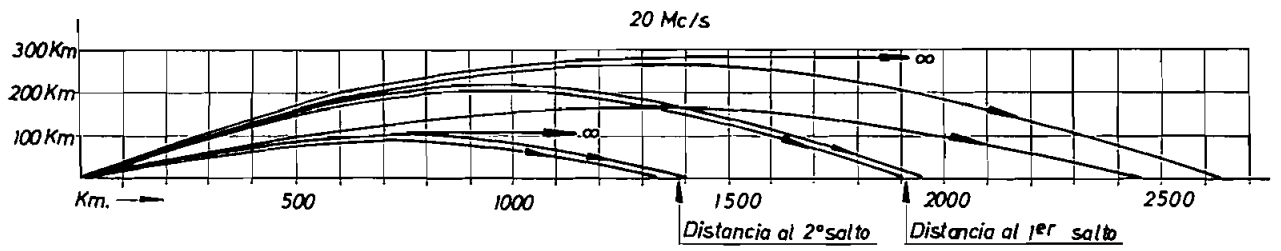


Fig. 7

- d) Ganancia de antena (pérdida negativa)
- e) Condiciones ambientales: lluvia, densidad, etc., cielo, etc.

Pérdidas por reflexiones en la tierra :

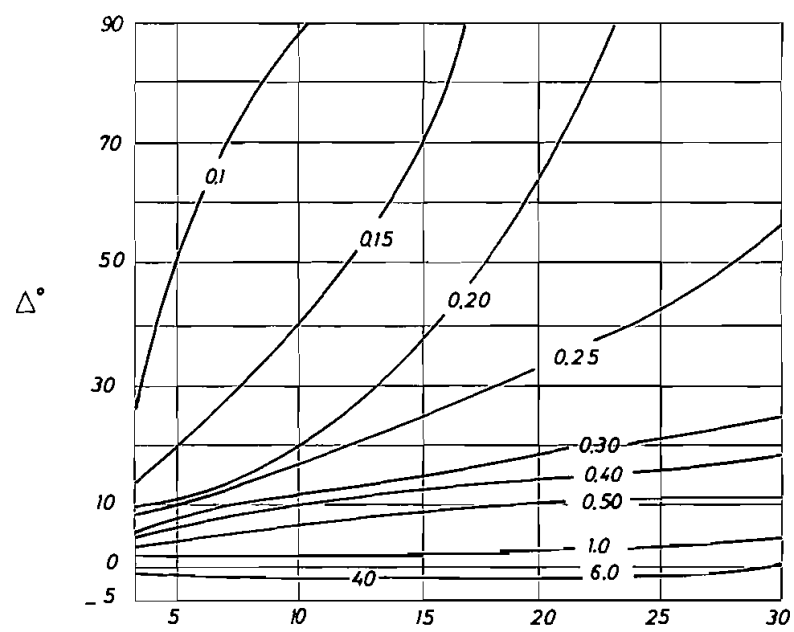
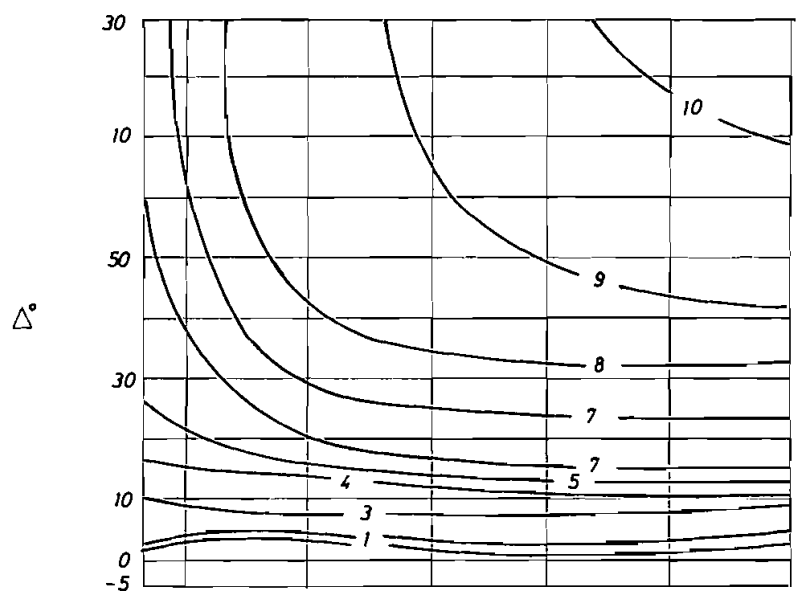
Depende de la conductividad de la tierra en la que se realiza la reflexión y del ángulo de elevación de la radiación incidente. Las pérdidas que ocurren en las varias clases de terreno dependen de la humedad del mismo, pues, con ella aumenta o disminuye la conductividad.

Si se conoce el ángulo de incidencia y la frecuencia de la onda, se puede averiguar las pérdidas en decibeles de las figuras (8) que han sido elaboradas para los dos casos extremos como son la reflexión sobre el terreno seco y sobre el mar; valores estimativos para otra clase de terrenos pueden tomarse por interpolación. (1-3)

PERDIDAS POR DISTANCIA:

En general es bastante complicado evaluar las pérdidas ocasionadas por efecto de la distancia, sin embargo, podemos hacer aproximaciones considerando que para transmisiones en larga distancia y para uno o varios saltos, la distancia efectiva es proporcionalmente lineal a la distancia real geográfica. La potencia del flujo que contiene la onda va disminuyendo con el cuadrado de la distancia  $s$  entre la fuente de radiación y el receptor; entonces:

$$L_D = 20 \log s$$



Mc/s.  
 POTENCIA DE PERDIDA EN REFLEXION

FIG. 8

**ABSORCION IONOSFERICA:**

La absorción ionosférica LA, depende de varios parámetros como son: Número de manchas solares, ángulo zenith solar, estación, frecuencia de operación, girofrecuencia y ángulo de radiación.

La dependencia del ángulo solar con el zenith X y el número de manchas solares R puede ser expresada en la siguiente fórmula (empírica):

$$I \approx (1 + 0,0037 R) (\cos 0,881 X)^{1,3}$$

I Absorción

R = Número de manchas solares

X = Angulo zenital sobre

(Tomado de Ionospheric Radio Propagation)

por Davies.

**POLARIZACION Y DESVANECIMIENTO PERMITIDOS:**

Las consideraciones hechas sobre las posibles pérdidas han sido a base de asumir que la señal no tiene variaciones, pero en la realidad al nivel de seguridad es preciso añadir a las pérdidas anotadas, otras que al ser consideradas, incrementarán necesariamente la potencia que debe ser radiada por el transmisor; valores para varios tipos de servicio han sido dados por CCIR y lo podemos resumir en la siguiente tabla. (tabla I).

**GANANCIA DE ANTENA:**

Este factor debe tomarse muy en cuenta en el cálculo de las pérdidas y puede evaluarse de acuerdo a las características de la antena a usarse, puede definirse como la relación de la in-

TABLA I

	SERVICIO			
	TELEGRAFIA F.S.K. 50 BAUDS <i>99.99% de PROTECCION</i>	V.F.T. 100 BAUDS Modulación de 2 tonos <i>99.99% de PROTECCION</i>	I.S.B. CALIDAD COMERCIAL <i>UN CANAL 90% de PROTECCION</i>	TELEFONIA BUENA <i>DOS CANALES 90% de PROTECCION</i>
	RELACION DEL PICO DE LA SEÑAL RF SOBRE RUIDO EN UNA BANDA DE 6 kc.	- 2 db.	- 5.3 db.	26 db.
DESVANECIMIENTO PERMITIDO	32 db.	26 db.	21 db.	21 db.
VALOR MEDIO DEL PICO DE LA SEÑAL SOBRE EL RUIDO EN UNA BANDA DE 6 kc.	30 db.	20.7 db.	47 db.	49 db.

tensidad de la señal que radía una antena en la dirección de su lóbulo principal con la intensidad que produciría un radiador isotrópico, cuando están alimentados con la misma potencia.

#### PREDICCIONES DE RUIDO RADIO ELECTRICO:

El factor, quizá más importante en cualquier sistema de comunicaciones es el ruido, pues, él, determina la potencia de los transmisores y la sensibilidad de los receptores.

El ruido interno radioeléctrico puede tener varios orígenes como, por ejemplo: resistencias, tubos electrónicos, cambios de temperatura, perturbaciones atmosféricas, maquinarias eléctricas, etc., etc.

El ruido interno de los receptores es el que predomina en sistemas que operan sobre los 300 Mc/s. En la alta frecuencia (3-10 Mc/s) el ruido galáctico y el atmosférico dan el nivel de ruido en lugares en los cuales no se encuentran ruidos producidos por el hombre. Es con esta clase de ruidos que vamos a trabajar en este capítulo.

La potencia del ruido está en términos de  $F_n$ , que es definido como la potencia de ruido que se obtiene de una antena sin pérdidas, expresada en decibeles, sobre el factor  $KT$ , donde  $K$  es la constante de Boltzman's y  $T$  es la temperatura de referencia 288.39 y que es el ruido generado en un ancho de banda unidad por una fuente térmica que se encuentra a la temperatura  $T$

Si asumimos que la potencia del ruido es proporcional al ancho de banda (en ciclos por segundo) tendremos que la potencia



cia total ( Pn en decibelios sobre un Watio) obtenible -  
 en los terminales de una antena sin pérdidas está dado por:

$$P_n = F_a + B - 204 \frac{dB}{W}$$

$$B = 10 \log b \quad 204 = 10 \log K T_o \quad b = \text{ancho de banda}$$

Se debe anotar que se ha asumido que el ruido llega a la antena omnidireccional.

El ruido en cualquier punto de la tierra depende de los siguientes puntos :

- a) Localización geográfica
- b) Tiempo del día
- c) Estación del año
- d) Frecuencia de operación
- e) Ancho de banda del sistema de recepción.

#### DETERMINACION DEL RUIDO EN EL ECUADOR:

Para el caso particular del Ecuador, el estudio del ruido puede basarse en el informe No. 65 del CCIR, el cual indica las predicciones del ruido para las diversas horas del día y épocas del año, en los diferentes puntos de la tierra.

La representación del ruido en el informe anotado ha sido realizado estableciendo los diversos niveles medios probables en términos de potencia de ruido para un ancho de banda de 2 Kc/s, en lugar de indicarle en función de las intensidades de señales mínimas necesarias para asegurar las comunicaciones radioeléctricas durante el 90 % del tiempo en presencia de ruido atmosférico.

Es necesario anotar que para el caso de recepción de señales

TABLA II

DETERMINACION DEL RUIDO PROBABLE EN ECUADOR

Período del año	Horas del día	Fa	En db	1 uv/m
		db con relación a KTB	Mc/s Ancho Bda 1 Kc/s	Mc/s Ancho Bda 3 Kc/s
1	2	3	4	5
Diciembre-Enero y Febrero	00/04 y 20/24	75	+ 20	+ 23.2
	04/08	65	+ 10	+ 13.2
	08/12	30	- 13	- 9.8
	12/16	50	+ 5	+ 8.2
	16/20	70	+ 15	+ 18.2
Marzo-Abril y Mayo	00/04 y 20/24	75	+ 20	+ 23.2
	04/08	60	+ 12	+ 15.2
	08/12	30	- 13	- 9.8
	12/16	40	- 5	- 1.8
	16/20	65	+ 18	+ 21.2
Junio-Julio y Agosto	00/04 y 20/24	80	+ 25	+ 28.2
	04/08	65	+ 10	+ 13.2
	08/12	30	- 13	+ 9.8
	12/16	45	0	+ 3.2
	16/20	70	+ 15	+ 18.2
Septiembre-Octu- bre y Noviembre.	00/04 y 20/24	90	+ 34	+ 37.2
	04/08	75	+ 25	+ 28.2
	08/12	60	+ 12	+ 15.2
	12/16	60	+ 12	+ 15.2
	16/20	80	+ 28	+ 31.2

Fa = Potencia de ruido procedente de una antena corta, vertical, conectada a tierra, sin pérdidas, expresada en db con relación a la potencia de ruido término que se obtendría en la antena si ésta se hallase a una temperatura determinada T.

E<sub>n</sub> = Valor cuadrático medio de la intensidad de campo para una anchura de banda de 1 Kc/s. y 3 Kc/s. en db por encima de 1 uv/m.

Para una banda de recepción de 3 Kc/s, los valores establecidos en la columna 4 han sido aumentados en 3.2 db.

para la radionavegación se necesita poseer un ancho de banda de 3 Kc/s.

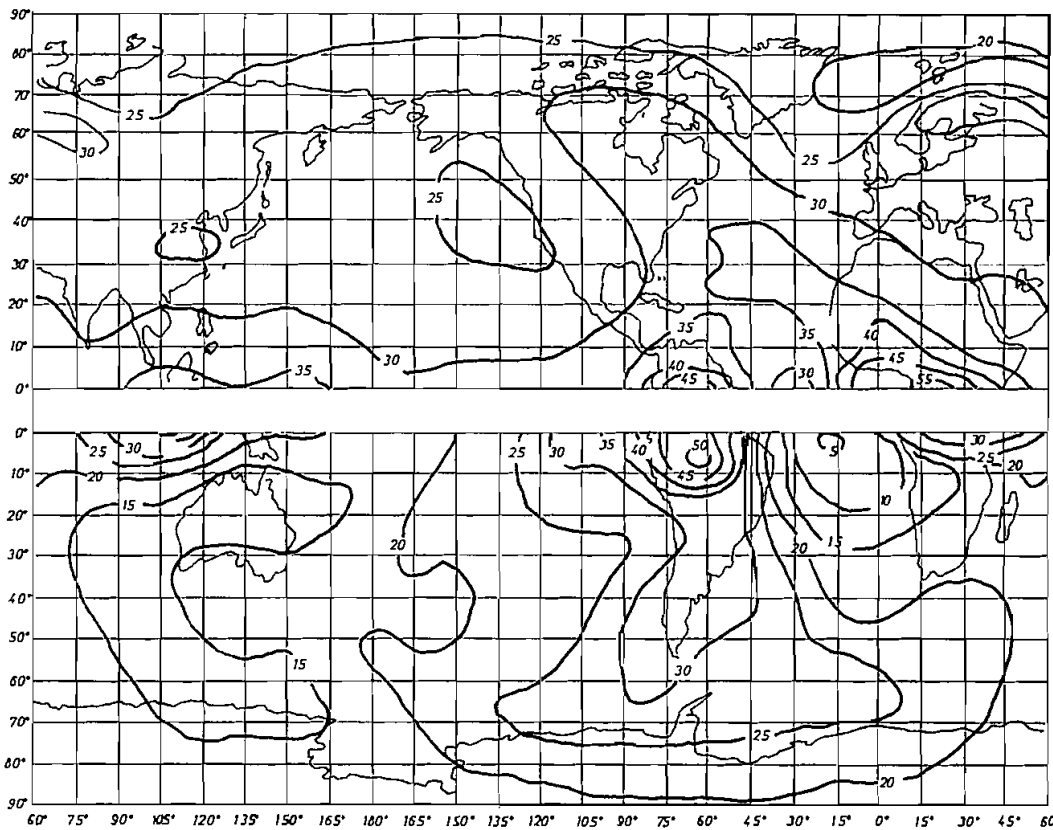
En el cuadro incluido en la presente sección están indicados los valores aproximados del parámetro básico FA para definir el ruido. (Ver Tabla II).

Es recomendación de la OACI que cualquier planificación debería hacerse sobre valores, medios anuales de ruido que permitan proporcionar resultados aproximados con los cuales adoptar los correspondientes niveles de intensidades de campo de las señales.

En el cuadro podemos obtener valores del parámetro FX en los diferentes meses del año, para una frecuencia de 6 - Mc/s y un ancho de banda de 3 Kc/s, pero es posible interpolar para otras frecuencias y para otros anchos de banda. Los valores antes mencionados pueden ser obtenidos de mapas mundiales como el presente. (Fig. 9).

#### DISEÑO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL ENLACE H. F. QUITO-GUAYAQUIL.

Para determinar las características del equipo a usarse, podemos seguir los siguientes pasos:



MAPA MUNDIAL DEL RUIDO  
fig. 9

a) Estimación de la capa en la que se realizará la reflexión de la onda.

Como la distancia entre Quito y Guayaquil es de 270 Km., es menester usar la capa F2 para que refleje nuestra señal y en un solo salto llegue a la estación receptora, la altura aproximada de la capa F2 es de 320 km.

b) Determinación de la frecuencia.

Como paso previo es necesario determinar las coordenadas del punto medio, esto es, conociendo la longitud y la latitud máxima, podemos averiguar un punto que esté situado en el centro de un rectángulo cuyos lados sean la latitud y la longitud.

Para el caso Ecuador tenemos:

Latitud Cuenca - Tulcán  $02\ 53' + 00\ 9' = 0302025$

Longitud Salinas - Tiputini  $80\ 58\ W - 75' 31W = 05^\circ 27'$

Latitud media  $\cong 02\ 53'S + \frac{1}{2} (03\ 02') = 01^\circ 22' S$

Longitud media  $= 75^\circ 31W + \frac{1}{2} (05^\circ 27') = 78^\circ 14W$

Con estos datos recurrimos a mapas de la máxima frecuencia usable como el que se ve en las figuras , que lo he puesto como ilustración; pues, para cualquier predicción, acudimos a mapas para los diferentes meses del año y tomamos los diferentes valores con lo cual podemos hacer un cuadro como el siguiente. (Tabla III).

Es necesario indicar que todos estos mapas han sido elabora -

dos por estaciones de sondeo e investigación ionosférica re-  
gados por todo el mundo y que los publica periódicamente el -  
National Burean of Standars.

(Se necesita un conjunto completo de éstos, a través de al-  
gún tiempo), de acuerdo al tipo de predicciones que se nece-  
sitan.

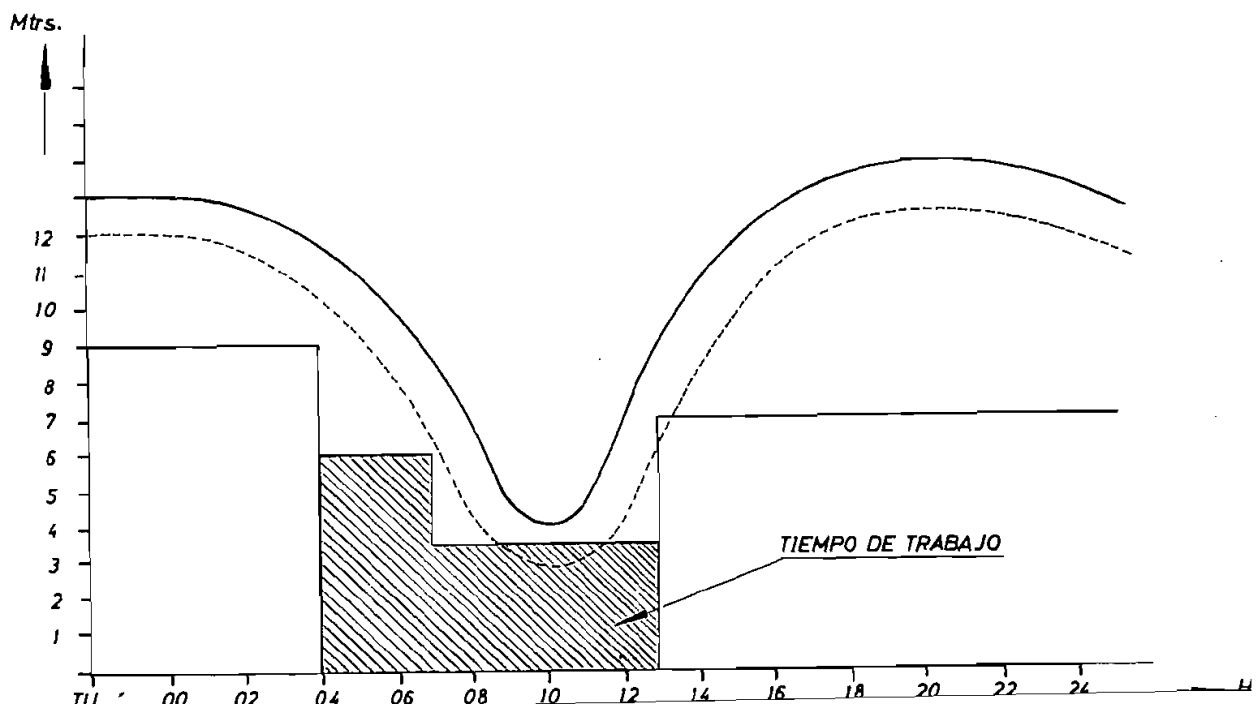
TABLA III

Valores de M.F.U. para las distintas horas del día, durante  
el mes de Marzo de 1967

VALORES DE MFU PARA LAS DISTINTAS HORAS DEL DIA, DURANTE  
EL MES DE MARZO DE 1967

TABLA III

HORA	00	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22
MFU	13.2	13.1	12.5	9.8	6.8	4	7.2	11.7	12.5	13.2	13.8	13.8

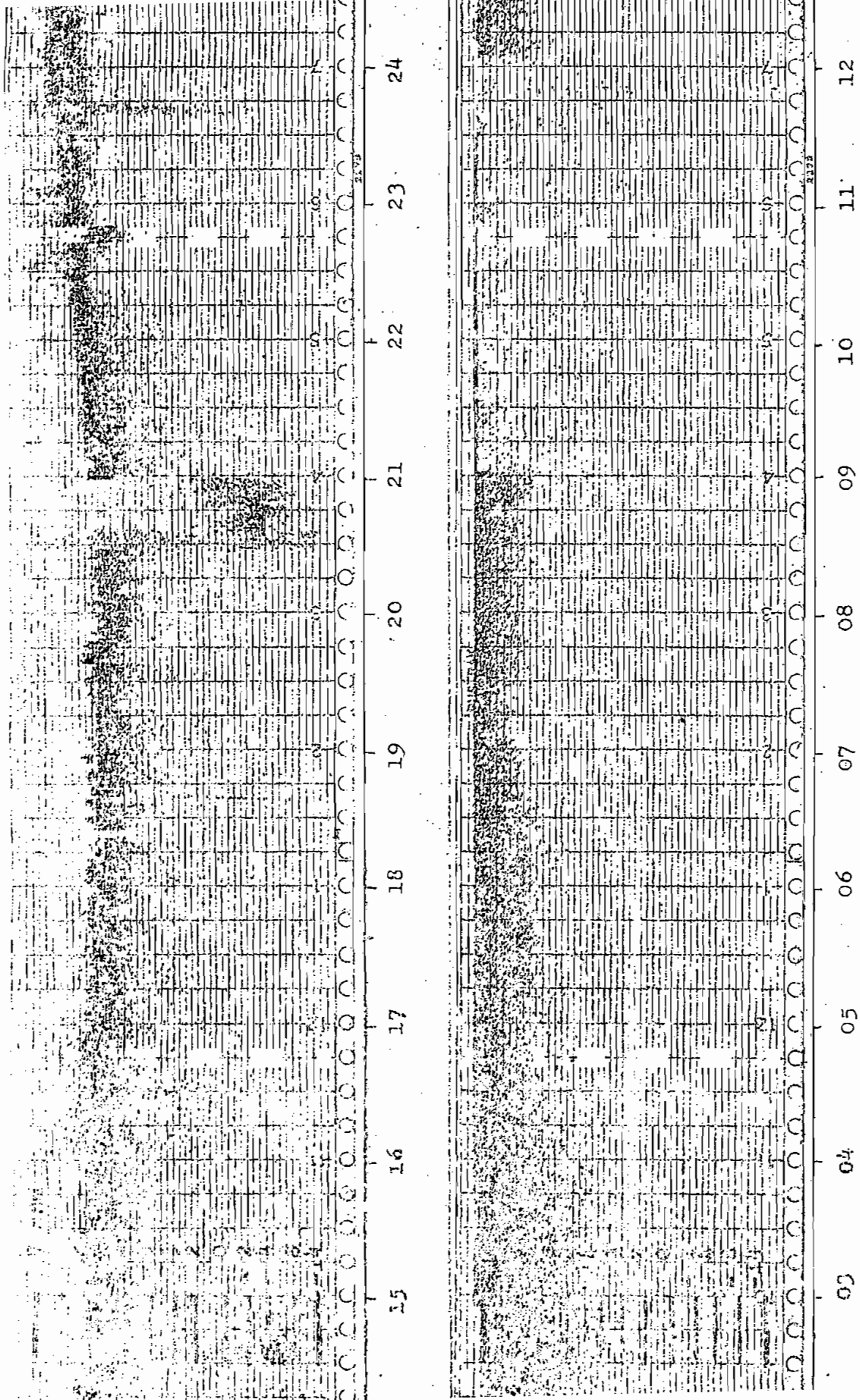


Analizando el gráfico, podemos observar que para dar una protección del 100% al sistema, la frecuencia de trabajo debería estar variando continuamente pero como, esto obviamente, no puede suceder, tomamos valores promedios que en este caso serían los siguientes:

- a) Para el intervalo entre los 00 y 04 T.U. podríamos usar una frecuencia de 6 Mc/s.
- b) Para el intervalo entre los 04 y las 15 horas, una frecuencia de 3 Mc/s podría darnos una buena confiabilidad.
- c) Desde las 15 horas hasta las 24, sería lo más correcto la frecuencia de 9 Mc/s.

Una vez hechas estas consideraciones, debemos saber el horario de utilización del circuito; en nuestro caso podemos adelantar que este será utilizado entre las 18 y las (TU) 03. Haciendo consideraciones lógicas podemos observar que si obtenemos una frecuencia entre 6Mc/s podríamos obtener confiabilidad del 90%, porcentaje que es considerado como bueno por el CCIR.

Como comprobación de ésta, la unidad de búsqueda de frecuencia en el último mes de marzo realizó mediciones en la frecuencia de 5.325 y cuyo resultado puede observarse en el gráfico que adjunto; las deducciones que se pueden sacar del gráfico mencionado es que la frecuencia antes citada nos daría un nivel de señal casi constante durante el tiempo de trabajo; adelantando, por lo tanto, que el circuito podría ser calificado como confiable, además, sería necesario tener la posibilidad de trabajar en la frecuencia de 3 Mc/s para la di -



GISTRO DE LA EVOLUCION DEL NIVEL DE SEÑAL DE QUITO EN 5325 Kc/s OBSERVADO EN EL AEROPUERTO DE GUAYA  
Y 14 DE ABRIL DE 1967, DE 1400 A 1400 (TU) (En la línea telefónica de salida)



versidad de frecuencia.

## ESTIMACIONES DE LAS PERDIDAS

### PERDIDAS POR ABSORCION

Mediante el nomograma M determinamos el índice I y procedemos de la siguiente manera para  $X = 76$  y  $R = 100$  (tomamos este valor por considerarse el más desventajoso y el máximo aconsejable); para estos valores el índice I es 0,4; con este valor recurrimos al mapa mundial de la girofrecuencia y encontramos el valor que aplicamos a la fórmula:

$$\frac{P}{I} + \frac{P}{H} = 6 + 0,9 = 6,9$$

Este valor es la frecuencia de movimiento de los iones en determinada capa y determinada altura, este valor modifica a la frecuencia de trabajo en cuanto se refiere al índice de absorción, y la frecuencia combinada en esta forma se denomina frecuencia efectiva. Aplicando la fórmula :

$$I = (1 + 0,0037 R) (\cos 0,881 X)^{1,3}$$

(Tomado de Ionospheric Radio Propagation) Davies Kenneth, -  
Pág. 298

Determinamos: que para un salto en la capa F2 un número de manchas solares de 100 y un ángulo de radiación 76, las pérdidas por absorción son: 5 decibelios.

### PERDIDAS POR REFLEXION DE LA TIERRA

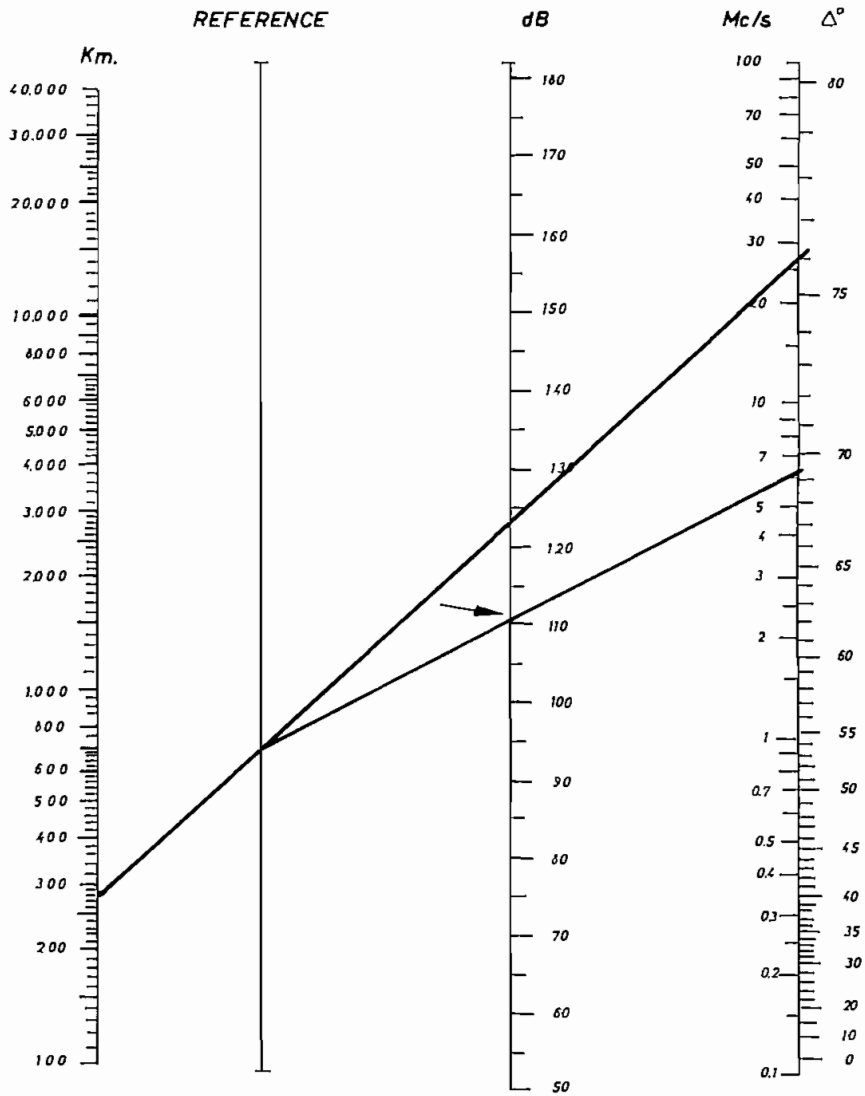
De la figura (7-2a) que ha sido explicada previamente obteniendo 8 decibelios.

### PERDIDAS POR DISTANCIA

Utilizando el nomograma de la figura 10 que ha sido trazado considerando que las pérdidas por distancia son directamente proporcionales a ésta, podemos calcular el valor de 112 db.

TOTAL DE PERDIDAS = 5 + 112 + 8 = 125 db.

Fig. 10



MONOGRAMA PARA LA DETERMINACION DE LAS PERDIDAS EN LAS TRASMISIONES DEBIDA A LA ATENUACION DE DISTANCIA CON UN RADIADOR ISOTROPICO

### GANANCIA DE ANTENA

Supongamos que utilizamos una antena tipo dipolo que nos daría una ganancia de 2,15 db.

Las pérdidas que deberían ser consideradas entonces equivaldrían a 122 db.

### RELACION SEÑAL/RUIDO REQUERIDAS

De la tabla 1 mostrada anteriormente, encontraremos que el valor requerido de relación Señal/Ruido es de 26 db. para Banda lateral independiente ( I.S.B.) a este valor debemos añadirle un margen de seguridad para comprender las variaciones rápidas de señal que fueran explicadas anteriormente:

$$26 + 3 = 29 \text{ db.}$$

### POTENCIA DE RUIDO

Aplicando el mapa mundial del parámetro  $F_a$  al punto medio del Ecuador encontramos aproximadamente un valor de 45.

$$P_n = F_a + 10 \log b - 204$$

$$P_n = 45 + 10 \log 6000 - 204$$

$$P_n = 45 + 10 \times 3.78 - 204$$

$$P_n = 45 + 37.8 - 204$$

$$P_n = 83 - 204$$

$$P_n = 121 \text{ db/2W}$$

### POTENCIA NECESARIA EN EL RECEPTOR

$$P_{\text{receptor}} - P_{\text{ruido}} = 29 \text{ db} \quad (\text{NORMAS CCIR})$$

$$P_r = 29 + P_{\text{ruido}} \quad 29 - 121 = -92 \text{ db}$$

### POTENCIA EN EL TRANSMISOR

$$P_r = P_r + P_{\text{er}}$$

$$Pr = -92 + 125 = 33 \text{ db/1W}$$

$$33 \text{ db} = 10 \log \frac{P2}{P1}$$

$$3,3 = \log \frac{P2}{P1}$$

$$P2 = \log 3,3 \times \text{Watio}$$

$$P2 = 200 \text{ Watios}$$

Para disminuir la potencia necesaria en el transmisor podemos usar una antena que nos de alguna ganancia; como consideramos un dipolo que tiene una ganancia de 2,15 db.

$$\text{Pérdidas} = 125 - 1,25 \text{ db.} = 122,25 \text{ db.}$$

$$Pt = -92 + 122,85 = 30,85 \text{ db.}$$

$$Pt = 30,85 \text{ db/1W}$$

$$30,85 \text{ db} = 10 \log \frac{P2}{P1}$$

$$3,085 \times 1 \text{ Watio}$$

$$P2 = \log^{-1} 3,085 \times 1 \text{ WATIO}$$

$$P2 = 1220 \text{ Watios}$$

Esta potencia podría ser mejor aprovechada si usáramos una antena que nos dé mayor ganancia, pero necesitamos antes un análisis del espacio de que disponemos para su levantamiento.

#### PLANIFICACION DE LA ESTACION TRANSMISORA

El proyecto de un radio enlace no estaría completo si no se anticipara la disposición y los requerimientos que debe reunir una terminal de radio con su correspondiente estación transmisora.

Se ha previsto que para el radio enlace que nos ocupa o sea

para Quito y Guayaquil se necesitaría por lo menos 4 canales: de telefonía y 2 de telegrafía lo que podría cobrarse con un equipo de (B.L.I.) Banda Lateral Independiente. En este sistema cada una de las bandas puede alojar varios canales puesto que en su espectro de frecuencias de 12 Kc/s pueden disponerse dos canales de telefonía y 2 de telegrafía, pudiendo los canales de telegrafía llegar hasta 24 si se usa el sistema de "Telegrafía armónica".

Antes de poder determinar las existencias veamos que podemos obtener en materia de elementos de comunicaciones en comparación con hace unos 10 años.

#### 1) SINTETIZADORES DE FRECUENCIA

Son dispositivos que nos permiten obtener frecuencia hasta aproximadamente 30 Kc/s en pasos de 100 c/s.

Están controlados por un oscilador maestro; estos sintetizadores también aceptan modulación de banda lateral única con un ancho de banda de 6 Kc/s para cada canal en una subportadora de 100 Kc/s, de tal manera que si introducimos una frecuencia de 100 Kc/s modulada en B.L.I. a la salida del sintetizador, podemos obtener una señal también en B.L.I. con un valor de portadora deseado hasta aproximadamente 30 Kc/s.

#### AMPLIFICADORES DE BANDA ANCHA

Anteriormente se usaban transmisores que consistían en gran cantidad de etapas amplificadoras con relativa baja ganancia y la sintonización automática de cada una de ellas era obtenida por medio de servo-motores que formando un puente de

Wheatstone producían un movimiento en el motor cuando el puente se desbalanceaba por el corrimiento de la frecuencia. Hoy se ha superado las dificultades que producían tales sistemas mediante amplificadores distribuidos, que eliminan todas las sintonías de frecuencia con excepción de la última etapa.

#### TRIODOS Y TETRODOS DE GRAN GANANCIA

El que podamos obtener válvulas de alta ganancia hace que necesitemos solamente etapas excitadoras de baja potencia. Además, el medio de que dispongamos filamentos para A.C. hace que las fuentes de poder sean más compactas lo que reduce el costo.

#### SILICONES COMO DIODOS RECTIFICADORES

Han dado como resultado el que los equipos pueden trabajar durante medio tiempo casi sin mantenimiento, debido a su rigidez y su alta resistencia a las sobrecargas.

#### TRANSFORMADORES DE FERRITA DE BANDA ANCHA

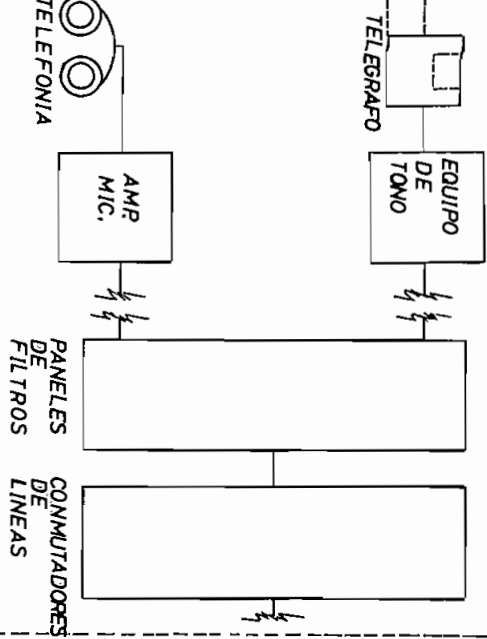
Completamente a prueba de humedad y con capacidad para manejar potencia de 40 Kw., lo que hace posible el diseño relativamente fácil de la etapa de salida de un transmisor.

#### DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ESTACION TRANSMISORA

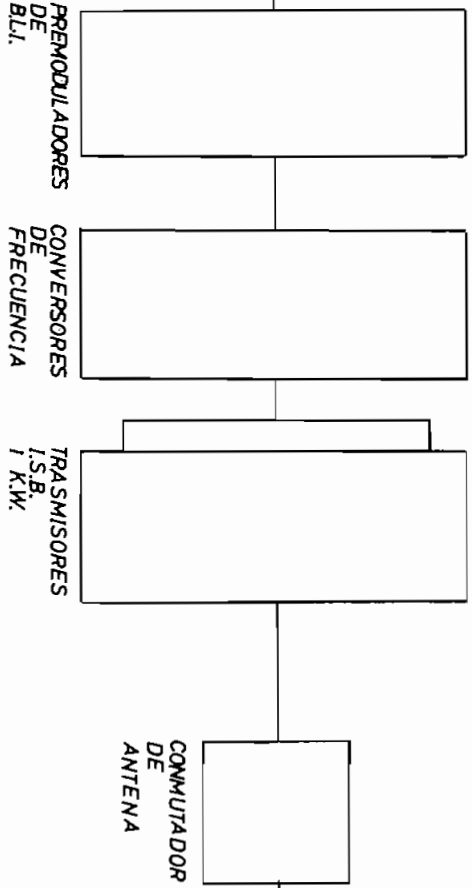
Para nuestro caso tenemos que ajustar la disposición de las diferentes partes del sistema de transmisión, a los locales de que dispone la Dirección de Aviación Civil, y es así como dividiré el sistema en dos partes. El Terminal y la estación Transmisora.

En el terminal irían alojados:

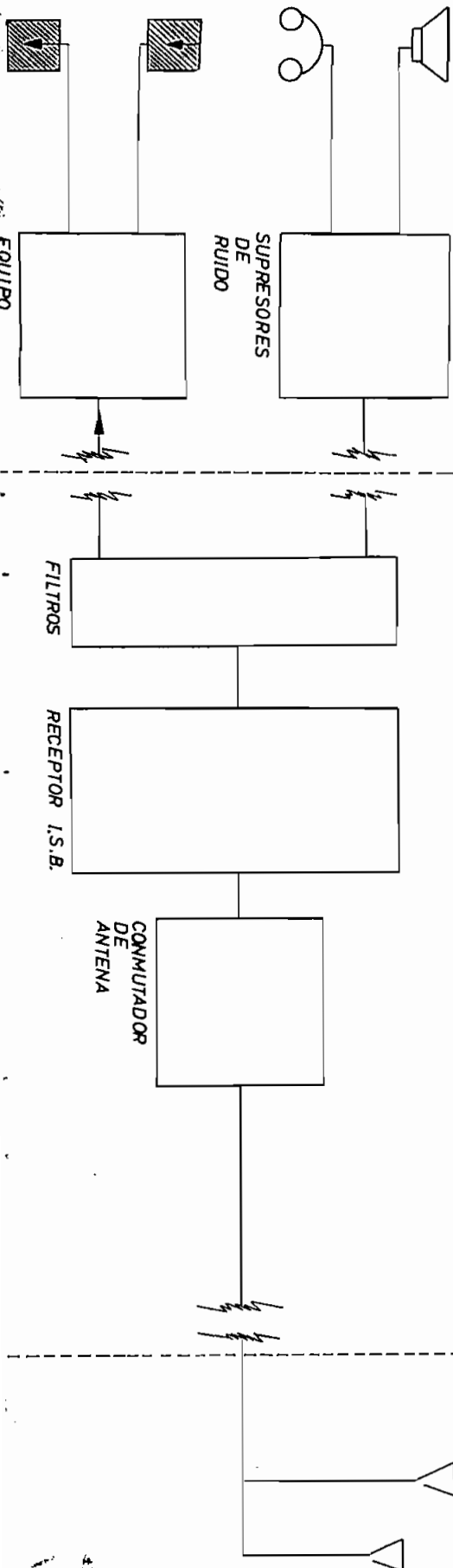
TERMINAL



TRANSMISORA



RECEPTORA



- a) Los Teleimpresores con sus respectivas fuentes de poder para los canales de telegrafía;
- b) Los micrófonos para los telefónicos;
- c) Compresores;
- d) Amplificadores de micrófono
- e) Supresores de ruido.

En la transmisora estarían alojados:

- a) Los premoduladores de Banda Lateral Independiente
- b) Los excitadores de frecuencia
- c) Las unidades de potencia de radiofrecuencia
- d) El multiacoplador de antena y una antena "fantasma".

#### SALA DE CONTROL

El corazón de esta sería el sintetizador de frecuencia, controlada por un oscilador maestro de alta precisión, en el cual podríamos seleccionar la frecuencia de H.F. que deseamos, en pasos hasta de 100 c/s.

La señal dentro del sintetizador es modulada por una subportadora de 100 Kc/s. generada en una unidad moduladora, la salida del sintetizador es pequeña y debería ser amplificada por medio de un amplificador de banda ancha para luego ser alimentada en las etapas de potencia del transmisor.

Ultimamente se han desarrollado unidades moduladoras que contienen lo que se ha dado por llamar MODULOS, cada uno de los cuales es capaz de producir una clase de modulación. Uno de los módulos que está siendo muy empleado sobre todo en Europa es el que produce un tono de diferente frecuencia de acuerdo con la señal, teniendo como base una frecuencia determinada =



que puede ser generalmente de 2 Kc/s o 4 Kc/s. Este sistema es equivalente al denominado FREQUENCY SHIFT KEYING, el tono de frecuencia alterada puede ser alojada en una banda lateral dejando la otra para audio u otro sistema de telegrafía.

Este sistema descrito ha sido llamado "TELEGRAFIA ARMONICA y tiene la enorme ventaja que en un solo canal telefónico pueden alojarse hasta 24 canales telegráficos.

El oscilador maestro requerido por los sintetizadores es generalmente un equipo en el cual se encuentran tres osciladores, dos de los cuales son usados como principal y de reserva a los cuales está acoplado un dispositivo de cambio automático que opera si la frecuencia del oscilador que está siendo usado se aparta de los límites aceptables para lo cual compara con la frecuencia del tercer oscilador. La salida del oscilador maestro es alimentada a todos los sintetizadores. El costo de estos implementos está justificado, puesto que con un solo aparato controlamos todas las frecuencias de la estación consiguiendo de esta forma precisión y seguridad.

#### LA SALA DE TRANSMISION

En la sala de transmisión se disponen los transmisores, que en el sistema propuesto tiene el nombre de "amplificadores lineales con control de frecuencia automática". Estos amplificadores usan etapas de banda ancha hasta la etapa final, la cual es sintonizada por medio de servo-mecanismos.

El alimentador de salida está provisto de un reflectómetro para indicar la potencia incidente y reflejada en la antena

y que cortará el funcionamiento del transmisor cuando la relación de ondas estacionarias sea elevada.

Es necesario disponer en esta sala un sistema multiacoplador de antena. Podría usarse un sistema de acoplador que ha sido adoptado últimamente a las instalaciones francesas y que ofrece un interesante arreglo para asegurarse que el transmisor - esté conectado solamente a una antena a la vez, pero que también tenga acceso a todas ellas o a una "antena fantasma". La forma básica de este arreglo ha sido presentado en la figura 11 siendo necesario anotar que está controlado remotamente.

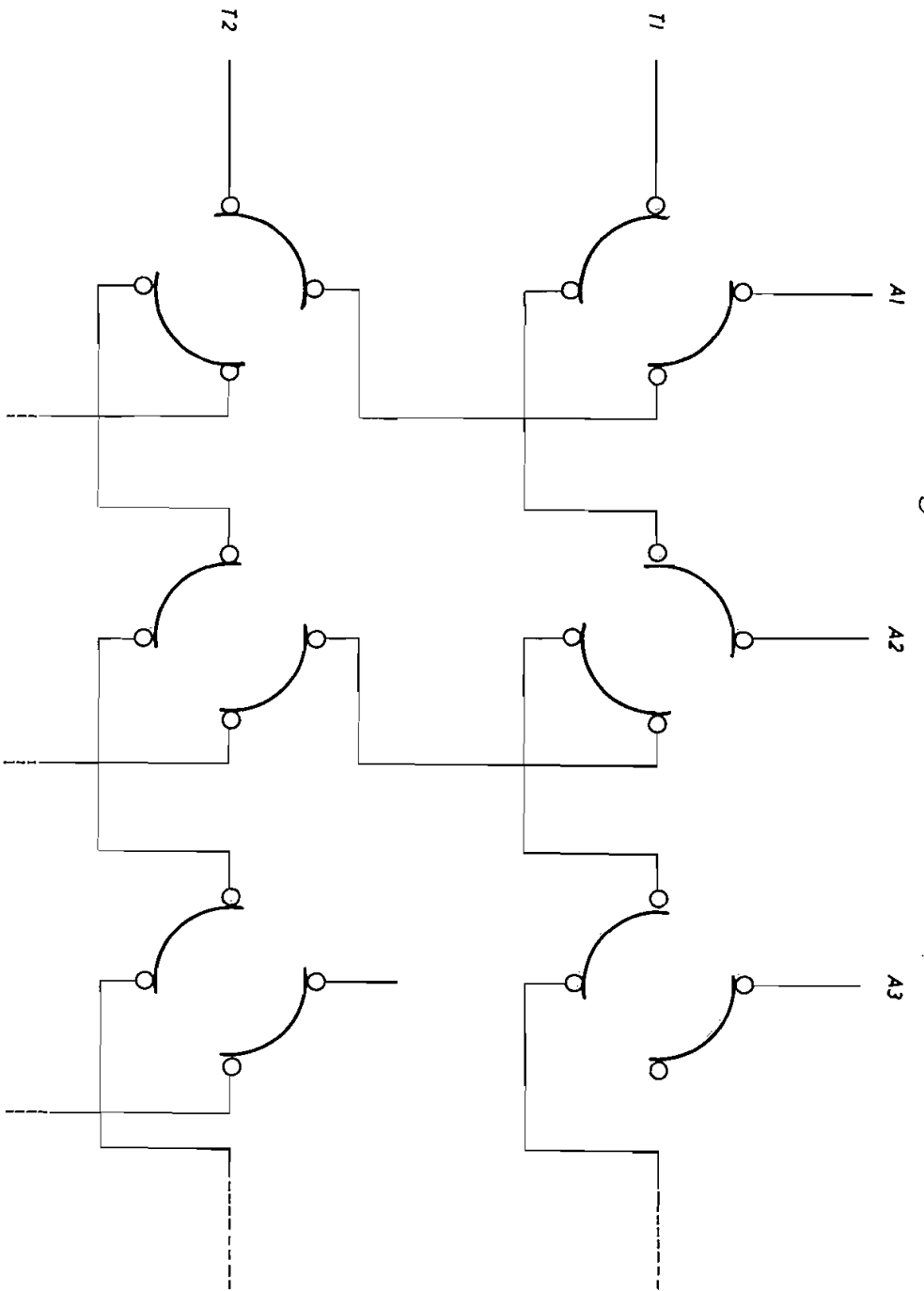
Para acoplar la impedancia de desbalanceadas  $50 \Omega$  a  $600 \Omega$  balanceados de un sistema de antenas, por ejemplo, podemos usar transformadores de ferrita de banda ancha.

Una de las ventajas que tienen estos sistemas es que puede ampliarse la potencia solamente añadiendo otra etapa de amplificación y lógicamente aumentando la capacidad de la fuente de poder.

#### FACILIDADES DE CONTROL

El control de la estación puede ser realizada ya sea desde la estación de control o desde un punto remoto, en este último caso un aparato de control remoto se necesitaría y haría factible el que un solo hombre en la estación terminal pudiese hacer funcionar la instalación con todas sus alternativas. En el cuarto de control debe disponerse de un sistema de medición para probar la potencia de salida; los paneles de los equipos

Fig. 17



SISTEMA MULTIACOPLADOR DE ANTENA

deben estar dotados, además, de lámparas indicadoras de fallas. Además, debe disponerse de un panel con sus respectivos correctores lo que posibilite a cualquier transmisor conectarse a una "antena fantasma".

Cualquier cambio de frecuencia de operación puede ser realizado en los diferentes controles del sintetizador de frecuencia y cuando esto ocurre el operador debe tener posibilidad de cortar las líneas de tráfico, sintonizar, acoplar la carga y una vez que haya hecho esto, reinsertar nuevamente para el servicio.

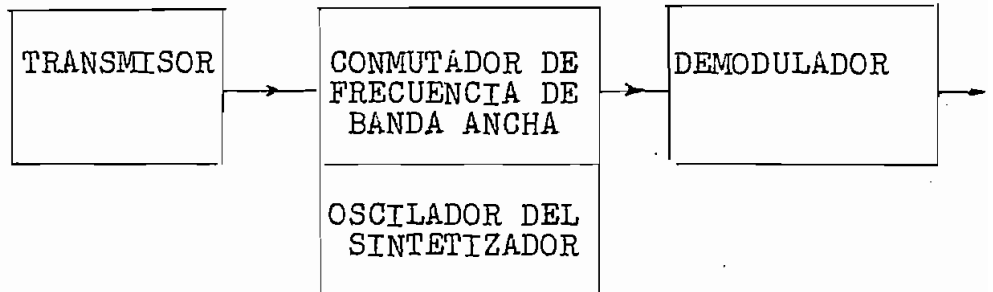
#### FACILIDADES DE MONITOREO

Es imprescindible que la sala de control tenga posibilidad de supervisar el funcionamiento de cada canal de transmisión antes de ponerle en servicio. Para este cometido es necesario realizar tres cosas:

- a) Control de la frecuencia radiada;
- b) Control de los productos de intermodulación
- c) Control de la potencia de salida.

La frecuencia y los productos de intermodulación son chequeados, conectado el transmisor al llamado "conmutador de frecuencia de banda ancha", que contiene un oscilador que es en definitiva un sintetizador del mismo tipo que usamos en las etapas anteriores. Este sintetizador es colocado manualmente en la frecuencia nominal de la portadora. A la salida de este conmutador es conectado un demodulador sintonizado a los tonos de verificación empleados, este demodulador tiene un sistema de filtros de banda angosta, si detecta los tonos es prueba de que la frecuencia esté correcta. El procedimiento indicado pue-

de graficarse en la siguiente forma:



La potencia de salida es indicada en un medidor que, por razones de utilidad, debería estar localizada en el panel de control remoto.

## FACILIDADES DE MANTENIMIENTO

Es necesario proveer de posibilidades al personal de mantenimiento para que pueda operar el sistema de transmisión independiente de la sala de control, con este fin, los tableros de repartición deben disponer de puntos de medición y, además, sistemas de control para poder encender y apagar el equipo así como también de una "antena fantasma" para poder cargar debidamente a los transmisores, para pruebas de ajuste. De lo anteriormente expuesto, se puede notar que el sistema debe ser dividido en dos partes: una independiente de la otra, en las cuales pueden operar de acuerdo a sus necesidades, el operador de radio y el técnico de mantenimiento sin que las obligaciones de uno, imposibiliten las necesidades del otro. En el gráfico se puede notar de una manera global la disposición del equipo transmisor, y receptor con sus componentes básicos.

## ESTACION RECEPTORA

La estación receptora no ofrece en general ninguna complicación y lo que podríamos reseñar al respecto sería lo siguiente:

- a) La localización del campo de antenas de recepción debe ser diferente de la correspondiente al sistema de transmisión, con el fin de evitar influencias indeseables entre sí;
- b) El receptor por razones de economía debe ser de frecuencia variable, puesto que puede servir como sustituto en el caso

en que otro servicio quede sin funcionamiento;

c) Las facilidades de control y de mantenimiento enunciadas en la estación transmisora son necesarias en la receptora.

#### SUPRESORES DE RUIDO

Es en realidad un amplificador provisto de realimentación. Deja pasar las frecuencias vocales y en los momentos de pausa de la misma, bloquea las señales perturbadoras y de ruido. Este componente debe ser opcional, es decir, que puede ser incluido y retirado del sistema de recepción, de acuerdo con la cantidad de ruido que exista en las diferentes horas del día.

El aparato debe conectarse entre la salida de baja frecuencia del receptor y la carga externa del mismo.

#### LINEAS DE TRASMISION

Para la frecuencia determinada, es suficiente usar dos líneas abiertas que ofrecen una impedancia característica de  $600 \Omega$  balanceados.

#### ANTENAS DE TRASMISION

Debido a la falta de espacio y al ángulo elevado de radiación que necesitamos en el caso en estudio, es menester usar un dipolo sencillo como antenas, para la transmisión, y procederemos a calcular sus dimensiones así como la altura ideal de instalación.

#### CALCULO DE LA ALTURA DE ANTENA

El hecho de que las ondas electromagnéticas reflexiones y

---

refracciones en la tierra con las consecuentes pérdidas y reforzamientos de la señal, hace que la altura sea crítica y que tenga que ser calculada de acuerdo con el ángulo de radiación deseado.

Una fórmula que presenta "Electronio designers Handbook", pág. 21-9 es:

$$\text{sen } \beta = \frac{n \lambda}{4 H}$$

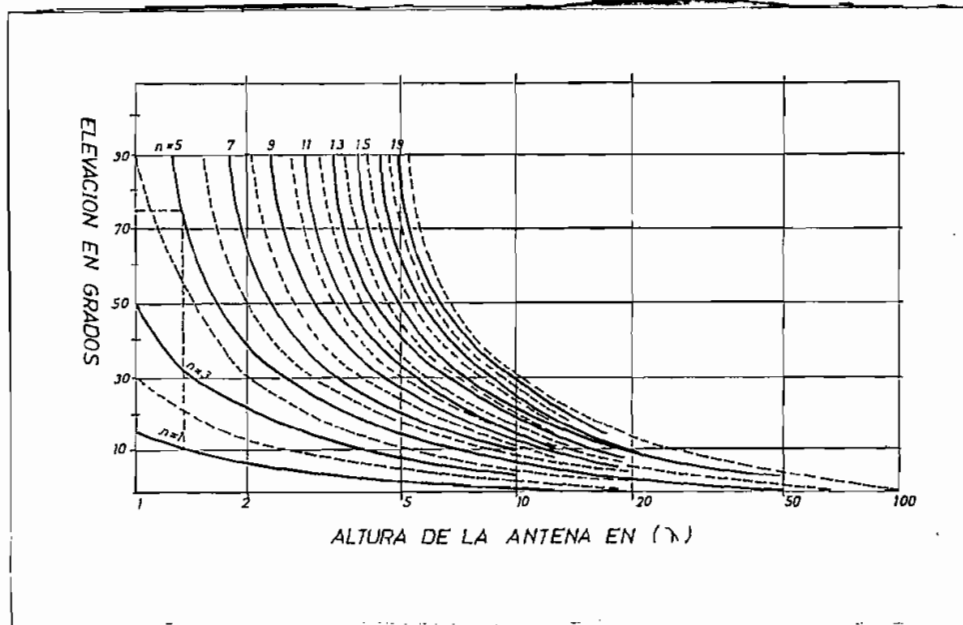
En donde: H = altura de la antena

$\lambda$  = longitud de onda

B = ángulo de radiación

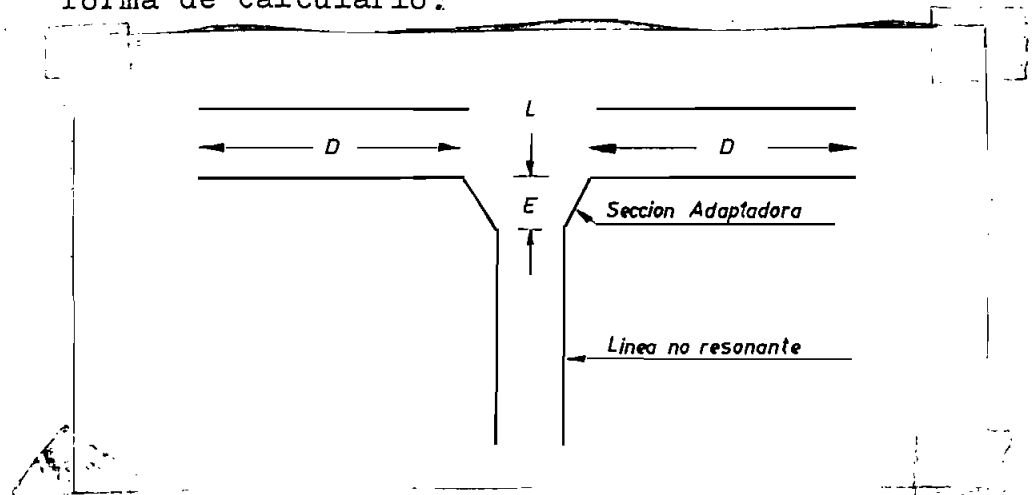
n = número que dá un máximo de radiación cuando es impar y viceversa.

De la fórmula anterior se puede elaborar el siguiente gráfico:





La longitud del dipolo deberá ser calculada en cuanto se tenga calculada la diferencia exacta de operación, puesto que depende de la Dirección General de Comunicaciones el asignarla, en todo caso conviene adelantar conceptos en la forma de calcularlo:



Las constantes para el Dipolo pueden ser calculadas mediante las siguientes fórmulas:

$$I = \frac{142.46}{F} \text{ (metros)}$$

F (Megaciclos)

$$D = \frac{53.34}{F} \text{ (metros)}$$

F (megaciclos)

$$E = \frac{44.98}{F} \text{ (metros)}$$

F (Megaciclos)

Referencia :  
The RADIO HANDBOOK  
(autor)

Siendo L la longitud de la antena y D, E las magnitudes indicadas en la figura.

Como en la instalación usaremos una línea de transmisión de 600  $\Omega$ , la separación S debe ser aproximadamente 75 veces el diámetro del hilo empleado en la línea de transmisión. Para la frecuencia de 5325 aconsejada y probada por la U B F

el pasado mes de Marzo, tendríamos:

$$L = \frac{142.46}{5.325} = 26,7 \text{ metros}$$

$$D = \frac{53.34}{5.325} = 10,2 \text{ metros}$$

$$E = \frac{44.98}{5.325} = 8,4 \text{ metros}$$

#### ANTENAS DE RECEPCION

La eficiencia de las antenas de recepción dependen principalmente del ruido atmosférico que alcanza valores bastante altos, especialmente durante la noche. Si se utiliza antenas de recepción con pronunciada direccionalidad y si la dirección de la señal a recibirse coincide con el lóbulo principal, se obtendría una mejora en la relación Señal/Ruido.

Si las direcciones del lóbulo principal y de la señal no coincidieran, no se tendría ninguna mejora y antes al contrario, vendría a ser perjudicial para la relación señal/ruido.

Una antena róbica que durante la noche da sólo unos pocos decibelios de ganancia con respecto al dipolo, resultará muy grande y sobre todo costosa, puesto que su longitud (aproximadamente - 300m) supone gran extensión de terreno y varios metros de mástil, lo cual le hace extremadamente inconveniente para nuestros propósitos.

Por las razones anotadas, es menester usar dipolos de banda ancha, lo cual, además, hace que no necesitemos un grupo de antenas para las diferentes frecuencias que se van a usar en las di-

ferentes frecuencias que se van a usar en las distintas horas del día.

#### ALGUNAS RECOMENDACIONES Y MEDICIONES SOBRE LOS EQUIPOS DE RADIO ESTABLECIDOS POR EL C. C. I. R.

Antes de poder establecer las características técnicas del equipo a usarse es conveniente conocer las recomendaciones que el comité Consultivo Internacional de Radio Comunicaciones hace con tal objeto.

Tres conceptos que son de gran utilidad para poder catalogar la bondad de un radio circuito son: ANCHURA DE BANDA NECESARIA.- ANCHURA DE BANDA OCUPADA.- RADIACION FUERA DE BANDA. ANCHURA DE BANDA OCUPADA POR UNA EMISION.- Una anchura de banda de frecuencia tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior se radien potencias medias: iguales cada una a un 0.5 % de la potencia media total radiada por la emisión considerada.

ANCHURA DE BANDA NECESARIA.- Es el valor mínimo de la anchura de banda de frecuencia tal que por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior se radien potencias medias iguales para cada una a un 0.5 % de la potencia media total radiada, bastando este valor mínimo para asegurar la transmisión de la información a la velocidad y calidad requeridas, en las condiciones técnicas dadas.

RADIACION FUERA DE BANDA.- Potencia radiada por la emisión fuera de la banda necesaria. La radiación fuera de banda no comprende las radiaciones en frecuencias distantes, tales como --

las radiaciones no esenciales.

**RADIACIONES NO ESENCIALES.** Es la radiación en una o varias frecuencias situadas fuera de la banda necesaria, cuyo nivel puede reducirse sin influir en la transmisión de la información correspondiente. Las radiaciones armónicas, las radiaciones parásitas y los productos de intermodulación están comprendidas en las radiaciones no esenciales.

**RADIACION ARMONICA.** Radiación no esencial en frecuencias múltiples enteros de las comprendidas en la banda ocupada.

**RADIACION PARASITA.** Radiación no esencial producida accidentalmente en frecuencias que son independientes de la frecuencia fundamental o de las frecuencias que aparecen durante la producción de las frecuencias fundamentales.

**TOLERANCIAS DE LA INTENSIDAD DE LAS RADIACIONES NO ESENCIALES.**

Para transmisiones cuyas frecuencias fundamentales estén comprendidas entre 70 Kc/s y 30.000 Kc/s se apliquen las tolerancias siguientes:

Para cualquier radiación no esencial, el nivel de la potencia media suministrada a la antena deberá ser por lo menos, 40 db. inferior al de la radiación en las frecuencias fundamentales, sin rebasar el valor de 50 mW.

**ESTABILIZACION DE LA FRECUENCIA EN LOS TRASMISORES:**

Para la banda de 4.000 a 29.700 Kc/s y potencia superior a 500 W la desviación de frecuencia permisible es de 15 x 10<sup>-6</sup>.

SENSIBILIDAD DE REFERENCIA Y FACTOR DE RUIDO DE LOS RECEPTORES DE RADIOTELEGRAFIA

Tipo de emisión.- A<sub>3</sub>

Servicio.- Tráfico General

Gama de frecuencias.- 7.6-30 Mc/s.

Sensibilidad (en db de referencia correlación a 7  $\mu$ V ):

Máxima  $\pm$  7.8

Medio  $\pm$  2.8

Mínimo  $\pm$  7.2

Factor de ruido (en db): Máximo 14; Medio 9; Mínimo 5 Ancho-  
ra de banda de referencia.

(en c/s) 1000

SENSIBILIDAD DE REFERENCIA Y FACTOR DE RUIDO DE LOS RECEPTORES DE RADIOTELEFONIA

Tipo de emisión: A 3 b.

Servicio: Fijo

Sensibilidad de referencia (en deb con referencia 4  $\mu$ V )

Max. :  $\pm$  5,6

Medio:  $\pm$  2,6

Mínimo: = 0,4

Factor de ruido en db.

Máximo : 10

Medio : 7

Mínimo : 4

Gama de frecuencias 7,6- 30 Mc/s.

### SELECTIVIDAD DE LOS RECEPTORES

Para estudiar la selectividad es necesario conocer las siguientes definiciones:

**BANDA DE PASO:** la banda de frecuencia limitada por las dos frecuencias para las que la atenuación con relación a la frecuencia más favorecida tiene un valor determinado. En general, este valor es de 6 db., excepto en los receptores radiotelefónicos de alta calidad para los cuales es de db.

**CAIDA EN LOS LIMITES:** a cada lado de la banda de paso, la relación entre:

- a) la diferencia de atenuación obtenida para dos frecuencias situadas fuera de la banda de paso.
- b) la diferencia entre estas frecuencias

**ATENUACION EN LA FRECUENCIA IMAGEN.-** Es la relación entre:

- c) El nivel de la señal en la frecuencia.- Imagen necesaria a la entrada para producir un nivel determinado a la salida de receptor
- d) el nivel de la señal deseada, necesario para producir el mismo nivel de salida.

La frecuencia imagen es igual a la frecuencia de la señal deseada más o menos dos veces la frecuencia intermedia, según que la frecuencia del oscilador local sea mayor o menor que la frecuencia de la señal deseada.

Si el receptor tiene más de un cambio de frecuencia, habrá varias frecuencias imagen, y a cada una de ellas corresponderá cierto valor de la atenuación.

## SELECTIVIDAD DE LOS RECEPTORES EN RADIOTELEFONIA

Tipo de Emisión: A 3 b

Servicio : fijo

Gama de frecuencias(Mc/s) : 1,6-30

Nivel de la señal no deseada (db de atenuación) para un ni-

vel de la señal deseada de † 20 db      Atenuación 90 db

de † 60 db      "      105 db

† 60 db      "      80 db

† 80 db      "      120 db

Todas las disposiciones anotadas, más las que se han enuncia-  
do a través de todo el trabajo nos dan una orientación de las  
características técnicas que deben reunir los equipos a uti-  
lizar y que las podíamos resumir de la siguiente manera:

### CARACTERISTICAS TECNICAS DEL TRASMISOR

Modos de transmisión A1, A2, A3, A3a, A3b, F1 y A3 y F1 si -  
multaneamente.

Rango de frecuencia: 1.5 - 30 Mc/s.

Potencia de salida de radio Frecuencia: 1 KW.

Impedancia de carga de R. F. : 600 ohmios balanceados.

Relación de ondas estacionarias: máximo 1,5: 1

Estabilización de frecuencia      0,0015%

Distorsión lineal: menor que es 6% con 70% de profundidad de  
modulación.

Temperatura de trabajo: Hasta 45°C.

Supresión de portadora en A3b: mayor que 30 db.

Supresión de la banda no deseable mayor que 50 db.

Radiaciones Espureas: Mejor que - 40 db con respecto a la sali-  
da.

- A1 = Modulación de amplitud, telegrafía sin el uso de una - frecuencia de audio.
- A2 = Modulación de amplitud, telegrafía con audio frecuencia.
- A3 = Banda lateral única, portadora reducida.
- A3b = Dos bandas laterales independientes
- A3 = Doble banda lateral
- F1 = Telegrafía "Frequency shift Keying".

#### CARACTERISTICAS TECNICAS DEL RECEPTOR

Rango de Frecuencia 2,5 - 30 Mc/s.

Estabilización de la frecuencia osciladora: menor que 0,1 %

Sensibilidad: mejor que 5 MV con una relación señal/ruído de 10 db.

Selectividad: el receptor debe ajustarse a los valores siguientes:

0,45  $\pm$  0,15 Kc/s

1,3  $\pm$  0,2 Kc/s.

3  $\pm$  0,5 Kc/s.

6,5  $\pm$  0,7 Kc/s.

4,2  $\pm$  0,8 Kc/s.

Relación de imagen:

En el rango de 1,5 - 10 Mc/s mejor que 100 db

10 - 20 Mc/s mejor que 75 db

20 - 30 Mc/s mejor que 40 db

Potencia de salida

3 Watios como mínimo, medida mediante un tono de 400 c/s en la salida del altavoz



## CONEXIONES DE SALIDA

Altavoz de 5  $\Omega$

auxiliares de baja impedancia

Línea de 600

Distorsión no lineal: inferior a 10 %

Nivel de ruido: mejor que -45 db

Precisión de la lectura de escala: mejor que 0.3 %

Todos los requerimientos han sido emitidos en base a las recomendaciones del Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones y contemplados en el libro "Documentos de la X - Asamblea Polenaria", celebrada en Ginebra, en el año de 1963, volumen III, en su capítulo correspondiente a los "Servicios Fijos" de comunicaciones.

### RESUMEN GENERAL:

De todos los estudios hechos y de los principios enunciados podemos deducir lo siguiente:

- a) La dirección de Aviación Civil necesita un sistema de comunicaciones que le permita causar el tráfico Meteorológico y de servicio para la regularidad del vuelo, este servicio - puesto que la ENTEL actualmente no está en capacidad de suministrarlo, debe ser establecido por la propia Dirección de Aviación Civil.
- b) Por estimación de los mensajes que las Compañías de Aviación cruzan diariamente y por la cantidad de mensajes fijos que diariamente cruzan las oficinas de Meteorología, se ha llegado a la conclusión, que el número de canales necesarios - en la actualidad es de dos, pero que debido al continuo cre -

cimiento de la Aviación en el Ecuador, trae, como consecuencia, el crecimiento de sus servicios adicionales, es necesario instalar otros dos para el futuro.

c) El equipo a usarse debe reunir las condiciones que el CCIR recomienda.

d) Las instalaciones deben ser de equipo doble para dar seguridad al sistema, puesto que en caso de falla de uno de los equipos, otro debe inmediatamente entrar en funcionamiento.

e) Las dependencias donde van alojados los equipos deben disponer de algún elemento que mantenga la temperatura ambiente en un nivel aconsejable para el buen funcionamiento de los mismos.

f) Los campos donde irán erigidos los mástiles para antenas de recepción deben estar alejados del correspondiente a transmisión para evitar interferencias; y en lo posible alejados de cualquier fuente de ruido que pueda ser evitado.

g) Para la adecuación de los locales debe preverse las facilidades de mantenimiento y control.

h) El sistema de transmisión será el de Banda Lateral Independiente, con una banda lateral en telefonía y la otra en telegrafía (que podría ser armónica).

## CAPITULO II

## RADIO ENLACE QUITO GUAYAQUIL EN "MUY ALTAS FRECUENCIAS"

Otra de las alternativas que se presentan para unir los centros aeronáuticos de Quito y Guayaquil por medio de ondas electromagnéticas, es la comunicación en M.A.F. (muy altas frecuencias). Arbitrariamente las M. A. F. tienen en su límite inferior en los 30 Mc/s., y no pueden ser reflejadas por la ionósfera, debido a que su longitud de onda es pequeña, comparada con la distancia que, según el cálculo de probabilidades, tendrían los iones entre si en las capas ionosféricas, esto produce que las ondas electromagnéticas de muy corta longitud de onda atraviesen las capas ionizadas y se pierdan en el espacio exterior a la atmósfera terrestre. Por otro lado, la parte de onda que se propagaría teniendo como medio la corteza terrestre, sufre una gran atenuación, lo que trae como consecuencia el que el alcance sea prácticamente despreciable, como para ser utilizada en una radiotransmisión en M. A. F. Queda por lo tanto, la posibilidad de transmitir frecuencias, mayores que 30 Mc/s., por medio de la tropósfera, que se extiende desde la superficie terrenal hasta una altura aproximada de 10 Km: Esta parte de la atmósfera está afectada por los fenómenos conocidos como "tiempo atmosférico".

## TEORIA DE LA PROPAGACION TROPOSFERICA

La forma más simple, que por supuesto es ideal, de propagación de una onda en M. A. F. es la que se realiza en un espacio libre de obstáculos y en el vacío o con aire de densidad unifor-

me ; en tales condiciones la intensidad de campo obtenible en cualquier punto fuera del centro de trasmisión es independiente de la frecuencia y varía inversamente con la distancia. El cálculo de la intensidad de campo es posible realizarlo en forma matemática de la siguiente manera:

Un radiador isotrópico emitirá señales en forma omnidireccional cubriendo en esta forma una esfera; por tanto, la potencia por metro cuadrado en cualquier punto, a la distancia del radiador será:

$$p = \frac{Pr}{4\pi d^2}$$

Además, la potencia en el receptor  $Pr$ . tiene la forma

$$Pr = p \quad Ar \quad At.$$

siendo  $Ar$ . y  $At$ . las áreas efectivas de las antenas de recepción y trasmisión respectivamente.

entonces:

$$Pr. = \frac{Pr}{4\pi d^2} \quad Ar. \quad At.$$

Recordemos ahora uno de los conceptos de ganancia de una antena:

$$G = \frac{\text{Área efectiva de la antena}}{\text{Área efectiva del radiador isotrópico}} \quad G \cong \frac{A}{Ae}$$

$$Ac = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad A \cong G Ae \quad A = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G$$

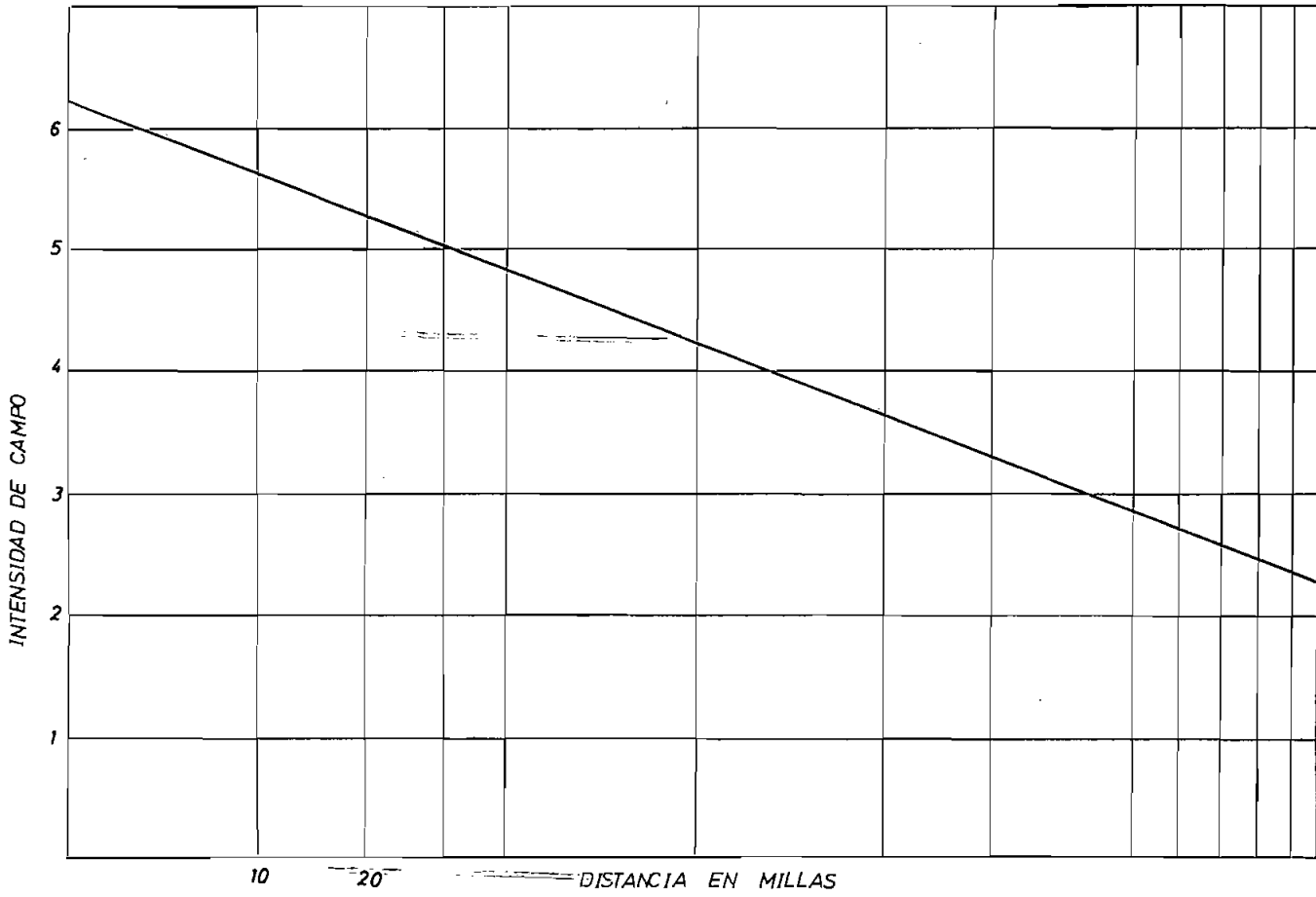
Si suponemos se usan antenas de iguales características

$$Pr \cong \frac{Pr}{4} \left( \frac{6\lambda^2}{4\pi} \right)^2$$

$$Pr = \frac{Pr \cdot 6^2 \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}$$

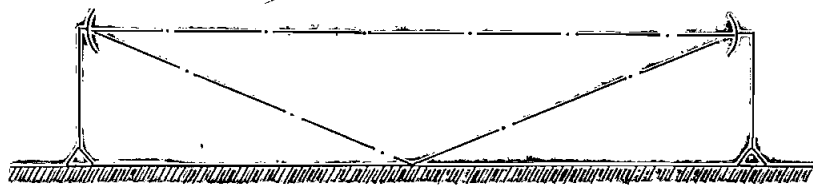
$$Pr = \frac{Pr \cdot 6^2 \cdot \lambda^4}{2000 d^2} \quad (1) - II$$

FIG. ① - II



INTENSIDAD DE CAMPO PARA PROPAGACION EN VACIO Y SIN OBSTACULOS

FIG. ② - II



Tx MAF CON ATMOSFERA TERRESTRE STANDARD Y ANTENAS PROXIMAS ENTRE SI

Como  $Pt. G$ , y  $\lambda$  son constantes para una determinada frecuencia, la función representada por  $Pr$  será lineal y tendrá la forma mostrada en la figura (1)-II

Una forma más aproximada de lo que sucede en la realidad puede ser considerada, asumiendo que la propagación tiene lugar en una atmósfera standard con presencia de una topografía completamente plana y, además, que las antenas de transmisión y recepción estén lo suficientemente cerca como para considerar el perfil terrestre perfectamente horizontal; como puede apreciarse en la figura (2)-II

En esta condición la intensidad de campo eléctrico tendrá dos componentes, el uno debido a la transmisión directa desde el transmisor al receptor y el sobrante correspondiente al campo reflejado en la superficie terrestre que modificará al campo principal de conformidad con la fase con la cual llegue a la antena de recepción; como se comprenderá fácilmente, con estas características de propagación, jugará un papel importante tanto la distancia, como la altura de las antenas y la configuración del campo eléctrico a lo largo de una trayectoria, obedecerá a una ley sinusoidal; como se puede observar en la figura (3)-II

Cuando las antenas se hallan colocadas a una distancia muy grande como para considerar a la tierra plana, es necesario tomar en cuenta las modificaciones que introduce la atmósfera al paso de las ondas de radio, debido a la refracción que se produce cuando las ondas atraviesan un límite entre un me-

dio denso y otro ligero; como es el caso en el que el aire situado en la parte inferior de la atmósfera es más denso que el localizado en la parte superior.

Cuando esto suceda el rayo de señal se desviará de la normal trazada en el punto de entrada de la misma. Sucesivas refracciones harán que el haz de radio tome una trayectoria curva tal como el que se puede observar en la figura (4) II

Con propósitos de simplificación se ha encontrado un artificio que permite considerar la línea de propagación como rectilínea para lo cual se traza la curvatura de la superficie terrestre multiplicada por un factor que depende de varios factores pero que para un caso general, siempre considerando una atmósfera standard, se considera tiene el valor de  $4/3$ .

Lógicamente que nunca se encontrará una atmósfera homogénea a través de una trayectoria completa, pues, esta supone una capa de aire en completo reposo afectado por la misma temperatura y con el mismo grado de humedad.

La forma de propagación que más se acerca a la realidad es aquella que considera las irregularidades de la superficie terrestre y, además, las variaciones de la atmósfera inferior, como se comprenderá el calcular la intensidad de campo en estas condiciones es una tarea casi imposible, por lo tanto, para elaborar un plan de predicciones es necesario acudir a datos estadísticos recogidos a través de experimentos que han conducido a la confección de nomogramas de propagación, muy

útiles para la planificación de radioenlaces.

En general, las variaciones de las características tanto terrestres como atmosféricas, dan lugar principalmente a los siguientes modos de transmisión en las bandas de M.A.F. y - -

U.A.F.:

- a) Transmisión en el espacio libre;
- b) Transmisión afectada por una tierra plana y perfecta conductora;
- c) Transmisión en las vecindades de una tierra esférica y perfecta conductora;
- d) Transmisiones obstruidas por obstáculos largos en la trayectoria;
- e) Transmisiones afectadas por obstáculos localizados en las cercanías de la antena de transmisión.

Todos los casos anteriores están influenciados por las características de una atmósfera inferior. En los dos casos iniciales existe la posibilidad de realizar cálculos matemáticos - pero los restantes requieren datos estadísticos de los cuales pueden deducirse fórmulas empíricas.

#### ATENUACION EN MUY ALTAS FRECUENCIAS

De la señal de M.A.F. transmitida a través de la tropósfera, - apenas una pequeña parte de la energía transmitida será captada por la antena receptora y la expresión para el cálculo de esta, fué presentada en la fórmula (1)-II

$$Pr = \frac{Pt \cdot G^2 \lambda^4}{2000 d^2}$$

de donde:

$$\frac{Pr}{Pt} = \frac{2000 d^2}{G^2 \lambda^4}$$



esto significa que la energía se ha atenuado, y si expresamos en dB, conseguiremos:

$$\text{Atenuación db} = 10 \log \frac{2000 d^2}{6^2 \lambda^4}$$

Esta atenuación es considerada en el espacio libre, puesto que las precipitaciones atmosféricas como son: lluvias, nevadas, neblinas, etc. hacen variar de una forma impredecible el valor de la atenuación en espacio libre.

Una fórmula empírica tomada de RADIO RELAY SYSTEMS de RCA service company que es muy útil para el caso de lluvia, es la que sigue :

$$\text{atenuación (db)} = \frac{10 d R}{\lambda^2}$$

d = longitud del paso en millas

R = cantidad de lluvia en pulgadas por hora

$\lambda$  = longitud de onda en centímetros.

#### GANANCIA OBTENIBLE POR OBSTACULOS

Había mencionado que una de las condiciones para obtener un sencillo y eficaz sistema de telecomunicaciones en las bandas de M. A. F. y U. A. F. es que el espacio entre la antena de recepción y transmisión esté libre de obstáculos, sin embargo, existen casos en los cuales, un obstáculo puede producir ganancia si está colocado de tal manera que produzca un fenómeno de difracción tal como el observado en la óptica. Todavía no se ha encontrado la explicación perfecta al fenómeno pero en cambio, se han realizado varias experiencias que comprueban que bajo un cierto conjunto de condiciones; una montea

ña, por ejemplo, puede constiguir un excelente medio de transmisión y rendir una ganancia adicional como puede observarse en la gráfica (5).II

Aquí se puede deducir que el rayo electromagnético puede tener cuatro trayectorias y si mantenemos fijas las alturas de las antenas de transmisión y de recepción, existirá una frecuencia para la cual las cuatro componentes de la señal en el punto de recepción estarán en fase y aunque algunas de ellas vengan unas cuantas longitudes de onda en retraso, reforzarán la señal original; provocando un gran incremento en la intensidad de campo eléctrico, que en ciertas ocasiones se aproxima a los valores obtenidos de transmisiones en el espacio libre. A la diferencia, en decibelios, de pérdidas en transmisión, con obstáculos y sin el, se le conoce con el nombre de: GANANCIA - POR OBSTACULO.

#### DESVANECIMIENTO DE LAS ONDAS EN MUY ALTAS FRECUENCIAS

El desvanecimiento se define como la variación que sufre una señal radioeléctrica en su intensidad, causadas por cambios en el medio de transmisión.

Una de las formas más comunes de desvanecimiento que ocurre en las MUY ALTAS FRECUENCIAS es el curvamiento que sufre el haz electromagnético debido al cambio del índice de refracción en la atmósfera, este curvamiento hace que la onda de radio no llegue al centro de captación de la antena receptora y antes bien esta oscile entre el punto superior e inferior de la misma, disminuyendo la intensidad en forma lenta y continua.

Además, del desvanecimiento anterior, podemos mencionar aquel -

debido a la forma de cono que tiene el haz que sale de la antena transmisora; cuando la transmisión tiene lugar en un medio homogéneo, la parte central del cono, golpea la antena receptora y los extremos del mismo radiarán una señal que irá a caer fuera de la superficie efectiva de la antena, pero si el índice de refracción cambia, las señales de los extremos del cono se dirigirán a la antena receptora y se sumarán a la señal principal proveniente del centro de irradiación la intensidad de la señal dependerá tanto de las intensidades de las señales que lleguen de los extremos como también de su ángulo de fase.

#### INFLUENCIA DE LA ATMOSFERA INFERIOR EN LA PROPAGACION DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

En la parte inferior de la atmósfera terrestre se suceden varios fenómenos conocidos con el nombre global de TIEMPO ATMOSFERICO, que es uno de los factores que intervienen de manera definitiva en la propagación de las ondas de muy altas frecuencias.

Existen tres elementos básicos que son: PRESION DE VAPOR, PRESION ATMOSFERICA Y TEMPERATURA; estos elementos, de acuerdo a su nivel producen variaciones en el índice refractivo de la tropósfera que, a su vez, ocasiona irregularidades en el alcance de la onda, dándole a ésta ya sea un gran alcance o también una pronunciada atenuación que variará el punto de recepción efectivo de la señal. Estos factores están en función de la altura; así la presión atmosférica y la temperatura por ejemplo, decrecen con el aumento de altitud.

Habíamos dicho que en la transmisión en el espacio libre, la única causa de desvanecimiento de la onda era la distancia que separa la antena receptora de la transmisora, pero esto no puede ocurrir en la realidad y la señal sufrirá también la atenuación producida por los elementos atmosféricos.

La lluvia puede también causar atenuación en la señal debido a que las gotas de agua separadas a una distancia de una media longitud de onda de la frecuencia utilizada, actúan como un dipolo, absorbiendo energía electromagnética de la onda y convirtiéndola en calor, esta clase de pérdida de señal comienza a tener importancia en las frecuencias superiores a los 6.000 mc/s., por esta razón, para este trabajo, las pérdidas por este motivo pueden considerarse despreciables.

Como el efecto principal de las características atmosféricas es cambiar el índice de refracción se han elaborado gráficos de esta variación en función de la altura, obteniéndose cuatro modelos, a los cuales, una determinada atmósfera puede sujetarse, permitiendo de este modo hacer un análisis de las formas de transmisión en la misma; estos modelos son los siguientes:

- a) PERFIL STANDARD;
- b) PERFIL SUBSTANDARD;
- c) DUCTO SUPERFICIAL;
- d) DUCTO ELEVADO

El perfil standard es producto de una atmósfera homogénea con una variación del índice de refracción de pendiente constante.

El perfil substandard se puede producir debido a una gran temperatura en la superficie terrestre o también a un gran contenido de vapor de agua.

Un gran incremento de la temperatura con la altura, un gran contenido de vapor en la atmósfera, o una mezcla de ambas, producirá una disminución del índice refractivo como puede observarse en la figura C, la onda electromagnética será curvada de tal manera que permanecerá dentro de los límites A y B de la gráfica formándose de esta manera un ducto.

Un fenómeno similar puede producirse en regiones elevadas de la atmósfera terrestre dando lugar a la formación de un ducto elevado, en el cual las señales electromagnéticas pueden propagarse con relativa facilidad, actuando el ducto como un guía de ondas. Todos los casos de perfiles pueden ser observados en la siguiente figura (6).-II

#### INDICE REFRACTIVO DE LA ATMOSFERA

Se han encontrado varias fórmulas experimentales del índice refractivo que han sido obtenidas por investigaciones estadísticas de los cambios climáticos, en un largo período de tiempo; una de ellas es

$$n - 1 = \frac{79}{T} \left( P - \frac{e}{7} + \frac{4800 e}{T} \right) 10^{-6}$$

donde  $n$  = índice de refracción

$T$  = temperatura absoluta en grados keloch

$P$  = presión atmosférica total en

$e$  = presión de vapor de agua en

Por razones de facilidad en el manejo de estos valores se ha adoptado el valor modificado del índice de refracción que es igual

a  $N$

siendo

$$N = (n-1) 10$$

El valor de  $N$  al nivel del mar va aproximadamente desde 250 hasta 400 en condiciones atmosféricas normales.  $N$  decrece con la altura en forma casi logarítmica. La expresión para el índice refractivo de la atmósfera en unidades  $N$  viene dado por:

$$N = \frac{AP}{T} + \left( \frac{Be}{T^2} - \frac{De}{T} \right)$$

donde  $N \approx (N - 1) 10^6$        $N$  = índice refractivo de la atmósfera,  
 $A \approx 79$   
 $B \approx 3.8 \times 10^5$   
 $D \approx 11$

El valor del primer término  $\frac{AP}{T}$  es dependiente solamente de la presión atmosférica y es conocido como el "término seco", mientras que el segundo término es función de la presión de vapor de agua y la temperatura atmosférica y tiene el nombre de "término húmedo".

Cuando la temperatura aumenta, el término seco decrece para un valor dado de presión atmosférica, pero el término húmedo se incrementa para una humedad relativa determinada. Esto se debe a la relación existente entre la saturación de vapor, presión y temperatura del aire. Si la presión atmosférica y humedad relativa permanecen constantes, el índice de refracción se incrementa con la temperatura, sobre los -5 grados Celcius; sin embargo, bajo esta temperatura el índice de refracción se incrementa cuando la temperatura decrece.

Cuando la temperatura del aire se baja, un cambio dado en la humedad relativa produce un cambio más pequeño en el índice de refracción que cuando la temperatura es alta; por ejemplo, a una temperatura de -5 grados Celcius, un cambio en la hume

dad relativa del cincuenta al ochenta por ciento, produce un cambio en el índice modificado de refracción de solamente seis, o sea aproximadamente el dos por ciento. En cambio, a una temperatura de 25 grados, el mismo cambio en la humedad relativa dá como resultado un cambio en N de aproximadamente 40, o sea el 13 por ciento. Estos cambios en el valor del índice de refracción produce variaciones en las pérdidas de transmisión de ondas electromagnéticas, haciendo el cálculo de estas por demás complicado, debiendo en cada caso de planificación de una radio enlace, tomarse datos estadísticos durante un considerable período de tiempo.

#### INTERFERENCIA EN LA ONDA DE FRESNEL

Christian Huygens trató de explicar la forma de propagación de las ondas electromagnéticas, asumiendo un radiador isotrópico, el cual emitía una señal en cada dirección; ahora bien, alrededor del radiador se formaba un frente de onda, el mismo que estaba compuesto de un número infinito de fuentes secundarias de radiación, cuyo efecto total formaba un nuevo frente de onda que, a su vez, estaba formada de nuevas fuentes de radiación y así sucesivamente. El fenómeno de propagación así explicado aclaraba satisfactoriamente muchos problemas, como el de la difracción por ejemplo. Cuando un rayo de luz o de cualquier onda de alta frecuencia choca con un obstáculo produce fuentes secundarias que irradian energía en todas direcciones, ocasionando el que en lugares situados detrás del obstáculo, donde aparentemente no debía existir ningún vestigio e

de intensidad de campo, ese está presente y en algunas ocasiones en valores que se aproximan a los de propagación en espacio libre.

Además del fenómeno explicado podemos citar otro; cuando una antena direccional envía un rayo de ondas electromagnéticas hacia una antena de recepción, es lógico pensar que el enfocamiento de tal rayo no será perfectamente agudo y antes al contrario, formará un frente de onda, el cual de acuerdo con la teoría de Huygens estará formado por un sinnúmero de fuentes secundarias de transmisión, las cuales harán llegar su radiación a la antena receptora por diferentes trayectorias como se puede ver en la figura (7-4).

Arbitrariamente se ha escogido en el frente de onda, varios puntos que hacen que la señal que pasa por su intermedio recorra un camino  $n$  veces medias longitudes de onda mayor que el camino directo.

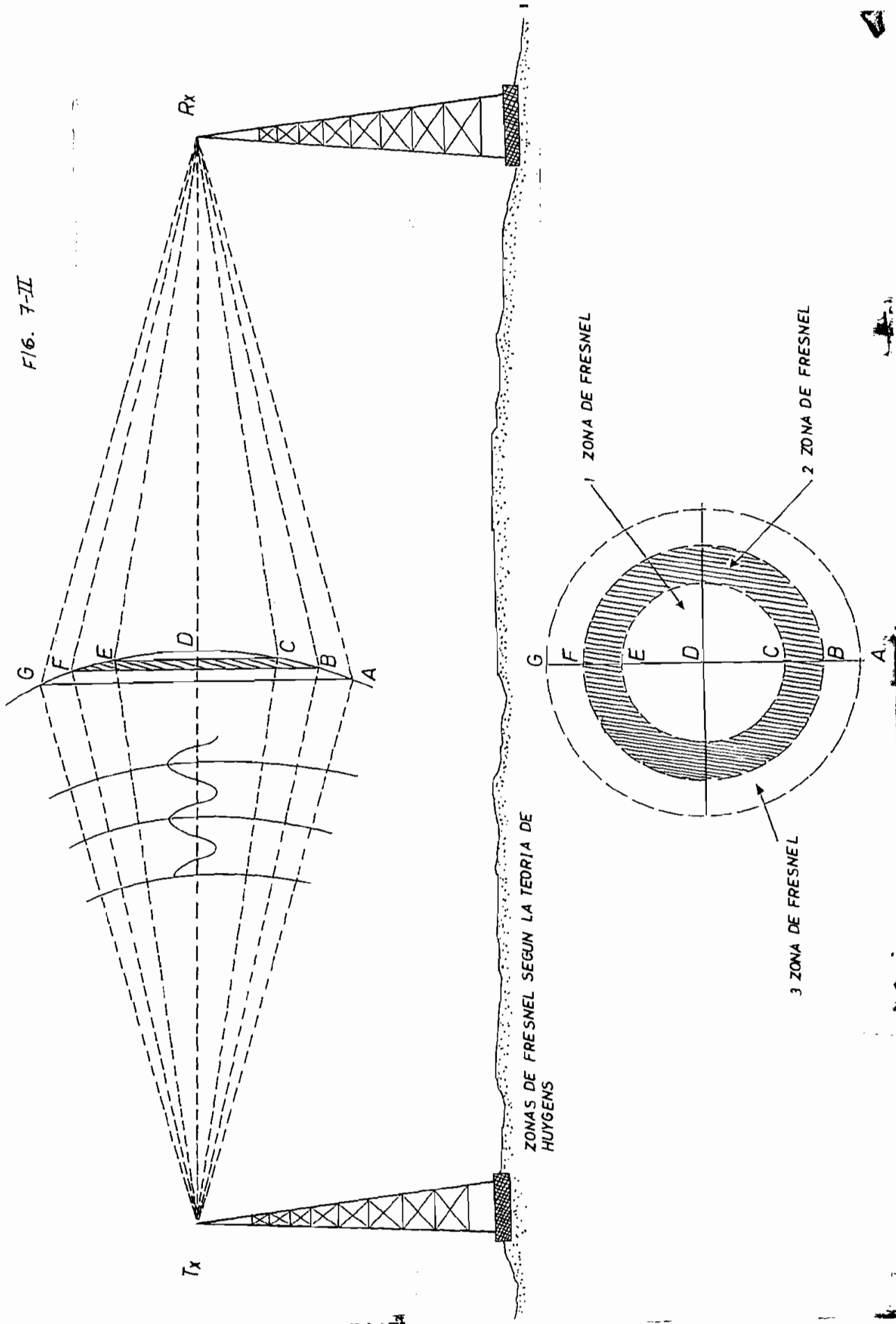
**ZONAS DE FRESNEL.** - La señal que llega al receptor procedente de una zona impar estará fuera de fase con la señal principal y por lo tanto, su aporte a la intensidad de campo será negativa; lo contrario, sucederá con las señales provenientes de zonas pares.

Cuando un obstáculo está introducido ligeramente en la primera zona de Fresnel producirá un atraso de 180 grados en la señal que choca en su superficie y como esto significa un camino  $n$  veces más largo, arribará en fase con la señal directa reforzando la intensidad de campo eléctrico; por esta razón muchas veces se consigue mejor propagación cuando existen obstáculos que sin ellos.

La región que hemos llamado primera zona de Fresnel contiene -



FIG. 7-II



aproximadamente aproximadamente la cuarta parte de la energía total recibida y en la generalidad de los casos es preferible tenerla libre de obstáculos, salvo el caso en que la obstrucción se introduce ligeramente con su eje, en la zona.

El radio de la primera zona de Fresnel está dado, para un punto P a lo largo del paso de transmisión, por la fórmula siguiente:

$$R = 13.15 \sqrt{\lambda \frac{D_1 \times D_2}{D_3}}$$

donde: R = radio de la primera zona de Fresnel (en pies) el punto P;

D1 = distancia (en millas) donde la antena de transmisión al punto P;

D2 = distancia (en millas) desde la antena de recepción al punto P;

D3 = D1 + D2

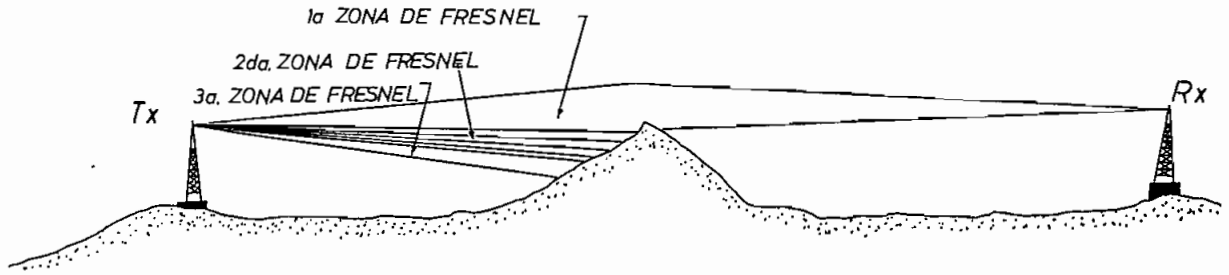
$\lambda$  = longitud de onda (en cms.).

Cuando la obstrucción se introduce demasiado dentro de la zona puede provocar un desvanecimiento debido a la multiplicidad de trayectorias que toma la señal, o también bloquear completamente la misma, creando una zona de silencio en la parte posterior del obstáculo; los tres casos a los que nos hemos referido pueden ser visualizados en la gráfica (e-7).

APLICACION DE LOS NOMOGRAMAS DE BULLINGTON ASI COMO SUS PROCEDIMIENTOS AL RADIO ENLACE QUITO GUAYAQUIL EN "MUY ALTAS FRECUENCIAS".

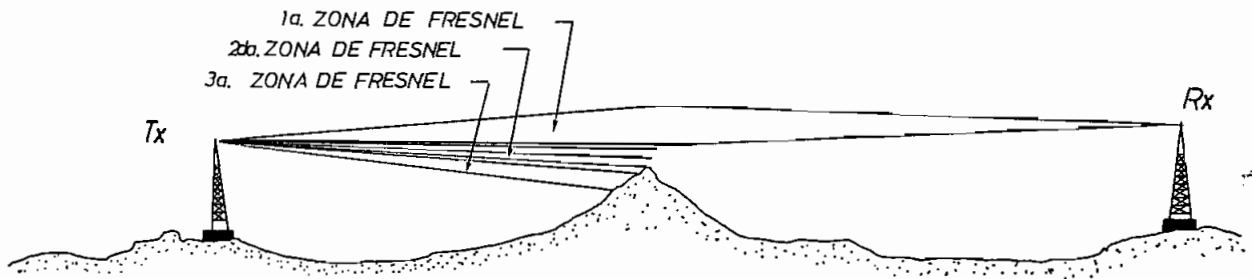
Utilizando la teoría de propagación de Huygens y un amplio estudio experimental sobre la variación del índice de refracción

A



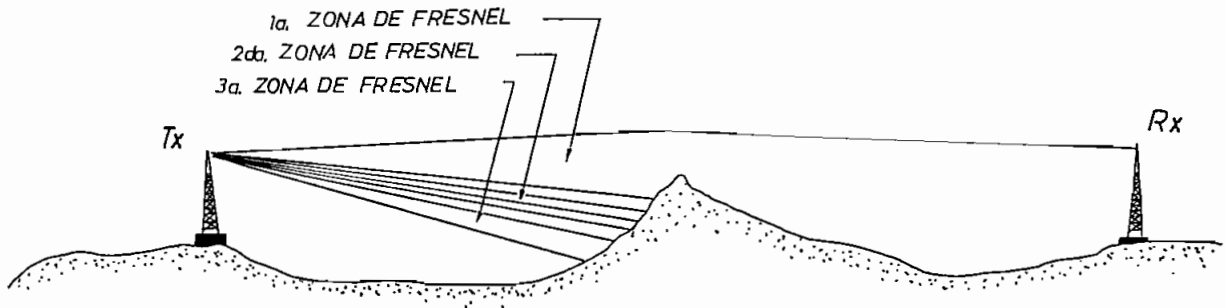
OPTIMA POSICION DE OBSTACULO (GANANCIA)

B



EL OBSTACULO ESTA INTRODUCIDO MUY POCO (ATENUACION)

C



EL OBSTACULO SE INTRODUCE DEMASIADO (ATENUACION)

de la atmósfera terrestre, Bullington elaboró una serie de nomogramas que son en la actualidad uno de los instrumentos más utilizados en el diseño de radio enlaces.

He creído conveniente basar el trabajo de enlace entre Quito y Guayaquil en estos nomogramas y de ser posible, efectuar una comprobación con mediciones de campo en los lugares que se determinen; además, creo conveniente utilizar mediciones tomadas por la unidad de Búsqueda de frecuencias de la Organización de Aviación Civil Internacional con las cuales se demuestra que las deducciones derivadas de los nomogramas de Bullington son bastante aproximados.

#### DETERMINACION DEL EMPLAZAMIENTO DE LAS ESTACIONES

Partiendo de la base que las estaciones de Quito y Guayaquil están determinadas tanto para acoplar a las instalaciones ya existentes como también porque el costo de la instalación subiría apreciablemente si se tratara de instalar en nuevos terrenos los nuevos elementos que este sistema requeriría; debemos determinar el sitio en el que se colocaría la, o las estaciones repetidoras, puesto que si analizamos la topografía ecuatoriana se puede deducir fácilmente que establecer comunicaciones en Muy Altas Frecuencias directamente entre Quito y Guayaquil sería prácticamente imposible, por los métodos normales de propagación troposférica, aunque esto se podría lograr por el método de dispersión troposférica que se analizará más adelante.

Para localizar las estaciones repetidoras existen varias posibilidades y deberíamos encontrar aquella o aquellas que se a-

daptan más a las necesidades de tipo operacional y administrativo, así como también de tipo económico, de las comunicaciones aeronáuticas del país. Hechas estas consideraciones, enunciaré la posibilidad, que en mi opinión, es la que ofrece mayor factibilidad de ejecución, así como también mayores facilidades de acceso a la misma, factor importante en la determinación.

Como base de este análisis he tomado la CARTA GEOGRAFICA DEL ECUADOR, editada con el auspicio del Ministerio de Defensa Nacional y la colaboración del SERVICIO GEODESICO INTERAMERICANO y la CORPORACION ECUATORIANA DE FOMENTO, en el año de 1957, en la escala de 1:500.000.

Como se comprenderá, a pesar de que ésta edición no es lo suficientemente exacta, puede servir para nuestros propósitos, puesto que muestra las cotas más sobresalientes, correspondientes a los accidentes geográficos que para el caso, impedirían o facilitarían la transmisión del haz electrónico en MUY ALTAS FRECUENCIAS, el cual, como se dijo anteriormente, puede considerarse como rectilíneo, si suponemos al radio de la tierra multiplicado por el factor de  $4/3$ .

#### FACILIDAD NUMERO UNO

Establecida la situación geográfica así como también la cota de la estación trasmisora en Quito, esto es 2.290 mts. de altura y  $79^{\circ} 30' 10''$  de longitud geográfica, podemos enfocar el haz con rumbo SUR ESTE, puesto que debemos sortear los obstáculos de la cordillera Occidental. Entre los principales acci-

dentes geográficos que debemos evitar se cuentan: El Panecillo que aunque relativamente de baja altura, por la cercanía podría provocar una obstrucción; El Atacaso, con una altura de 4.457 metros, podría ser un lugar de emplazamiento de una estación esclava, pero para el caso que nos ocupa, debemos considerarlo como una obstrucción. Luego del Atacaso en el rumbo indicado, la única alternativa de emplazamiento sería la Cordillera de Chugchilán, que por su altura, y su vecindad domina la costa ecuatoriana en el sector occidental de la provincia de Pichincha. Se puede claramente advertir que luego de la Cordillera de Chugchilán no existe ninguna elevación adicional quedandò la señal, por lo tanto, libre de obstáculos. Es necesario evitar, por otra parte, las estribaciones del Atacaso y la población de Lloa a 3577 metros de altura. Los niveles correspondientes a la trayectoria sugerida, obtenidos del mapa mencionado anteriormente, pueden ser observados en la gráfica (9-II), construido de acuerdo con las recomendaciones de Bullington.

#### ESTIMACIONES DE LAS PERDIDAS

El primer paso a darse para estimar el comportamiento y la confiabilidad del radio enlace consiste en elaborar un diagrama de perfiles, el mismo que nos determinará si la señal radiada encontrará obstáculos físicos que modifiquen la intensidad de señal, variando de este modo la confiabilidad del sistema.

De la gráfica (9-II), podemos deducir que la transmisión de la señal para el caso que nos ocupa, se hará en línea de vista, con ausencia de obstáculos, por tanto, para el cálculo de pérdidas en la -

propagación, debemos utilizar los principios de transmisión en espacio libre; para lo cual debemos determinar :

- a) Nivel requerido en el receptor;
- b) Pérdidas en la línea de transmisión del punto de recepción;
- c) Ganancia de antena de recepción;
- d) Pérdidas en el espacio o medio de transmisión;
- e) Ganancia de antena de transmisión;
- f) Pérdidas en la línea de transmisión del sistema de transmisión;
- g) Potencia de salida del transmisor.

Todos los cálculos enunciados deben ser hechos tomando como norma que el circuito debe mantener el nivel de señal requerido en el umbral del receptor en un 90% del tiempo de trabajo, considerando este factor como una buena solución entre la eficiencia y la economía del sistema.

a) Condición de un buen receptor para la medida de su sensibilidad es reaccionar debidamente a una señal de  $15 \mu\text{V/m} =$  equivalentes a  $-113 \text{ dBW}$ , puesto que:

$$\begin{aligned}
 \text{Nivel en dbm} &= 10 \log \frac{P_2}{P_1} \\
 &= 10 \log \frac{E_2^2}{E_1^2} \times \frac{Z_1}{Z_2} \\
 &= 10 \log \frac{E_2^2 \times 600}{E_1^2 (0.707 \times 10^6)^2} \\
 &= -10 \log \frac{E_2^2}{Z_2 \times 10^9} = 10 \log \frac{15^2}{600 \times 10^9} \\
 &= -10 (8,3,4) = 83.4 \\
 &= -83.4 - 30 = -113 \text{ dbw.}
 \end{aligned}$$

- b) Utilizando un cable coaxial RG 17/ U que causa una atenuación de 16 dB por cada 100 metros y considerando que serán utilizados aproximadamente 200 metros tendremos una atenuación total de 32 dB;
- c) Sería conveniente emplear arreglos de dos antenas YAGI de cuatro elementos, con lo cual se obtendría una ganancia de 24 dB;
- d) Mediante el nomograma adjunto y al cual me he referido anteriormente para el cálculo de la atenuación sufrida por la señal, en pasos en los que, como el nuestro, no existen obstrucciones y tomando la frecuencia a utilizarse, de 200 Mc/s, deducimos que tendremos una atenuación de 114 dB.

## RESUMEN:

Pr.  $\approx$  Pt - Atenuaciones + ganancias

$$-113 \text{ dBW} = P_{tx} - 32 - 114 + 24$$

$$P_{tx} \approx -113 + 122 \approx 9 \text{ dBW}$$

$$\text{dBW} \approx 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

$$9 = 10 \log \frac{P_2}{1} \text{ watio}$$

$$0,9 \approx \log P_2$$

$$P_{tx} \approx 8 \text{ Watios}$$



MEDICIONES DE CAMPO EFECTUADAS POR LA UNIDAD DE BUSQUEDA DE  
FRECUENCIAS DE LA ORGANIZACION DE AVIACION CIVIL INTERNACIO-  
NAL

El año de 1965 visitó el país una delegación de la OACI, con el fin de realizar investigaciones acerca de los modos de propagación en las diferentes bandas de frecuencias para el servicio aeronáutico aplicado a las comunicaciones de punto a punto entre las diferentes bases aéreas del Ecuador, así como también a las comunicaciones tierra-aire para el control del tránsito aéreo. Entre los trabajos efectuados existe uno que trata de la medición de la intensidad de campo en la banda MAF para comunicaciones entre Quito y Chugchilán que lo he tomado como comprobación del estudio teórico de esta tesis por dos razones:

- a) La falta de equipo especializado imposibilita el que se tome nuevamente lecturas de la variación de intensidad de campo eléctrico para las comunicaciones entre estos dos puntos;
- b) El costo de la operación sería tan elevado que no se justificaría el gastar una cantidad de dinero en un trabajo ya realizado, y que personalmente creo, está muy bien llevado a cabo, permitiendo tomarlo como comprobación de un estudio teórico sin muchas reservas.

Los siguientes son los resultados obtenidos del trabajo en re-

cia :

CIRCUITO	ALTURAS ABSOLUTAS	LONGITUD DEL CIRCUITO	ALTURA DE ANTENA	NIVEL DE SEÑAL REGISTRADO	NIVEL DE SEÑAL MEDIA	ATENUACION OBTENIDA	ATENUACION MEDIA
Quito	2784 m.	100 Km.	7 m.	35-38 dB.	36.5 dB.	117-120 dB.	118.5 dB
Chugchilañ	4075 m.		8 m.				

ENLACE CHUGCHILAN-GUAYAQUIL

Haciendo las mismas consideraciones que en el enlace Quito-Chugchilán, podemos calcular las características del equipo - que servirá para establecer la comunicación entre el punto - dominante, localizado en la cordillera de Chugchilán, y la - terminal en Guayaquil. Entonces :

Potencia requerida en el receptor =113 dB.

Atenuación en las líneas de transmisión 32 dB.

Ganancia obtenida de los arreglos de antenas 24 dB.

Atenuación del haz en el espacio libre 120 dB.

$P_{rx} = P_{tx} - \text{Atenuaciones} + \text{Ganancias}$

$-113 = P_{tx} - 32 + 120 + 24$

$P_{tx} = -137 + 152$

$P_{tx} = 15 \text{ dBW}$

$P_{tx} = 32.5 \text{ WATIOS}$

Para poder emplear un transmisor de una potencia más reducida, podríamos utilizar un arreglo diferente de antenas que nos dé una ganancia más elevada.

DATOS TOMADOS EN MEDICIONES DE CAMPO EFECTUADOS POR LA UBR PARA EL ENLACE ENTRE GUAYAQUIL Y CHUGCHILAN

CIRCUITO	ALTURAS ABSOLUTAS	LONGITUD DEL CIRCUITO	ALTURA DE ANTENA	NIVEL DE SEÑAL REGISTRADO	NIVELES DE SEÑAL MEDIO	ATENUACION MEDIDA	ATENUACION CALCULADA
CHUGCHILAN	4075 m	164 Km	8 m.	27-31 dB.	28 dB	122-126 dB	120 dB
GUAYAQUIL	30 m.		21 m.				

## CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS FUNCIONES Y CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN REUNIR LOS EQUIPOS A UTILIZARSE EN EL RADIO ENLACE.

Para que el sistema de radio en el rango de M. A. F., sea una alternativa económica de líneas o cables, es esencial que el costo de mantenimiento sea mínimo. El equipo, tiene entonces que reunir ciertas características que lo hagan capaz de operar satisfactoria y continuamente sin necesidad de inspecciones demasiado frecuentes. Además, debe ofrecer facilidades para su mantenimiento y rápida localización de fallas, así como también una continua y confiable red de monitoreo.

En el caso especial de las comunicaciones aeronáuticas, en las cuales, la ausencia de servicio en determinado momento, causarían serios trastornos, es necesario adquirir equipo doble; quedando uno de ellos en posición de reposo y listo para entrar en operación automáticamente, por medio de un dispositivo de cambio, electromagnético.

Un bien diseñado sistema multicanal de radio constituye una alternativa económica de una red física, ofreciendo al igual que ésta, una gran confiabilidad al sistema.

De acuerdo con lo anterior, una disposición de bloques de equipos en un sistema de dos terminales y una repetidora sería la mostrada en la figura (0-1).

### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Sistema de Canalización telefónica.- El equipo MULTIPLEX canaliza las diferentes conversaciones, en las frecuencias de au-

dio, colocándolas de tal manera que no interfieran unas con otras, conservando su independencia a lo largo de todos los procesos de modulación que ocurren en el tránsito de la señal por el equipo.

El sistema general de canalización puede ser esquematizado - por el gráfico siguiente: figura (II-II).

Si tomamos como ejemplo el canal 1 en la dirección de transmisión, observamos que la banda de voz penetra en el punto A y pasa a través de un transformador híbrido B el cual evita la interferencia que se produciría entre la señal de transmisión y la de recepción, luego pasa a un atenuador variable C que regula el nivel de la señal que entra al modulador; sigue su curso a un amplificador limitador que comprime los picos de la voz que pueden causar una sobrecarga en el modulador. En este último la banda de voz modula una portadora de 12 Kc/s y luego se selecciona la banda lateral superior por medio de un filtro "pasa banda". Los canales 2 y 3 son manejados por igual, pero con un valor de portadora de 16 y 20 Kc/s., respectivamente. Las salidas de los tres filtros pasa bandas son entonces combinados para formar un subgrupo en la banda de 12 a 24 Kc/s. En la siguiente etapa se traslada al subgrupo formado, a la banda de 96 a 108 Kc/s. por medio de la modulación de una portadora de 120 Kc/s y luego se selecciona la banda requerida por medio de un filtro.

De igual forma los otros tres bloques de tres canales son ensamblados en subgrupos y estos, a su vez, trasladados a la parte a-

propiada de la banda. En la parte de recepción se produce un proceso similar y cada grupo es progresivamente repartido en los canales correspondientes.

La forma anotada anteriormente puede ser repetida varias veces, dependiendo tanto de las necesidades del servicio como también del diseño del equipo. Como se comprenderá este último debe emplear una gran cantidad de frecuencias, las mismas que pueden derivarse de un sintetizador de frecuencias, del cual ya habíamos hablado anteriormente en la parte inicial de este trabajo y una de las versiones es la mostrada en el gráfico - (12-II), que pertenece a uno de los equipos (de la casa inglesa) Marconi.

#### EQUIPO DE TELEGRAFIA DE FRECUENCIA VOCAL

Una de las formas de utilizar eficientemente las frecuencias de una cierta banda, es la de comprimir varias comunicaciones telegráficas en un canal de telefonía, que puede ser cualquiera de los obtenidos en el proceso anterior. De esta manera en una sola banda de 300 a 3400 c/s pueden ser acomodados hasta 28 canales telegráficos (según el equipo). Los canales telegráficos son separados en intervalos de 120c/s con frecuencias portadoras contenidas en la banda de audio.

Las marcas y espacios del instrumento telegráfico modulan estas portadoras ya sea en amplitud o en frecuencia. Una de las más utilizadas es esta última, puesto que trae consigo las ventajas inherentes de la modulación de frecuencia.

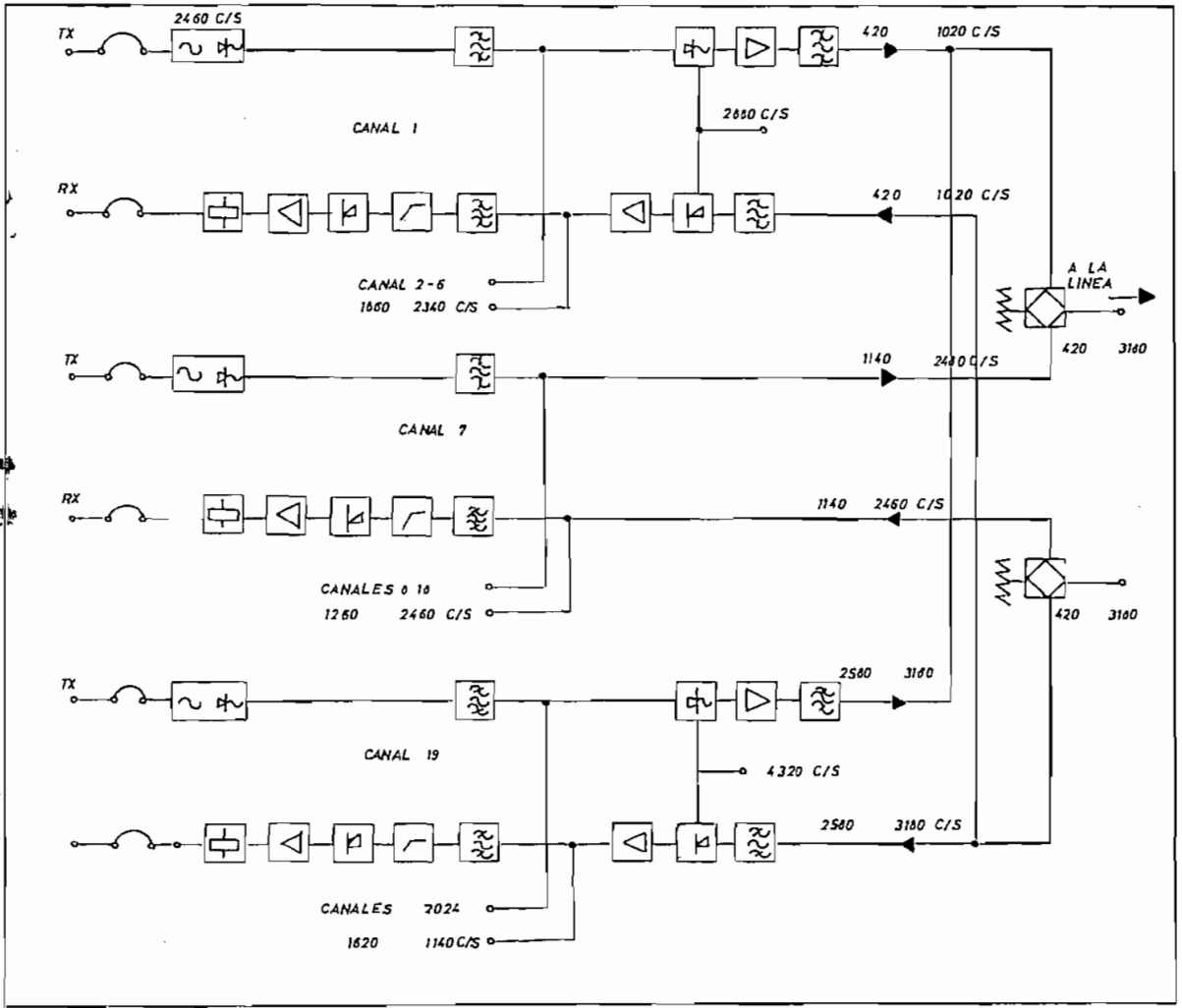
Una de las versiones de este sistema se demuestra en la figura (13-II).

En esta versión los canales 7 hasta el 18 son formados directamente y tienen frecuencias portadoras entre 1140 y 2460 c/s. Los canales 1 hasta el 6 se forman primeramente en la posición de los canales 13 al 18 y como grupo son moduladas con una frecuencia de 2880 c/s., colocándolas de esta manera en su posición correcta dentro de la banda; de igual manera los canales 19 al 24 son formados primeramente en la posición de los canales 7-12 y luego modulados con una frecuencia de 4320 c/s.

La forma como se consigue lo anteriormente anotado se puede esquematizar en la figura (14-II).

En la parte de transmisión, las corrientes positivas o negativas de continua son tomadas desde el instrumento telegráfico o de la línea y transportadas a través de un potenciómetro variable que sirve para ajustar al valor óptimo de corriente de funcionamiento. Estas corrientes van a hacer variar la frecuencia del oscilador de canal, 30 c/s arriba o abajo de la frecuencia nominal. Luego la señal pasa a través de un filtro pasa banda, el cual limita el ancho de banda efectivo de canal, para evitar interferencias con los canales adyacentes. Si se trata de un canal entre el 7 y el 18, este es combinado con los otros canales sin sufrir ninguna otra modulación, si en cambio, se trata de los seis primeros canales, estos sufren una nueva modulación con una frecuencia apropiada para situarlos en la frecuencia debida y finalmente, pasar a través de un filtro pasa banda que selecciona la banda baja y luego los combina con otros grupos de canales.

FIG. 14 - II



ESQUEMA DE BLOQUES



La señal que contienen todos los canales del sistema, son transmitidos luego a la línea a través de un transformador que debe usarse para acoplar el sistema a su canal en el sistema multiplex, anteriormente descrito. En la dirección de recepción, la señal conteniendo todos los canales pasa a través del transformados de línea y lo divide en cuatro pasos por medio de un transformador híbrido. Los canales 7 al 18 son seleccionados directamente por medio de filtros pasa banda individuales, los canales 1 al 6 y del 19 al 24 son primero demodulados en bloques de seis y luego seleccionados de igual manera que los canales 7 al 18. Las frecuencias correspondientes a cada canal son introducidas en un limitador que atenúa los efectos de cambios producidos en la amplitud de la señal de entrada y luego a un discriminador, cuya salida es utilizada para controlar dos reles, que trabajan; uno en operación de marca y otro en posición de espacio. Uno de estos reles es conectado al positivo y otro al punto negativo de la fuente telegráfica, para trabajo de doble corriente.

#### SISTEMAS DE ANTENAS

Los factores a tomarse en cuenta para escoger el tipo de antena, o un arreglo de varias de ellas, para la banda de Muy altas Frecuencias depende: de la frecuencia de operación y luego del valor de ganancia calculada, así como también del espacio físico necesario para su levantamiento. Como ejemplo,

he tomado datos de varios arreglos que se podría utilizar - para el radio-enlace que nos ocupa.

#### ANTENAS PARA FRECUENCIAS INFERIORES A LOS OCHENTA MEGACICLOS

- 1) Antena Yagi de cuatro elementos, con una ganancia de 7/8 DB en relación con una antena dipolo de media onda.
- 2) Arreglo de dos antenas Yagi de cuatro elementos con una ganancia de 10 a 11 decibelios.
- 3) Antenas rómbicas con una ganancia de 17 a 20 dB.

#### ANTENAS PARA FRECUENCIAS COMPRENDIDAS EN LA BANDA DE 150 a 230 Mc.

- 1) Antena Yagi de seis elementos con una ganancia de 10 a 11 dB.
- 2) Arreglo de dos antenas Yagi de seis elementos, con una considerable distancia entre ellas, nos darán una ganancia de 13 a 14 dB.
- 3) Arreglo de cuatro bloques de Antenas yagi de seis elementos proveerán una ganancia de 15 a 16 dB.
- 4) Antena Rómbica de ganancia desde 17 hasta 20 dB.

#### CARACTERISTICAS RADIOELECTRICAS BASICAS QUE DEBEN REUNIR LOS EQUIPOS A UTILIZARSE.

#### ESTACIONES DE QUITO Y GUAYAQUIL

##### TRASMISOR

Potencia de salida-----10 Watios

Estabilidad de la frecuencia portadora--  $\pm 0,01 \%$

Radiaciones indeseables- - - - - - - - - - - 100 dB. máximo

Distorsión de Modulación-- - - - - - - - - - - El nivel de la 2o.y 3o.

armónica debe permanecer bajo los -50 dB de la fundamental para una desviación de  $\pm 0,135$  radianes.

### RECEPTOR

Factor de Ruido-----Mejor que  $\pm 3$  dB

Selectividad- - - - -1 Mc/s. a -3 dB

Sensitividad- - - - -5  $\mu$ V

Limitación- - - - -Una variación de  $\pm 0,5$  dB. en el nivel de salida para  $\pm 20$  dB de variación en el nivel de entrada.

Relación de señal ruido---Con el receptor ajustado a una salida de  $\pm 20$  dBm en modulación sinusoidal de potencia de ruido debe ser menor que -30 dbm.

Estabilidad de Ganancia---Dentro de  $\pm 0,5$  dB.

Respuesta de Frecuencia---Para una señal de 1 mV en la antena del receptor.  $\pm 2$  dB desde 3,4 hasta 12 Kc/s.  $\pm 0,5$  dB desde 12 a 108 Kc/s;  $\pm 1$  dB y  $\pm 3$  dB desde 108 hasta 204 Kc/s.

### ESTACION REPETIDORA (trasmisor)

Potencia de salida----- 25 Watios

Ganancia--- Salida completa con una entrada de 0,1V

Estabilidad de Frecuencia=0.01 % dentro del rango de temperatura de 20-50°

Radiación indeseable---- $\pm 100$  dB. máximo, referidos al nivel de portadora.

ESTACION REPETIDORA (Receptor)

Factor de ruido----- Mejor que 6 dB bajo los 100 Mc/s  
Mejor que 9 dB sobre los 100Mc/s  
Selectividad- - - - - Ancho de banda de 0,85- 1,05Mc/s  
entre puntos de - 3 dB, bajo los  
100 Mc/s.

Nota : Los anteriores requerimientos han sido extraídos de las recomendaciones del C.C.I.R. contemplados en la publicación:-  
"Documentos de la X Asamblea Alemana", celebrada en Ginebra, en el año 1963.

### CAPITULO III

#### COMUNICACIONES POR DISPERSION TROPOSFERICA

Como resultado de las investigaciones realizadas sobre las características de propagación por medio de la tropósfera, se encontró con un nuevo modo de transmisión de ondas electromagnéticas, la llamada COMUNICACION POR DISPERSION TROPOSFERICA. Este modo de propagación es bastante útil para casos como los siguientes:

- a) Comunicación entre dos puntos separados por una gran extensión de agua o grandes montañas, que hacen difícil e impropia la instalación y el mantenimiento de una estación repetidora.
- b) Comunicación entre puntos separados por lugares que tienen poca población, lo cual inutilizaría parte de las ventajas de una estación repetidora, como es aquella de poder derivar parte de la información, obteniendo mayores usuarios del sistema.

El caso Quito-Guayaquil podría aplicarse parcialmente a cada uno de los párrafos anotados anteriormente, puesto que la cordillera montañosa que separa las dos regiones geográficas a que se pertenecen estas dos ciudades, ofrece grandes dificultades para el emplazamiento de una estación repetidora, ya que la falta de vías carrozables haría problemático su mantenimiento. Además, para el caso que nos ocupa, las comunicaciones más importantes, son las que se realizarían entre los dos centros aeronáuticos de Quito y Guayaquil y cualquier derivación de información hacia otros centros sería de importancia

secundaria.

Es, pues, bastante práctico la instalación de un sistema de comunicaciones por "Dispersión Troposférica", y quiero al respecto hacer un pequeño estudio acerca de las características teóricas y posibilidades reales que este sistema ofrece a las comunicaciones aeronáuticas de punto a punto entre Quito y Guayaquil.

#### LA DISPERSION TROPOSFERICA

Cuando estudiábamos la propagación troposférica y hablábamos de la intensidad de campo obtenible detrás del horizonte, aplicando la teoría de la difracción electromagnética, habíamos dicho que esta debía ser despreciable si consideramos las pérdidas que sufre la señal en una trayectoria rectilínea. Sin embargo, investigaciones sobre el terreno demostraron, que frecuencias mayores que 80 Mc/s. eran recibidas en puntos más allá del horizonte, a niveles constantes y con valores más elevados que los calculados por la teoría de la difracción. A tal punto llegaba la consistencia de los niveles registrados que se ha comprobado prácticamente que circuitos que utilizan este modo de propagación ofrecen confiabilidades de hasta el 99.99% del proceso de la dispersión troposférica no ha sido explicado satisfactoriamente todavía, pero puede considerarse como una dispersión del haz de señal emanado por el transmisor, en irregularidades fortuitas de la atmósfera inferior, debidas o producidas por variaciones del índice de refracción; fenómeno al cual nos referimos en la segunda parte de esta tesis. Al respecto, se han formulado varias teorías, pero la mayoría de ellas pue-

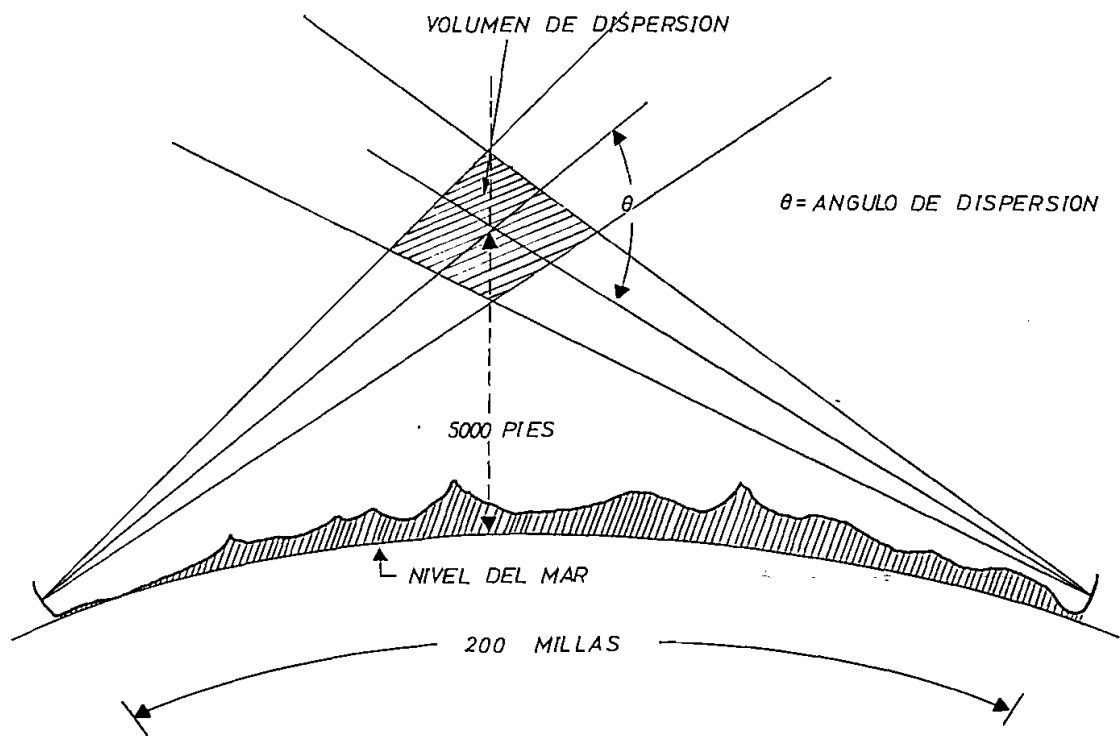


FIG. (1)-III

DIAGRAMA DEL PASO POR DISPERSION TROPOSFERICA

den agruparse bajo las siguientes categorías:

a) Dispersión debidas a turbulencias atmosféricas

b) Reflexión desde capas horizontales

Es indudable que esta clase de propagación puede aplicarse a las dos categorías enunciadas, siendo el valor del índice refractivo de la atmósfera el que le haga pertenecer en determinado instante a cualquiera de ellas.

El fenómeno general de la dispersión se ilustra en la figura (I-III).

En el sistema se emplean antenas de alta ganancia y la desviación de la señal, se cree que ocurre principalmente en las áreas oscuras de la figura (I-III), a las mismas que se las denomina VOLUMEN COMUN. La señal de radio llega al volumen común - siguiendo las leyes normales de la propagación y luego se desvía hasta llegar nuevamente a la superficie terrestre por efecto de cambios en la densidad y en el contenido de humedad de la atmósfera con relación a la altitud. Después de dispersarse en el volumen común, parte de la señal llega al receptor siguiendo las leyes normales de la radiopropagación.

La localización del volumen común depende de la distancia que separa a los puntos transmisor y receptor. Si la trayectoria del haz se obtiene "apuntando" las antenas, al horizonte, con un ángulo de cero grados existirá una relación definida entre la longitud de la trayectoria y la altura del volumen común como se observa en la TABLA 1 ( ) (Electrónica Internacional Sep.1962, pág. 19.)



TABLA I

Longitud de la trayectoria	Altura del volumen de Dispersión
100 millas	1000 <sup>a</sup> 4000 pies
200 millas	2000 <sup>a</sup> 10000 pies
400 millas	10000 <sup>a</sup> 20000 pies

### PERDIDAS EN LA DISPERSION TROPOSFERICA

Las pérdidas en la dispersión se definen como la pérdida adicional que sobre la pérdida en el espacio libre ocurre en la transmisión en trayectoria rectilínea. Los valores de estas pérdidas pueden ser investigados por medios estadísticos y están expuestos a diversos tipos de desvanecimiento o variaciones del nivel con respecto al tiempo, siendo estos:

- a) Desvanecimiento rápido.- Son variaciones del valor de intensidad de campo eléctrico que ocurren en valores pequeños de tiempo, como un segundo por ejemplo, y debidos especialmente a efectos de trayectorias múltiples.
- b) Desvanecimiento Lento.- Esta clase de variación se debe a cambios en el índice de refracción de la atmósfera y se observan cada cierto tiempo más o menos largo, que depende en mucho del tiempo atmosférico.
- c) Desvanecimiento por cambio estacional.- Entre las diferentes épocas del año pueden existir grandes diferencias en el nivel de señal recibida.

Siendo estas diferencias más apreciables en trayectorias cortas que en largas, debido a las condiciones más estables de tempera-

tura y humedad en las capas de dispersión más elevadas. En general, la pérdida por dispersión se reduce al mínimo en los períodos diurnos de verano. Los períodos peores de propagación por dispersión, ocurren durante las noches invernales. En resumen se puede advertir que el clima y el tiempo, además de las irregularidades del terreno, juegan un papel importante en la determinación de la intensidad de campo y el desvanecimiento de una señal en la dispersión troposférica.

#### PERDIDAS PRODUCIDAS POR EL CAMBIO EN EL ANGULO DE ENFOCAMIENTO DEL HAZ

La forma de enfocar el haz de señal para conseguir la comunicación entre dos puntos por medio de la dispersión troposférica puede ser visualizada en la gráfica siguiente. Figura (2-III) El nivel dibujado está basado en la modificación del horizonte geográfico real, tomando en cuenta el cambio del índice de refracción o sea multiplicando por el factor  $4/3$ ; caso al cual nos referimos en la segunda parte de esta tesis.

Para el caso en el cual las alturas de las antenas pueden ser consideradas como cero, sobre una tierra plana y sin obstáculos, el ángulo de dispersión indicado en la gráfica (2-III) será igual al ángulo formado por las dos estaciones en el centro de la tierra, como se demuestra a continuación.

Con ayuda del gráfico de la fig. (2-III).

$$\begin{aligned} \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 &= 180^\circ & ; & & \theta_3 &= 180^\circ - \theta_1 - \theta_2 \\ \theta_1 + \theta_3 + \theta_4 &= 180^\circ & \text{además} & & \theta_3 &= 180^\circ - \theta_3 - \theta_4 \\ \theta_1 + \theta_3 &= 90^\circ & & & \theta_3 &= 180^\circ - (90 - \theta_1) - (90 - \theta_2) \\ \theta_2 + \theta_4 &= 90^\circ & & & \theta_3 &= 180^\circ - 180^\circ + \theta_1 + \theta_2 \\ \theta_d + \theta_5 &= 180^\circ & & & \theta_3 &= \theta_1 + \theta_2 \end{aligned}$$

POR TANTO

$$\theta = \theta_d$$

Para el caso en el que la Tierra presenta irregularidades el ángulo  $\Theta$  puede ser calculado de la siguiente manera

$$\Theta = \Theta_0 - \Theta_1 - \Theta_2$$

$$\Theta_0 = \frac{d}{R}$$

$$\Theta_1 = \frac{h_1 - h_1'}{d_1} + \frac{d_1}{2R}$$

$$\Theta_2 = \frac{h_2 - h_2'}{d_2} + \frac{d_2}{2R}$$

Fórmula en la cual

$R = \frac{4}{3}$  del radio de la Tierra

$d =$  longitud circular del paso

$h_1 - h_2 =$  alturas de las antenas sobre el nivel del mar

$h_1' - h_2' =$  las alturas de los horizontes para las antenas en consideración

$d_1 - d_2 =$  Las distancias entre los horizontes y las alturas

Valores típicos del ángulo de dispersión están entre 1 y 4 grados.

Es necesario que en el enfocamiento se mantenga el ángulo tan pequeño como sea posible, pues, mediciones efectuadas han demostrado que por cada grado de aumento en el ángulo, se introducen pérdidas equivalentes a 10 decibeles, aproximadamente.

FORMULA EMPIRICA DE YEH PARA LA DETERMINACION DE LAS PERDIDAS EN EL PASO DE LA SENAL.

Sobre este tema se han realizado varios trabajos, largos y bastante complicados, que han dado como resultado fórmulas empíricas; que al igual que la siguiente son muy utilizadas en el diseño de radio-enlace:

$$L_p = LFS + L_s - 0.2 (NS-310) \text{ Db.}$$

LFS = pérdidas en el espacio libre, que a su vez está determinado por:

$$LFS = 36.6 + 20 \log d_{mi} + 20 \log f' \text{ (Mc/s)} \text{ (dB)}$$

donde  $d_{mi} =$  longitud del paso en millas

$f' \text{ (Mc)} =$  frecuencia de la portadora en Mc/s.

además

$L_s =$  pérdida promedio anual por dispersión

$$L_s = 57 + 10 (\theta - 1) + 10 \log \frac{(fmc)}{400} \text{ dB}$$

$\theta_d =$  ángulo de dispersión en grados

$fmc =$  frecuencia de la portadora en Mc/s

Esta fórmula empírica está basada en los siguientes estudios experimentales:

- a) Las pérdidas por dispersión dependen de la frecuencia de operación y también del ángulo de dispersión.
- b) La pérdida por dispersión con un ángulo de 1 grado (equivalente a una distancia de 90 millas) es 57 decibelios a una frecuencia de 400 Mc/s.

El tercer término  $0.2 (N_s - 310)$  es un factor de corrección que resulta de la variación del índice refractivo de la atmósfera, probable en varias partes del mundo.

Según la definición de CCIR en la recomendación No. 312 del año 1959:

$$N_s = 10^6 (n_s - 1) \quad n_s = \text{índice refractivo de la atmósfera en la superficie terrestre.}$$

Si combinamos los tres términos tendremos:

$$L_p = 57 + 10 \theta + 20 \log dmi + 30 \log f (mc/s) - 0.2 (N_s - 310) \text{ dB.}$$

Como se puede observar en la fórmula, las pérdidas dependen del valor variable  $N_s$ , lo que traería como consecuencia el que el valor de la atenuación varíe a través del año, con los cambios climáticos. Como es necesario dar al circuito un margen de con-

fiabilidad, a pesar de estas variaciones, se toma para el diseño el valor de  $N_s$  que de el máximo de atenuación para la localidad en particular.

#### DIVERSIDAD

La señal transmitida por medio de la dispersión troposférica sufre dos clases de desvanecimiento; uno que puede considerarse, tiene una variación lenta con respecto al tiempo y la otra que corresponde a un desvanecimiento que ocurre a una gran frecuencia o dicho de otro modo con pequeños intervalos de tiempo. Las dos clases de desvanecimiento pueden ser visualizadas en la gráfica (4-III).

Para contrarrestar este desvanecimiento debemos dar un margen de seguridad al diseño, basado en el cálculo de las pérdidas. En el caso del desvanecimiento lento, tenemos que añadir a las pérdidas valores tales como 13 decibelios para una confiabilidad del sistema del 90 % 23 decibelios para el 99% y 33 decibelios para el 99.99%. Esto significaría que para que el circuito opere en buenas condiciones por lo menos el 99.99% del tiempo de utilización del sistema; se debe añadir al peor mes del año 33 decibelios de pérdidas, las cuales deberán ser compensadas incrementando la potencia de salida del transmisor, lo que significaría un considerable incremento en la complejidad y consecuentemente en el costo de las instalaciones. A los desvanecimientos largos se debe añadir los valores correspondientes al desvanecimiento rápido, lo que incrementa aún más las exigencias de compensación de pérdidas.

Con el fin de compensar las dos clases de desvanecimiento de la señal sin tener que recurrir al encarecimiento del equipo, se u-

utiliza la DIVERSIDAD, cuya utilidad proviene del hecho comprobado experimentalmente, que entre dos puntos separados por lo menos 100 longitudes de onda, la señal recibida por dos antenas no tienen ninguna relación entre si, pudiendo tomar, por lo tanto, la que de ellas tenga un nivel aceptable. A la primera se le conoce con el nombre de DIVERSIDAD DE ESPACIO y a la restante con el de DIVERSIDAD DE FRECUENCIA.

Se ha encontrado también un método de combinar las dos clases de diversidad, al mismo que se lo ha denominado DIVERSIDAD CUADRUPLE, uno de cuyos arreglos se encuentra en la figura (5-III).

#### SISTEMA DE CUADRUPLE DIVERSIDAD

Un servicio como el de las comunicaciones aeronáuticas requiere siempre del equipo doble, puesto que debe mantener al mínimo la posibilidad de falta del servicio. Partiendo de esta base, podemos decir que el sistema de cuádruple diversidad resulta el más conveniente, puesto que utiliza de una manera efectiva cada una de los elementos del sistema.

En la cuádruple diversidad la señal es alimentada a dos unidades excitadoras y luego a las unidades de potencia operando en diferentes frecuencias para luego ser introducidas en diferentes antenas. En la estación receptora las antenas captan las dos frecuencias y las introducen a cuatro receptores, a la salida de las cuales las señales se combinan para obtener un nivel adecuado a las exigencias del grado de confiabilidad. Como las exigencias de las comunicaciones en la aviación determinan la existencia de un sistema doble, el aumento de costo que podría significar la cuádruple diversidad, queda justificado, al -

utilizarse mejor el sistema de emergencia. En caso de falla de uno de los ramales el sistema general seguiría funcionando como doble diversidad, con lo cual el servicio quedaría sin interrumpirse, aunque con un porcentaje de error incrementado.

#### PARAMETROS GENERALES DE LOS EQUIPOS A USARSE

En la dispersión troposférica la magnitud de las pérdidas es considerable, lo que hace necesario que las potencias de transmisión sean elevadas o que las ganancias de las antenas sean considerables, así como también el nivel de ruido de los receptores debe mantenerse en niveles bastantes bajos. Además, como la dispersión troposférica se usa en la actualidad en sistemas de comunicaciones radiotelefónicas de alcance extendido, el equipo debe diseñarse de tal manera que pueda acoplarse fácilmente a instalaciones ya existentes. Esto para el caso de la Aviación Civil reviste gran importancia por cuanto el servicio aire-tierra encuentra en la transmisión en M. A. F. de alcance Extendido un auxiliar muy importante que en los últimos tiempos ha encontrado gran auge.

El método de modulación aconsejado para ajustarse al requisito anterior, sería el de F.M. (modulación de frecuencia) con sistema MULTIPLEX, que son usados en cualquier sistema normal de M. A. F.

La banda de frecuencia utilizada para este sistema de propagación es la comprendida entre los 600 y 5,000 Megaciclos, -

siendo las frecuencias alrededor de 1.000 Mc/s las más empleadas por cuanto existe la dificultad de conseguir equipos que trabajen con gran potencia en frecuencias más elevadas que la anotada.

#### SISTEMA DE TRASMISION

Un típico transmisor en dispersión troposférica consta de una unidad excitadora y un amplificador de potencia de R. F.

La unidad de excitación debe aceptar dos entradas una de ellas destinada al tráfico de información y otra a canales de control para reparación y mantenimiento del sistema. Estas dos entradas son alimentadas a un modulador de frecuencia, el cual luego de modularle la eleva de frecuencia hasta los 70 Mc/s., frecuencia intermedia standard.

Un control de frecuencia automático, añadido al equipo, asegura que la frecuencia excitadora se mantenga dentro de los límites requeridos. Luego la señal de 70 Mc/s. es mezclada con la salida de un oscilador controlado a cristal, para obtener la señal de 900 Mc/s. a un nivel que oscila entre cinco y diez vatios, según el diseño.

La etapa de potencia del transmisor eleva el nivel de la señal hasta 1KW, 10, o 100 KW. Las condiciones de requerimientos de potencia, y de costos de operación se inclinarían por el uso de una potencia de salida de 1 KW., puesto que el costo de mantenimiento se acercaría más al que produce un sistema de línea visual.

Sin embargo, con el advenimiento del KLYSTRON, los costos de

---



operación y mantenimiento se han reducido a un nivel aceptable. En las válvulas controladas por grilla, el "tiempo de tránsito" de las mismas, limita la frecuencia de trabajo. La rigidez mecánica del Klystron asegura gran estabilidad eléctrica y mecánica de la unidad, la cual, una vez sintonizada, no requiere ajustes ulteriores en períodos de tres o cuatro meses. Además, como los circuitos de neutralización no son necesarios, ya que no existe interacción entre las cavidades; cuando se sintoniza un transmisor a Klystron es aproximadamente de 15.000 horas en servicio, podemos afirmar que el Klystron es una unidad aconsejada para trabajar en estaciones remotas, con poca o ninguna atención.

#### DUPLEXER

En la dispersión troposférica, los elementos más costosos constituyen las antenas, por lo cual un sistema de diversidad elevaría el costo considerablemente si tuviéramos que emplear una antena por cada uno de los ramales, este inconveniente se elimina aprovechando una antena tanto para transmisión como para recepción. Esto se hace posible mediante el Duplexer.

En las Muy Altas Frecuencias y Ultra Altas Frecuencias la forma de duplexer más utilizada es la llamada "T MAGICA". Esta antena se basa en el principio de propagación de una onda electromagnética en una guía de onda. Un arreglo esquemático del elemento mencionado se muestra en la figura 6-IV. El funcionamiento de la "T MAGICA" puede comprenderse mejor

si la dividimos en dos partes: La unión serie y la unión paralelo. Esta división está graficada junto con la representación del campo eléctrico desarrollado en las dos uniones, de estas pueden deducirse que las ondas se propagan de un modo que no se interponen entre sí.

Teóricamente la T mágica no depende de la frecuencia de operación, sin embargo, en la práctica ocurre un pequeño desbalance en la impedancia de entrada, este desbalance puede compensarse con pequeños pernos de sintonía localizados en el interior de las guías de onda.

#### MUY ALTA FRECUENCIA DE ALCANCE EXTENDIDO

Una de las ventajas de instalar un sistema de dispersión troposférica en la Dirección de Aviación Civil, es que se podría utilizarla para comunicaciones aire-tierra con mucha ventaja. Cuando observamos la forma de variación de la intensidad de campo eléctrica en función de la distancia, de la señal recibida por un avión; podemos distinguir tres regiones como se indica en la figura (7-III)

La región a) cae dentro del radio-horizonte donde los niveles de transmisión en espacio libre dependen de las interferencias y reflexiones en la tierra, esto hace que la intensidad de campo caiga rápidamente al llegar al horizonte.

En la región b) encontramos la clásica difracción de la onda, en la cual la intensidad cae rápidamente con el incremento de la distancia.

En la región c) el número de componentes de la señal son pro-

ducidos por dispersión en la atmósfera. La característica de esta región es que la atenuación con respecto a la distancia es bastante baja (aproximadamente 0,17 dB por milla náutica) si la comparamos con la que ocurre en el espacio libre.

En las comunicaciones actuales de la aviación se utilizan las regiones a) y b) y por lo regular los sistemas en M.A.F. utilizan la región a).

Sin embargo, si trabajamos en la región c), podemos obtener un nivel de señal más constante, con la variación de distancia, asunto bastante importante en las comunicaciones aeronáuticas, en las cuales el avión necesita constante información desde tierra, con referencia del tránsito aéreo. Para conseguir trabajar en la región c), debemos transmitir la información desde tierra con gran potencia, razón por la cual algunos autores llaman a este método de propagación, el de la "FUERZA BRUTA".

#### SISTEMA DE RECEPCION

El receptor para este sistema no ofrece ninguna novedad en cuanto a su diseño, pues, se puede utilizar un receptor profesional de tipo común, aunque el grado de confiabilidad que exige el sistema puede ser alcanzado, añadiendo amplificadores de bajo factor de ruido entre la antena y el receptor. En la actualidad, se utilizan mucho los amplificadores a diodo tunel que ofrecen coeficientes de ruido que se reducen hasta

los 4,5 dB.

Facto muy importante en el sistema de recepción constituye la elección de antenas, las mismas que en la dispersión troposférica son comunmente parabólicas con diámetros que van desde los 10 hasta los 40 metros.

Un sistema típico de recepción en dispersión troposférica - constaría de los siguientes elementos:

- a) Un preselector
- b) Un preamplificador de bajo ruido
- c) Un receptor
- d) Un combinador de diversidad

El número total de elementos del sistema, dependería del método de diversidad utilizado.

La señal entra en el preselector, constituido por elementos eléctricos pasivos, usualmente filtros multicavidad. La banda de paso de este filtro estaría centrado en la frecuencia de recepción.

La salida del filtro provee un ancho de banda en la cual se hallan eliminadas todas aquellas frecuencias con un valor del 10% de la frecuencia de recepción, las mismas que se atenúan por lo menos en 100 dB.

En el preamplificador de bajo ruido se trata de reducir al mínimo el ruido producido en los receptores normales, por efecto de la temperatura en las primeras etapas. Para conseguir este objetivo, los díodos túnel, como dijimos, son utilizados eficientemente.

Luego del amplificador de bajo ruido, la señal es introducida al receptor que puede estar constituido por un equipo común.

En el combinador la mejor de las señales es escogida, conectando los detectores y los elementos de control automático de ganancia de los receptores en paralelo. La ventaja de este método es, que el receptor que ha captado la señal más fuerte suministra un voltaje del C.A.G. al receptor o receptores que poseen una señal de más bajo nivel, de tal manera que la amplificación en la parte de audio, permanece constante y con un porcentaje de ruido bastante reducido.

Además, uno de los osciladores de los receptores, controla al resto, consiguiendo con esto, que todos ellos estén sintonizados a la misma frecuencia.

#### ESTIMACION DE LAS PERDIDAS EN DISPERSION TROPOSFERICA PARA EL ENLACE QUITO-GUAYAQUIL

Aplicando la fórmula de YEH estudiada anteriormente, tenemos :

$$L_p = LFS + L_s - 0.2 (N_s - 310) \text{ dB.}$$

$$LFS = 36.6 + 20 \log d_{mi} + 20 \log f$$

$$L_s = 57 + 10 (\theta - 1) + 10 \log \frac{f}{400}$$

$$d_{mi} = 169 \text{ millas}$$

$$f = 900 \text{ Mc/s}$$

$$\theta = \frac{180 \times 169}{\times 5280} = 1.8^\circ$$

$$LFS = 36.6 + 20 \log 169 + 20 \log 900$$

$$LFS = 36.6 + 20 (2,228) + 20 (2,954)$$

$$LFS = 36.6 + 44.6 + 59$$

$$LFS = 140.2$$

$$LS = 57 + 10 (1.8-1) + 10 \log 2.25$$

$$LS = 57 + 8 + 0,352 \times 10$$

$$LS = 57 + 8 + 3,52$$

$$LS = 68.52$$

$$Lp = 140.2 + 68.52 - 0.2 (325-310)$$

$$Lp = 140.2 + 68.52 - 3$$

$$Lp = 205.72 \text{ dB}$$

Este cálculo ha sido realizado con base de la trayectoria mostrada en la figura (8-III).

Además, considerando las márgenes de seguridad que debemos añadir al sistema, para una confiabilidad del 99.99%, tenemos que sumar :

$$205.72 + 20 = 225.72 \text{ dB}$$

Para el caso de la Aviación Civil el número de canales necesario es de seis, y para este número de canales, tenemos receptores que trabajan hasta con -134 dbw de nivel que podría variar, en el caso de necesitarse un número menor de canales, según la tabla siguiente :

Número de canales telefónicos	1	2	6
Nivel de umbral	- 148	- 140	- 134
Relación Señal/RUído En el Umbral	37	34	34

Si utilizamos transmisores de estado sólido que pueden -  
rendir hasta 10 vatios de potencia, equivalentes a 12 dBW,  
tendríamos en el receptor un nivel de -213; por lo tanto,  
la ganancia de antena debería ser de 79 dB.

A esta ganancia deberíamos añadir, por lo menos, 15 dB -  
para dar al sistema un margen de eficiencia del 99.99%,  
debido a que el rendimiento de la antena, en ningún caso,  
llega al 100%. Estas consideraciones se han hecho en base  
a la utilización de cuádruple diversidad.

...cerca, el uno del otro, sería necesario disponer las an-  
tenas de tal manera que su ángulo de radiación sea bastante e-

levado, lo cual trae como consecuencia, el que se deba usar antenas con pequeña o ninguna ganancia. En este caso las pérdidas por desvanecimiento más los márgenes de protección serían descontados únicamente con transmisores más potentes. El ángulo elevado de incidencia en la capa F reduciría la frecuencia máxima usable (M.F.U.), aproximadamente a los 4 megaciclos, durante la noche y a los 5 Mc/s durante el día; la frecuencia mínima usable (M.F.U.) quedaría reducida a los 2.5 Mc/s. Como se comprenderá fácilmente, el ancho de banda utilizable, en estas condiciones, queda muy reducido y el número de canales de tráfico es relativamente bajo. En la práctica esto se traduce en series interferencias entre las diferentes estaciones que operan en la banda en cuestión.

Otro de los inconvenientes que presentan las A. F. están relacionadas con las comunicaciones telegráficas por teleimpresor, las mismas que pierden su efectividad en un 20%, debido al retardo de hasta ocho milisegundos que sufre la señal, debido al desvanecimiento rápido que produce una dispersión de hasta el 40%. Todo lo expuesto, sumado a los desvanecimientos rápidos de la señal, causados por los cambios repentinos de la altura de las capas ionosféricas, la interferencia notoria producida por los ruidos "artificiales", más problemáticos en centros industriales, desalientan hoy en día la instalación de un circuito para operar en la banda de altas frecuencias.

Con relación a las comunicaciones que utilizan como medio de transmisión la tropósfera, podríamos decir que varios de los in-

---



convenientes encontrados en las altas frecuencias han desaparecido, como son aquellos de la dependencia ionósferica, de la interferencia debida a la proximidad de las estaciones, la utilización de antenas de baja ganancia, etc., sin embargo, se siguen manteniendo los desvanecimientos tanto lentos como rápidos, pero debido a motivos diferentes.

Un factor determinante en pro de la utilización de un sistema en M.A.F. es el ancho de banda utilizable, que permite unir dos puntos con un mayor número de canales haciendo el costo de operación más barato, asunto digno de tomarse en cuenta en el rendimiento económico de un sistema. A pesar de esto, el hecho de que las comunicaciones en Muy Altas Frecuencias tengan un comportamiento análogo a la transmisión de un haz de luz, la obligan a utilizar las llamadas "estaciones repetidoras", incrementándose la inversión inicial de instalación. Esto trae consigo una serie de inconvenientes en el mantenimiento del sistema, puesto que las repetidoras están por lo general localizadas en lugares despoblados, o de difícil acceso, lo que demanda un gasto extra en guardianes, en movilización, y en técnicos de mantenimiento.

Para el caso del enlace Quito-Guayaquil, que requiere apenas de seis canales, sería solución instalar un sistema de M.A.F., debido al mayor grado de confiabilidad que ofrece.

Sin embargo, la dispersión troposférica puede aprovechar - las ventajas de costo de los sistemas de A.F y el ancho de banda de los sistemas de M.A.F. Desgraciadamente, en la actualidad todos los equipos para dispersión troposférica son elaborados con capacidad para varios cientos de canales, magnitud demasiado elevada para nuestro caso. De todas maneras, creo que la solución más práctica es la de dispersión troposférica con capacidad para pocos canales, de tal manera que el costo de este sistema pueda equipararse con el de Altas Frecuencias.

En lo referente a la economía de los sistemas, he creído - conveniente realizar investigaciones acerca del costo inicial de los sistemas en estudio, desgraciadamente, sólo me ha sido posible encontrar presupuestos de los sistemas de - A. F. y M.A.F., los cuales presento a continuación, en forma detallada. En lo que se refiere al sistema por dispersión troposférica son todavía escasas las fábricas que están construyendo equipos para esta clase de comunicaciones, y todas ellas lo están haciendo para un número de canales bastante - grande; la dispersión troposférica a línea delgada, está todavía en proceso de planificación.

#### PROPUESTA DE LA CASA "A" PARA UN SISTEMA EN A. F.

A continuación reproduzco una oferta de la casa "A", la misma que presenta la propuesta con los precios en dólares de - los EE.UU. El precio al que se refieren es el FOB; debiéndolo-

se aumentar el equivalente del 5% para obtener el CIF Guayaquil.

Este oferente incluye en su propuesta, folletos explicativos, con las características tanto físicas como eléctricas de los equipos, los mismos que por razones obvias no incluyo en esta tesis.

Es necesario anotar que la Casa no contempla los gastos de instalación, los mismos que deben correr a cargo de la DAC. Considero que el 5% del costo total deja margen suficiente para este rubro.

OFERTA DE LA CASA "A" PARA CIRCUITO QUITO-GUAYAQUIL EN ALTAS  
FRECUENCIAS

No.	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO DOLARES US\$	PRECIO TOTAL DOLARES US\$
1	Relé de antena para ser montado en unidad de FR, tipo - 215	8	185	1.480,00
2	Unidad conversora de frecuencia para ser alojada en el mismo gabinete de la unidad de RF SFE215	8	1.325,00	10.600,00
3	Fuente de poder de 250V utilizado en el equipo con el No.2	4	250,00	1.000,00
4	Premodulador FSK	2	1.550,00	3.100,00
5	Combinador Twimplex	2	515,00	1.030,00
6	Demodulador de tono	4	970,00	3.880,00
7	Premodulador ISB para dos canales telefónicos con un ancho de banda de 6 Kcs.	2	2.450,00	4.900,00
8	Panel de filtros	2	145,00	290,00
9	Receptores de telegrafía con doble diversidad para el rango de frecuencias de 1,8-31 mc/s.	2	6.640,00	13.280,00

No.	DESCRIPCION	CANTI- DAD	PRECIO UNITARIO DOLARES US\$	PRECIO TOTAL DOLARES US\$
10	Equipo de recepción ISB para recepción de señales en la banda de 1.8 31 Mc/s apropiado para la recepción de dos canales telefónicos	2	5.610,00	11.220,00
11	Modulador de tono	4	910,00	3.640,00
12	Unidad excitadora de teleimpresor	4	645,00	2.580,00
13	Antenas dipolo con todos los materiales para su instalación	8	175,00	1.400,00
14	Líneas de transmisión con todos los accesorios para su instalación	8	735,00	5.880,00
15	Mástiles de antena con sus accesorios, para 30m. de altura	4	930,00	3.720,00
16	Mástiles de antena con todos sus accesorios para 15m. de altura	2	465,00	930,00
17	Antenas para recepción completa con mástiles	2	1.225,00	2.450,00
18	Cable coaxial 100 mts.	6	45,00	270,00

No.	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO DOLARES US\$	PRECIO TOTAL DOLARES US\$
19	Unidad de alimentación de 1KW (fuente de alimenta - ción)	4	3.250,00	13.000,00
20	Unidad de RF para trasmi - sor	4	2.885,00	<u>5.770,00</u>
			<u>TOTAL.....US\$</u>	<u>90.420,00</u>

## PROPUESTA DE LA CASA "B" PARA EL ENLACE EN M.A.F.

La Casa inglesa "B" presentó la propuesta que incluyo a continuación. En la propuesta tampoco se incluyen los gastos de instalación y también habrá que añadirle el porcentaje correspondiente para convertirlo en precios FOB, los precios están dados en dólares americanos, reservándose la Casa el derecho de variar estos precios por variaciones que pudiera sufrir el equipo luego de las mediciones de campo que necesariamente habría que realizarse.

Como las estaciones de Quito y Guayaquil tienen las mismas características solamente incluyo el precio de una de ellas para luego hacer la duplicación correspondiente en el resumen general.

Es necesario aclarar que todos los equipos son duplicados para dar mayor confiabilidad al sistema. Asi mismo, se han incluido en el presupuesto un buen stock de repuestos para el mantenimiento, en el caso de válvulas, estas se han considerado para el período de dos años y el resto de implementos se han previsto para el período que la fábrica aconseja, de acuerdo con el desgaste de los mismos.

En el caso de la repetidora de CHUGCHILAN se ha incluido el precio de dos generadores eléctricos a diesel con una capacidad de 5 KVA para la alimentación de los equipos y también para servicios en la vivienda del posible guardián.

PROPUESTA PRESENTADA POR LA CASA "B" PARA PROVEER EQUIPO  
EN MAF PARA ENLACE QUITO-GUAYAQUIL CON ESTACION REPETIDO  
DORA EN CHUGCHILAN

ESTACION REMOTA QUITO

No.	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
1-1	Equipo terminal doble de MAF con equipo completo para conmutación automática	1	67.884,00
1-2	Materiales de instalación		480,00
1-3	Torres de antena con todos sus ac- cesorios para la instalación	1	6.000,00
1-4	Arreglo de cuatro antenas YAGI de seis elementos	2	4.500,00
1-5	Cable coaxial tipo HM 4AIM	30 mts.	360,00
1-6	Cable de alimentación tipo UR57	50 "	12,00
1-7	Equipo de instalación	1 "	1.300,00
1-8	Equipo de repuestos: válvulas, cristales, transistores, etc.		<u>1.100,00</u>
SUBTOTAL. . . . .			<u>US\$ 81.636,00</u>



ESTACION TERMINAL QUITO

<u>No.</u>	<u>D E S C R I P C I O N</u>	<u>PRECIO TOTAL</u>
3-1	Equipo Múltiplex equipado para 6 canales	36.000,00
3-2	Equipo Telegráfico Vf. equipado para seis canales	12.000,00
3-3	Herramientas y materiales de - instalación	1.200,00
SUBTOTAL.. . . . .		<u>US\$ 49.200,00</u>

ESTACION REPETIDORA EN CHUGCHILAN

<u>No.</u>	<u>D E S C R I P C I O N</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO TOTAL</u>
2-1	Equipo duplicado MAF., radio terminal con cambio automático	2	135,768,00
2-2	Materiales de instalación	3 sets.	1,200,00
2-3	20 mts. de torres de acero con todos sus accesorios para instalación		12,000,00
2-4	Arreglo de 4 antenas YAGI de 6 elementos	6	24,000,00
2-5	Cable coaxial tipo HM4ALM	200 mts.	1,200,00
2-6	Cable dieléctrico tipo UR57		36,00
2-7	Equipo de repuestos		3,600,00
2-8	Receptores y transmisores de 50 Watos para la banda de MAF		12,000,00
2-9	Equipo Múltiplex tipo R24B equipado para 6 canales	1	36,000,00
2-10	Generadores eléctricos a DIESEL enfriados por aire para 5 KVA	2	5,600,00
SUBTOTAL. . . . .			US\$231,404,00

RESUMEN DEL COSTO DEL SISTEMA DE M.A.F.

ESTACION CHUGCHILAN	US\$	231.404,00
ESTACION QUITO		130.836,00
ESTACION GUAYAQUIL		<u>130.836,00</u>
TOTAL		493.076,00

Para poder hacer una comparación, deberíamos efectuarla entre los precios por canal para cada uno de los sistemas.

PRECIO POR CANAL EN A.F.	US\$	45.210,00
PRECIO POR CANAL EN M.A.F.		82.179,00

Como se verá el precio de los dos sistemas están aproximadamente en una relación dedos a uno, la misma que aumenta cuando consideramos los gastos de ingeniería civil y mantenimiento que irían a incrementar el costo del sistema de M.A.F.

Lo anterior podría significar una ventaja del sistema de A.F.; pero si consideramos que en breve tiempo el incremento de tráfico, exigirá la instalación de nuevos canales; para el caso de M.A.F., el costo será muy reducido, no así para el sistema A.F. que prácticamente requerirá de un sistema completo adicional.

En definitiva, en la actualidad es más económico instalar un sistema de A.F., pero en el futuro esta economía va de creciendo con el número de canales que se va añadiendo al sistema.

Si representamos aproximadamente el gráfico de variación -

del costo de los dos sistemas tendrían la forma mostrada en la figura (I-IV)

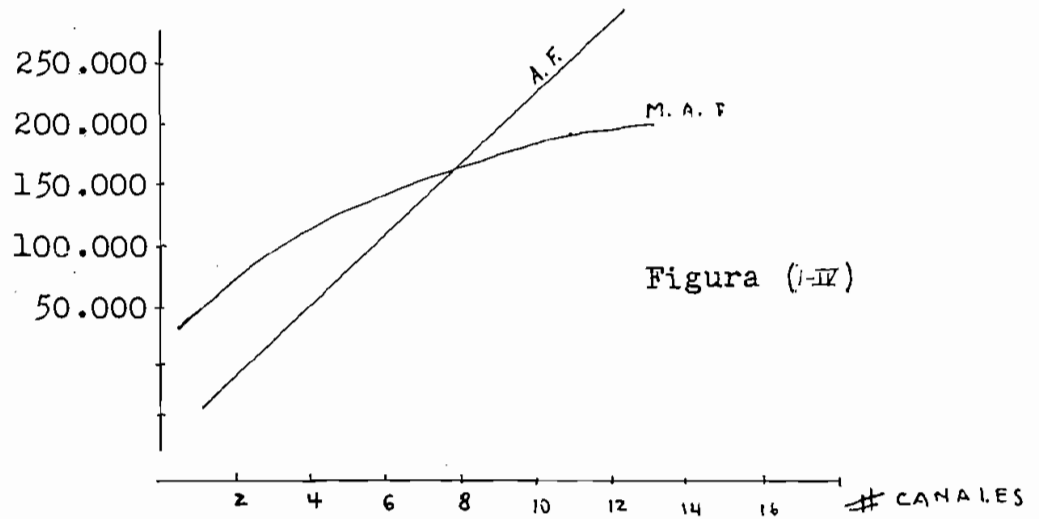


Figura (I-IV)

## GASTOS DE INGENIERIA CIVIL

Es necesario recordar que los alojamientos de comunicaciones con que cuenta la DAC., son utilizables para este proyecto, por lo cual en el caso del sistema de A.F. no es necesario considerar el costo de nuevas construcciones. Para el caso de M.A.F. lo dicho es válido solamente en forma parcial, puesto que la estación repetidora de Chugchilán requiere de una caseta para alojamiento del equipo electrónico como también para el grupo electrógeno. Además, se debe considerar también la construcción de una casa que sirva de vivienda a un guardián; todos estos gastos, considerando la experiencia de construcciones similares, como son las estaciones VOR que posee actualmente la DAC pueden alcanzar un valor bastante aproximado de 4.000,00 dólares U.S.A. Para llegar a esta consideración se ha tomado en cuenta las características del lugar de emplazamiento que son las siguientes: El punto se encuentra localizado a 350 metros de una derivación de la carretera Latacunga-Guayaquil, cuya distancia a la misma es de 15 Km. Se podría construir un camino espedrado desde la derivación hasta el lugar de emplazamiento con un costo aproximado de 2.000,00 dólares. La derivación misma es carrozable y acusa gran tráfico de buses y camiones. Aproximadamente a unos cien metros del lugar existe una fuente de agua que puede ser utilizada inclusive como potable. Las casetas de alojamiento costarían aproximadamente otros 2.000 dólares.

## CONCLUSION FINAL

Hechas las consideraciones anteriores, creo que la instalación de un sistema de M.A.F. sería lo más conveniente para la Dirección de Aviación Civil, puesto que el mismo ofrece mayor confiabilidad y relativamente mayor economía. Además, el radio-enlace constituiría el paso inicial de lo que debe ser una de las metas de la DAC. el unir todos los centros aeronáuticos del país, que van creciendo a un ritmo acelerado y que alcanzarán en cortísimotiempo, un desarrollo imprevisto; con comunicaciones de gran calidad que haga más confiable la navegación aérea.

## FINANCIACION DEL SISTEMA

Como la Dirección de Aviación Civil es una Institución pública, no se puede hacer una consideración del rendimiento económico del sistema; pero creo que, además, del servicio prestado, la DAC podría financiar el costo de la instalación, así como también su mantenimiento, con un incremento reducido de los impuestos que pagan las compañías aéreas, el mismo que quedaría plenamente justificado e inclusive constituiría una gran economía para las empresas, puesto que podrían suspender el mantenimiento de sus propias redes de comunicaciones que constituyen multiplicación de esfuerzos, e incrementan considerablemente el costo de operación de las compañías aéreas.

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

- Ionospheric Radio Propagation, by Kenneth Davies, publicado por el National Bureau of Standards de la USA, en Noviembre de 1965.
- Point to Point Telecommunications, Febrero 1966. "Planning an H.F. Transmission circuit".
- Point to Point Telecommunications Junio 1968. "The 1964 -- Sempot Minimum and the next solar cycle".
- Point to Point Telecommunications Octubre 1963 "A new Approach to HF. Transmitting Station Design".
- Point to Point Telecommunications Febrero 1965 "The proper - ties of the Ionosphere which effect HF Transmission".
- Proceedings of the I.R.E. Mayo 1953, del artículo titulado - - "VHF" Ionosphere Propagation Review.
- Electronic Designers Handbook, by Robert W Landee.
- Point to Point Radio Relay Systems, publicado por RCA. Service Company Inc., Camden, N. J.
- Electrical Communication Volumen 36, 1959., artículo titulado "Refractive Index of the atmosphere as a factor in Tropospheric Propagation for beyond the Horizon, by R.E. Gray.
- Point to Point Telecommunications, febrero de 1964, del ar -- tículo titulado "Extended Range V.H.F.
- Point to Point Telecommunications, Octubre de 1965, del artícu -- lo titulado "The Potencialities of Thin Line Tropospheric - - Scatter".
- Informe final de Mission, de la Unidad de Frecuencias en Ecua -- dor, octubre 1963, enero 1964.