

CARLO, PEDRO ING.
 ESCUELA POLITECNICA DEL LITORAL

RESUMEN

Durante la instalación de un sistema de comunicaciones móvil en VHF en las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes ecuatorianos ocurrieron interferencias inesperadas con otro sistema de comunicaciones móvil. Las frecuencias asignadas a ambos sistemas eran iguales, pero por los obstáculos naturales y la distancia entre ambos puntos se había desestimado la posibilidad de interferencias. En este artículo se analiza el mecanismo de propagación que originó las interferencias y se presentan datos de refractividad atmosférica en Ecuador que son de interés para los ingenieros de telecomunicaciones.

INTRODUCCION

La Empresa Eléctrica Guayas-Los Ríos (Emelgur) decidió instalar una estación repetidora de radio en VHF para un sistema móvil en el sitio denominado cerro de Lourdes en la provincia de Bolívar. El sitio tiene una altura aproximada de 3480 metros y posee excelentes condiciones como punto de repetición para gran parte de la costa ecuatoriana. La frecuencia que el IETEL Región 2 había asignado a Emelgur era 168.475 MHz. La misma frecuencia había sido asignada años antes a la división de transporte de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE) para la operación de una estación repetidora en las faldas del Atacazo. Este punto de repetición tiene 3870 metros de altura y sirve de enlace entre Quito, Esmeraldas y Santo Domingo de los Colorados. La localización geográfica de estos dos puntos se muestra en la Figura 1.

Al iniciarse las pruebas de operación de la estación repetidora de Emelgur, la señal proveniente de la estación repetidora de CEPE ocasionó inmediatamente interferencias por lo que luego de dos semanas de prueba se decidió solicitar al IETEL un cambio de frecuencia de operación. La señal recibida fue estimada en un nivel superior a 2 µV en el terminal de antena del receptor. El transmisor de CEPE tiene una potencia efectiva radiada de 800 vatios o 29 dBW. La ganancia neta de antena del receptor es 7 dB por lo que las pérdidas totales del trayecto deberán ser menores que 167 dB si se usa -131 dBW co-

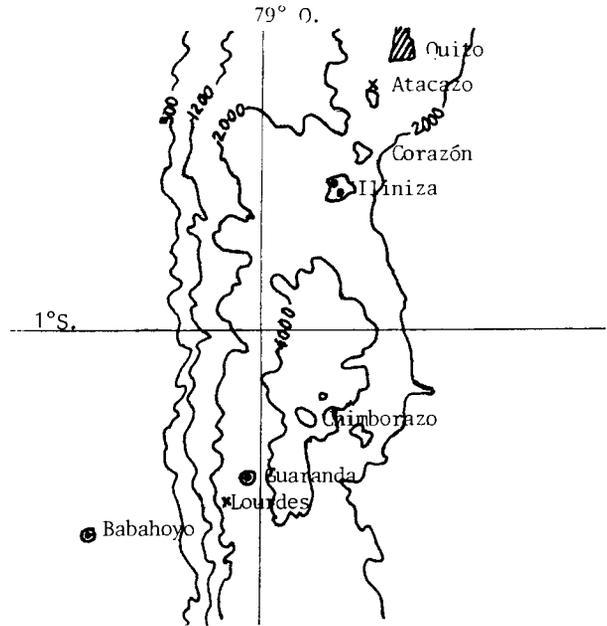


Figura 1.-Localización geográfica de las estaciones repetidoras en Lourdes y Atacazo.

mo el nivel de entrada del receptor y que corresponde al nivel estimado de señal recibida.

Haremos en las secciones siguientes los análisis correspondientes a distintos mecanismos de propagación con el fin de identificar el mecanismo responsable de las interferencias. Esta identificación es importante para ayudar en la coordinación de asignaciones de frecuencias entre las dos regiones y la reutilización del espectro de frecuencias dentro de una misma región.

1. REFRACTIVIDAD ATMOSFERICA EN EL ECUADOR

El conocimiento del índice de refracción atmosférica es primordial en la teoría de propagación de ondas de radio en la baja atmósfera o tropósfera. Las propiedades refractivas de la tropósfera se expresan por medio de la refractividad N dada por

$$N = (n-1) \times 10^{-6}$$

donde n es el índice de refracción de la atmósfera.

Una teoría basada en la polarización molecular de los gases de la atmósfera permite relacionar la re-

0025 10

fractividad con la temperatura T en grados Kelvin, con la presión atmosférica p en milibares, con la tensión de vapor de agua e en milibares y con la humedad relativa HR por medio de la relación

$$N = \frac{77.6}{T} (p + 4810 \frac{e}{T} HR) \quad (1)$$

Se aproxima el comportamiento de la refractividad N con la altura por medio de la relación

$$N = N_0 e^{-bh} \quad (2)$$

en donde N es la refractividad a la altura h

N_0 es la refractividad al nivel del mar

b es una constante

La constante K que relaciona el radio real R de la tierra con el radio efectivo a se puede encontrar a partir de

$$K = \frac{1}{1 + 6.37 \frac{dN}{dh}} \quad (3)$$

En las siguientes tablas hemos utilizado valores registrados por el Instituto Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología durante el año 1979.

TABLA I

PARAMETROS ATMOSFERICOS DE GUAYAQUIL (h=6 mts)

FECHA	HORA	T °K	p mb	e mb	HR %	N
22/12/79	7h00	296.1	998.16	22.9	81	340.56
22/12/79	13h00	303.0	996.84	22.8	54	305.36
22/12/79	19h00	301.0	995.39	21.9	58	308.95
8/ 5/79	7h00	296.1	996.18	23.5	85	346.11
8/ 5/79	13h00	303.8	995.13	24.2	55	308.02
8/ 5/79	19h00	303.0	993.82	28.3	59	322.41
7/ 9/79	7h00	293.6	997.63	19.4	79	330.04
9/ 5/79	7h00	298.0	997.11	28.4	84	359.92

TABLA II

PARAMETROS ATMOSFERICOS DE QUITO (h=2818 mts)

FECHA	HORA	T °K	p mb	e mb	HR %	N
22/12/79	7h00	278.0	721.97	7.5	87	233.04
22/12/79	13h00	284.9	720.92	8.0	38	210.34
22/12/79	19h00	284.6	720.79	11.0	78	236.07
8/ 5/79	7h00	285.7	721.58	9.9	68	226.77
8/ 5/79	13h00	293.4	721.18	11.2	47	213.56
8/ 5/79	19h00	288.2	720.53	9.1	53	215.68
7/ 9/79	7h00	283.0	721.32	8.8	72	209.37
9/ 5/79	7h00	285.1	719.74	9.8	70	227.40

De la observación de las tablas y haciendo cálculos con valores en fechas y horas iguales podemos deducir que N_0 varía entre 305 y 360 y que la constante b de la expresión 2 varía entre 0.1302 y 0.1633. Esto significa que K varía entre 1.34 y 1.60 al nivel del mar. Estos valores son superiores al valor consi-

derado normalmente para los cálculos de propagación que es $K=1.33$.

2.- DETERMINACION DEL MECANISMO DE PROPAGACION

En esta sección trataremos de identificar un mecanismo de propagación que explique los niveles de señales detectados. En la introducción hemos fijado una pérdida total de trayecto máxima de 167 dB entre los dos puntos. El diagrama de perfil entre Lourdes y Atacazo que se muestra en la Figura 3 indica que no existen condiciones de propagación por línea de vista, por lo que estudiaremos la posibilidad de difracción por bordes y dispersión troposférica. Consideraremos el caso de una atmósfera normal con $K=1.33$ y compararemos este con el caso anormal de $K=-1$. Los perfiles para ambos casos se muestran en la Figura 3 y 4 respectivamente.

Las pérdidas para el caso de difracción por bordes se pueden encontrar a partir de las pérdidas adicionales a las de espacio libre producidas por los obstáculos en B, C y D como se marcan en las Figuras 3 y 4. Estas pérdidas pueden encontrarse por medio de la teoría de difracción por medio de la gráfica de la Figura 2, en donde es necesario conocer la luz x entre la recta que une los dos extremos del tramo y la parte más alta del obstáculo. Es necesario también conocer el radio de la primera zona de Fresnel h_0 a la distancia a la que se encuentra el obstáculo.

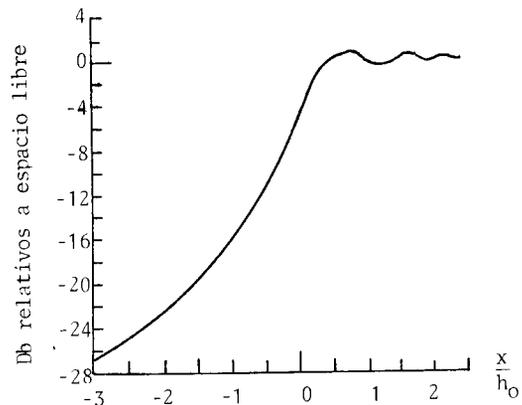


Figura 2.- Pérdidas por obstrucción de la primera zona de Fresnel

Para el cálculo de las pérdidas el trayecto hemos dividido el trayecto en tres tramos A-C, B-D y C-E, así los obstáculos B y C son los extremos de los siguientes tramos. Este es un procedimiento normal para calcular pérdidas por difracciones múltiples. La siguiente tabla indica los valores de x y h_0 , así como las pérdi-

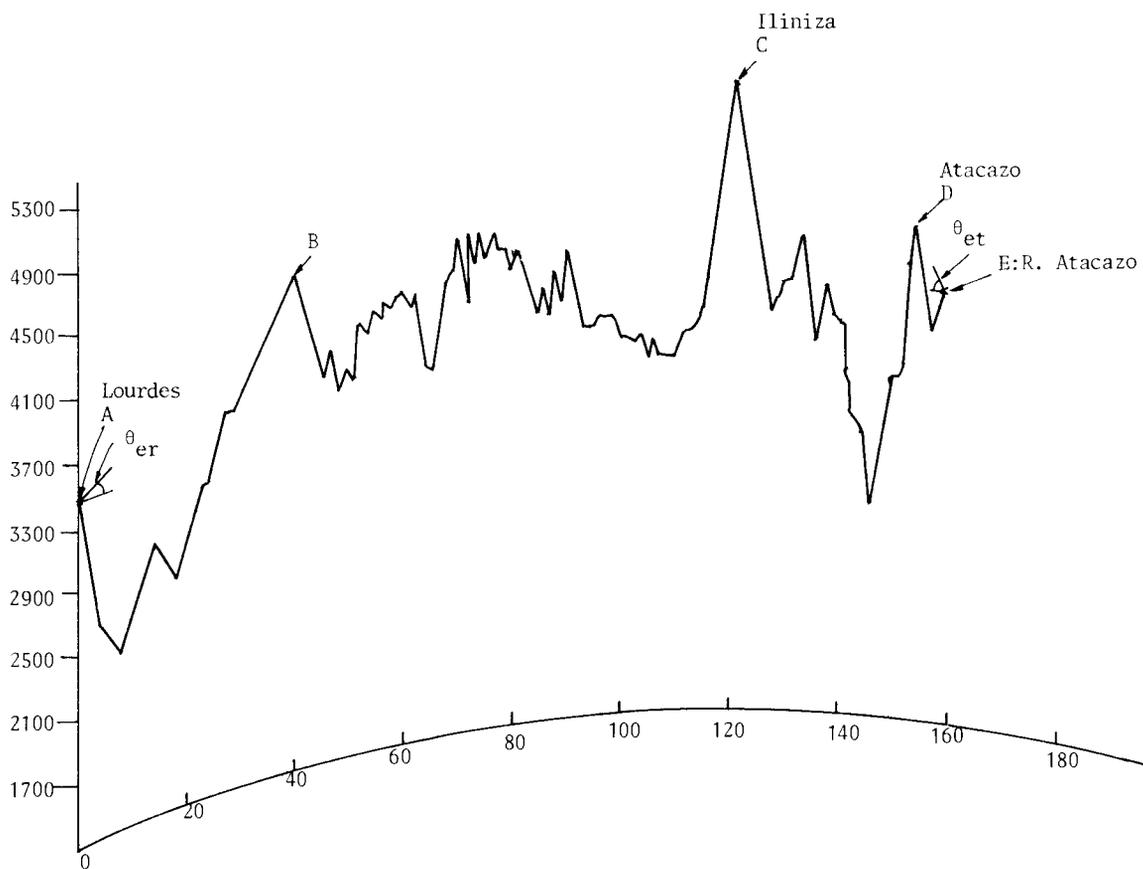


Figura 3.-Diagrama de Perfil entre Lourdes y Atacazo para $K=1.35$

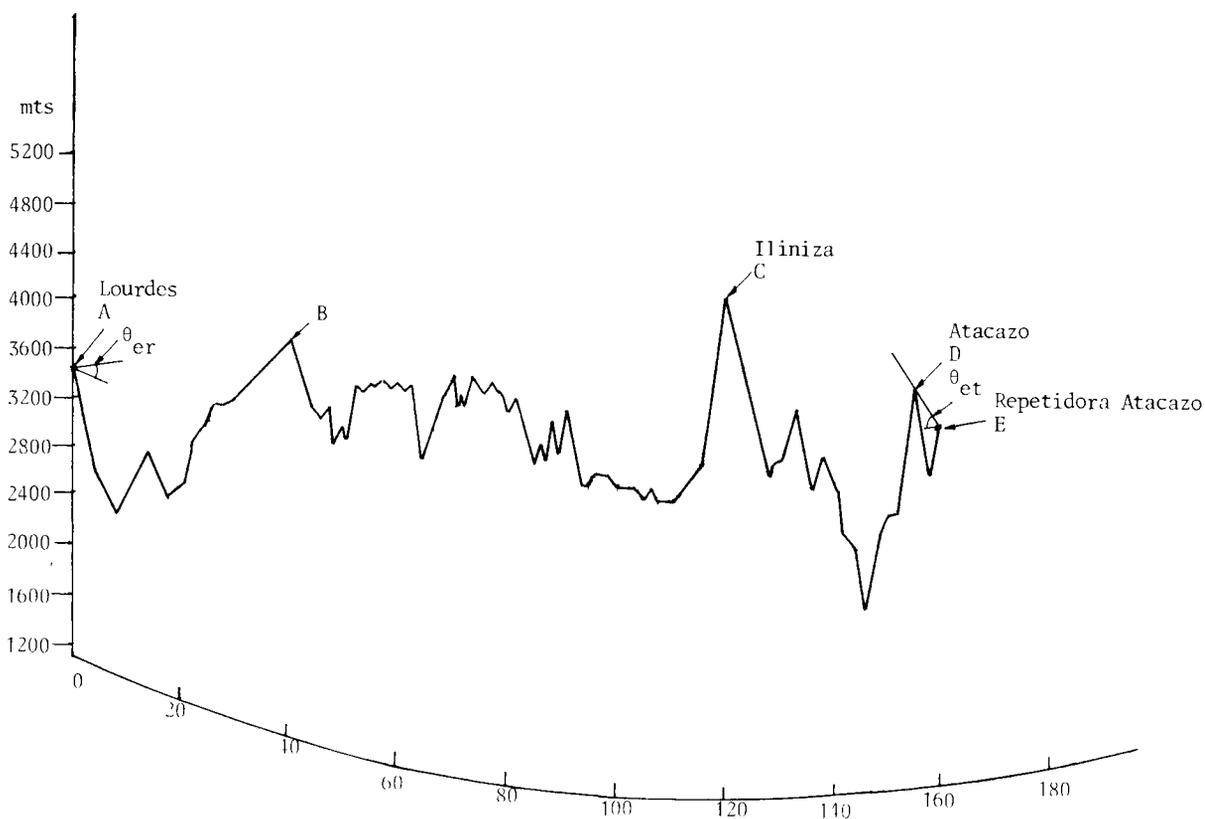


Figura 4. Diagrama de Perfil entre Lourdes y Atacazo para $K=-1$

das adicionales obtenidas de la Figura 2.

TABLA III

PERDIDAS ADICIONALES POR DIFRACCION POR TRAMO EN

EL TRAYECTO LOURDES- ATACAZO

K	OBSTACULO	x mts	h mts	PERDIDAS dB
1.33	B	-480.0	221.1	23
1.33	C	-980.0	216.0	30
1.33	D	-320.0	88.3	30
-1.0	B	-30.0	221.1	7
-1.0	C	-600.0	216.0	26
-1.0	D	-260.0	88.3	28

Para K=1.33 las pérdidas totales del trayecto son

$$P_{tt} = P_{\text{esp. libre}} + P_{\text{difr.}} = 121 + 83 = 204 \text{ dB}$$

Para K=-1. las pérdidas son

$$P_{tt} = 121 + 61 = 182 \text{ dB}$$

Podrá observarse una reducción significativa de las pérdidas en el caso de K=-1, esto se debe a la menor altura relativa de los obstáculos en cada tramo causada por una trayectoria curva muy pronunciada de la onda de radio. Consideraremos a continuación las pérdidas por dispersión troposférica.

El cálculo de pérdidas del trayecto por dispersión troposférica se puede hacer por varios métodos que dan resultados similares. Haremos nuestros cálculos por el método del NBS (National Bureau of Standards). De acuerdo a este método las pérdidas serán

$$P_{tt} = 30 \log f - 20 \log d + F(\theta d) - F_0 + H_0 + A_0 \quad (4)$$

en donde

f es la frecuencia de operación en MHz

d es la distancia en Kms.

F(θd) es una función de atenuación dada en la Figura 5

F₀ es un factor de corrección por eficiencia de dispersión

H₀ es una función de ganancia de frecuencia

A₀ es un factor de absorción atmosférica

Los tres últimos términos son normalmente pequeños y no se consideran normalmente en los cálculos. El ángulo se obtiene de la expresión

$$\theta = \theta_{et} + \theta_{er} + d/a \quad (5)$$

en donde a es el radio efectivo de la tierra

θ_{et} es el ángulo entre la horizontal en el punto de transmisión y la recta entre este punto y el horizonte

θ_{er} se define igual que para el ángulo anterior pero para el punto de recepción

Los ángulos θ_{et} y θ_{er} se muestran en los diagramas de perfiles de las Figuras 3 y 4. Utilizando los gráficos se encuentra que θ es 138.3 mrad para K=1.33 y θ es 103 mrad para K=-1. La Figura 5 utiliza la refractividad promedio en los puntos de transmisión y

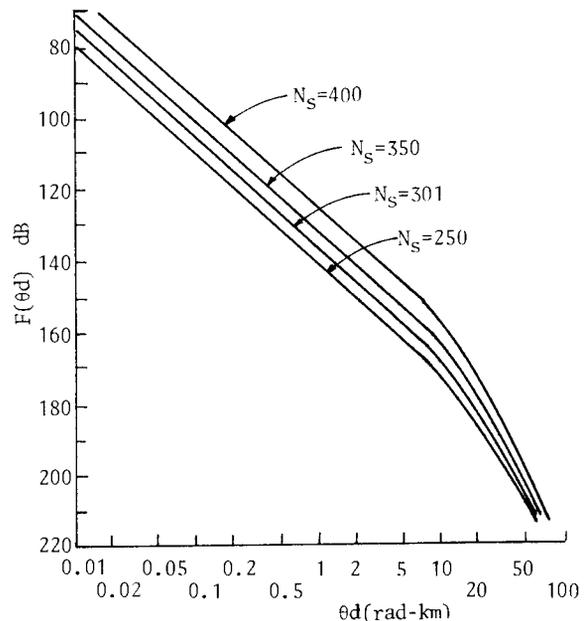


Figura 5.-Función de atenuación F(θd)

recepción. El promedio de la altura de los dos puntos es 3700 metros. Con las constantes encontradas anteriormente y la expresión 2 se obtiene una refractividad promedio de 210. Ya que nuestro gráfico solo da valores hasta N_s=250 utilizaremos este valor para el cálculo.

Para K=1.33 las pérdidas son

$$P_{tt} = 66.71 - 44.03 + 185 = 207.68 \text{ dB}$$

Para K=-1.0 las pérdidas son

$$P_{tt} = 66.71 - 44.03 + 180 = 202.68 \text{ dB}$$

Como podrá observarse en este caso la mejora debida al cambio de K es menos significativo que para el caso de difracciones múltiples. Además las pérdidas en ambos casos son superiores a la máxima establecida de 167 dB. Esto indica que existen condiciones anormales de propagación entre los dos puntos pues se tiene una señal que es aproximadamente 40 dB mayor que la esperada en condiciones normales. Estas condiciones solo pueden ser explicadas por un cambio sustancial de la dirección de propagación de la onda electromagnética. Este cambio de dirección puede deberse a dos mecanismos:

a) Refracción: para lo que el índice de refracción debe presentar valores de gradiente sumamente altos. Consideramos que la cercanía de las cumbres nevadas de los Andes puede contribuir a que esto ocurra, sin embargo no existe actualmente forma de cuantificar y comprobar esta afirmación.

b) Reflexión: se ha reportado en {2} la posibilidad de reflexión a partir de campos ionizados en la región E en las zonas cercanas al ecuador magnético. Este mecanismo tampoco puede ser comprobado. No existen reportes de un fenómeno similar obser-

vado en la región costera. Por lo que no es posible afinar en este momento que este es el mecanismo responsable.

En la costa ecuatoriana se ha observado buenas condiciones de propagación entre puntos distantes donde no existen condiciones de propagación de línea de vista. Un caso típico es la comunicación entre Guayaquil y Machala. La distancia entre ambos puntos es de 116 kilómetros. Sin embargo existe comunicación constante entre estaciones con 25 vatios de potencia de salida, altura de antenas promedio de 20 metros y la frecuencia de operación de 143 MHz. Esta comunicación se hace sobre un trayecto que es mar en el 98% del total y sin ningún obstáculo entre las dos estaciones. El mecanismo de dispersión troposférico funciona muy adecuadamente en este caso cuando se utiliza $K=1.60$, confirmando de esta manera los valores obtenidos en la sección 1.

3. -CONCLUSIONES

Hemos reportado en este trabajo una condición anormal de propagación en los Andes ecuatorianos. El mecanismo de propagación aun cuando no identificado totalmente en cuanto a sus causas determina que la dirección de propagación de la onda electromagnética debe sufrir un cambio de dirección para poder explicar en forma adecuada los niveles de señal recibidos. Creemos que es un fenómeno del cual el IETEL podría obtener algunos beneficios en cuanto a la reutilización de espectro y al posible establecimiento de enlaces con un mínimo número de estaciones repetidoras. Esta última aplicación, por supuesto, solo en el caso que el fenómeno sea de presencia constante, lo que no pudo ser determinado de las primeras pruebas por el corto período de tiempo de las mismas.

Se han incluido además en este trabajo datos que son de utilidad para los ingenieros de comunicaciones y que permiten concluir que el factor K utilizado para el cálculo efectivo de la tierra es mayor en forma regular que el valor $K=1.33$ utilizado normalmente en los cálculos.

Consideramos que es necesario hacer un mayor número de experimentos tendientes a evaluar la verdadera utilidad del fenómeno reportado.

BIBLIOGRAFIA

- 1.-Freeman Roger L., Telecommunication Transmission Handbook, 2nd Ed., John Wiley & Sons, 1981
- 2.-Davies Kenneth, Ionospheric Radio Propagation, National Bureau of Standards Monograph 80, Noviembre

bre 1965

- 3.-Panter Philip, Communication Systems Design, McGraw Hill, 1972
- 4.-Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Anuario meteorológico 1979, Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Ecuador, 1981.



CARLO, PEDRO. Nació en Guayaquil, Ecuador en Junio 9, 1950. Recibió el título de Bachelor of Science en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Illinois en 1973 y el título de Master of Science en la misma Universidad. De 1973 a 1974 fue asistente de Investigación del Laboratorio de Radiolocalización de la Universidad de Illinois. En la actualidad trabaja como profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Es miembro de Eta Kappa Nu.