

Ing. Boris Piedra Iglesias, MSc¹
Ing. Diego Mogrovejo Cairasco

Ing. Hernán Gutiérrez Carmona
Ing. Freddy Tello Cedillo

Escuela de Ingeniería Eléctrica - Universidad de Cuenca

Resumen

El conocimiento de curvas de campo eléctrico referenciales, obtenidas bajo condiciones experimentales específicas y conocidas generalmente con el nombre de Curvas de Campo Eléctrico Patrón, resulta imprescindible para la realización de un estudio de cobertura de un sistema de radiocomunicación. La sensibilidad que presenta el comportamiento de la radiopropagación ante factores ambientales y características del terreno depende mucho de la frecuencia de la señal que se propaga. El presente trabajo pretende exponer un conjunto de curvas experimentales que representan el comportamiento de una radioseñal en sectores típicos de la región interandina, para la banda de comunicación de los 2 metros. Estas curvas han sido evaluadas en estudios reales de cobertura, demostrando un ajuste de mayor exactitud comparados con los que se obtendrían utilizando curvas referenciales sugeridas por normas extranjeras.

Palabras Claves: Radiopropagación, Radiocomunicación, Campo Eléctrico, Radio, Comunicaciones.

Abstract

Knowledge of reference electric field curves, obtained under specific experimental conditions and generally known as Pattern Electric Field Curves, is a vital requirement in making a coverage analysis of a radiocommunication system. Radiopropagation behaviour sensitivity about environmental factors and ground characteristics is very dependent on frequency of the propagating signal. This paper pretends to show a set of experimental curves which represent the behaviour of a radio signal in typical areas of the andean region, for the 2 meters communications band. These curves have been evaluated in real analysis of coverage, demonstrating a more accurate approach compared to those obtained using reference curves suggested by foreign standards.

Key words: Radiopropagation, Radiocommunication, Electric Field, Radio, Communications.

Introducción

Muchos de los principales métodos para la determinación de zonas de cobertura de sistemas de radiocomunicación están basados en la modificación sistemática de Curvas de Campo Eléctrico Patrón. Estas curvas son obtenidas en condiciones experimentales muy específicas, relacionadas a factores tales como frecuencia y potencia de transmisión, ganancia de las antenas transmisora y receptora y características topográficas del terreno. Las modificaciones sistemáticas antes señaladas tratan de obtener una curva de comportamiento del campo que corresponda a las condiciones reales del sistema bajo análisis.

Es conocido en forma general que la propagación de una señal radioeléctrica varía considerablemente con el tipo de terreno y vegetación existente en la zona. Mucha investigación se ha realizado sobre este fenómeno, cubriendo zonas tan diversas como desiertos norteamericanos hasta junglas tropicales. A pesar de esto, muy poca o ninguna referencia podemos señalar sobre investigaciones referentes a la zonas típicas interandinas, a pesar de la ya señalada importancia de la precisión requerida de estos valores con fundamento para los análisis técnicos respectivos. Este antecedente constituyó el factor motivante para que la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cuenca plantee como línea de investigación de primera importancia la obtención de las Curvas de Campo Eléctrico Patrón para zonas típicas de la región interandina. Se seleccionó a la banda de 2 metros como la banda de interés por ser la más utilizada en los sistemas comerciales privados de la región austral del Ecuador.

Método para la Obtención de las Curvas de Campo Eléctrico Patrón

Como se ha señalado anteriormente, el método utilizado para la obtención de las curvas es el método experimental. La utilización de métodos físico-analíticos llevaría a grados de complejidad impracticables.

El procedimiento para la obtención de las curvas comprendió las siguientes etapas:

¹ Correspondencia a: Ing. Boris Piedra Iglesias, Casilla Postal 01-05-1754, Cuenca - ECUADOR (e-mail: bpiedra@c.cua.net.ec)

1. Determinación de zonas típicas para la región interandina,
2. Obtención de valores mediante observaciones experimentales,
3. Análisis de datos,
4. Corrección de datos, y
5. Formulación de las curvas de campo ajustadas.

Determinación de zonas típicas.

Para la determinación de las zonas típicas se tomaron en cuenta principalmente los factores de vegetación, humedad y temperatura. Con esta idea se decidió establecer cuatro zonas típicas principales para la región:

a) Páramo: Regiones ubicadas sobre los 3500 metros de altura y caracterizados por una vegetación baja tipo pajonal, terrenos de baja humedad y bajas temperaturas (promedios inferiores a los 10 grados centígrados),

b) Valle: Regiones cerradas ubicadas entre los 1500 y 3000 metros de altura y caracterizadas por una humedad promedio más bien baja y temperaturas promedio entre los 10 y 20 grados centígrados. La vegetación varía entre sembríos bajos, frutales y otros árboles no altos.

c) Zona Oriental: Regiones ubicadas bajo los 2500 metros de altura y hacia la estribación oriental andina. La cordillera representa para ellas una pantalla que mantiene un elevado nivel de humedad.

d) Subtropical Occidental: Estas zonas presentan características de altura y temperatura que las ubican en una posición intermedia entre la región andina y la costa. El nivel de humedad es superior al de los páramos y valles pero inferior al encontrado en las zonas orientales. La vegetación es diferente caracterizándose por una densidad media y arbustos no muy elevados.

Obtención de valores mediante observaciones experimentales.

Definidas las regiones típicas experimentales se debía encontrar en cada una de ellas puntos específicos en los cuales se procedería a tomar valores muestrales para definir las curvas. Estos puntos específicos se escogieron en función de dos requisitos, accesibilidad y características topográficas lo más regulares posibles. Este segundo requisito pretendía evitar al máximo la influencia de la forma del terreno en las variaciones del campo. Con estas ideas en mente se realizaron trabajos de

medición de los siguientes sitios geográficos:

- Jueves-La Paz (Provincia del Azuay) como ejemplo típico de páramo,
- Cojitambo-Jadán (Provincias del Cañar y Azuay) como ejemplo típico de valle interandino,
- El Pan-San Pablo (Provincia del Azuay) como ejemplo típico de región oriental, y
- Léntag-Sumipamba (Provincia del Azuay) como ejemplo típico de región subtropical occidental.

El sistema requerido para las mediciones estuvo constituido por un equipo de transmisión y un equipo de detección y medición de señal. El equipo transmisor lo constituyó un transceptor FM comercial con una potencia de salida de 32 vatios. La transmisión se la hacia a través de una antena móvil omnidireccional de polarización vertical y 3 dB de ganancia. Por otra parte, el equipo de detección y medición de señal estaba conformado por un analizador de espectros móvil y una antena de iguales características a las del transmisor. El rango de medida del receptor fue de 15 dBuV a 123 dBuV, poseyendo una exactitud de escala de alrededor del 6%.

Para facilitar la propagación, el sitio transmisor se ubicaba idealmente en el lugar más elevado del sector. Las señales de recepción fueron medidas siguiendo una línea recta desde el transmisor y a intervalos de aproximadamente 1 km.

En cada punto de análisis se realizaron cinco mediciones en el punto central y sus alrededores (aproximadamente a 100 m de este punto). Adicionalmente, se tomaron anotaciones relacionadas a vegetación, tipo de terreno y precisiones sobre el perfil topográfico.

Análisis de Datos.

Las cinco mediciones tomadas en cada punto de análisis constituyen la base para definir el valor de campo en ese punto. El procesamiento estadístico determina el valor medio de esas mediciones, eliminándose los valores que estén excesivamente alejados de la media, en términos de la desviación estándar. Entre los valores aceptados se define la mediana en cada punto. La curva de mediana del campo en función de la distancia constituye la Curva de Campo Eléctrico Observado.

Corrección de Datos.

La corrección de datos tiene como objetivo eliminar la influencia de las

irregularidades topográficas y vegetación en la forma de la curva del campo, obteniendo la Curva de Campo Eléctrico Patrón a partir de la Curva de Campo Eléctrico Observado.

Se pretende que las Curvas de Campo Eléctrico Patrón estén referenciadas a las siguientes condiciones:

- Terreno de subllanura: Ondulaciones no mayores a 20 m.
- Altura de la antena transmisora: 100 m.
- Altura de la antena de recepción: 1.4 m.
- Potencia de transmisión: 1 W.

Adicionalmente, se pretende obtener valores de campo hasta una distancia de 20 km. desde la estación transmisora.

El proceso de correcciones estuvo basado en un proceso inverso al seguido por las Normas de la Nippon Telephone and Telegraph (NTT) para incorporar la influencia de las irregularidades del terreno en una Curva de Campo Eléctrico Patrón. La razón de la utilización de estas Normas se debió a su naturaleza experimental-estadística, compatible con el procedimiento seguido en el presente trabajo.

Los factores cuya influencia se eliminaron en el proceso de corrección son los siguientes:

- Influencia de ondas reflejadas,
- Influencia de la atenuación producida por la sombra de colinas,
- Influencia de la inclinación del terreno,
- Influencia de la vegetación existente en el punto,
- Altura efectiva de la antena transmisora, diferente a 100 m,
- Potencia del transmisor diferente a 1 W.

Mediante la eliminación de la influencia de estos factores fue posible definir puntos de campo eléctrico correspondientes a condiciones referenciales o patrones.

Formulación de las curvas de campo ajustadas.

Una vez graficadas las Curvas de Campo Patrón con los valores obtenidos mediante el procedimiento estadístico, se decidió buscar ajustes logarítmicos que se acoplen de la mejor manera a estas curvas.

La forma general de la expresión ajustada es:

$$E = A + B \log(d) + C \log^2(d) + D \log^3(d) + \dots$$

en donde E representa el valor del Campo Eléctrico Patrón en dBuV/m, d es la

distancia desde la base en Km, y A,B,C y D son constantes.

Los ajustes definieron los siguientes valores para las diferentes zonas típicas:

a) Para el páramo:

A=46.12, B=-33.23, C=-0.45 y D=2.89
Error de ajuste: 4.77%

b) Para el valle:

A=47.54, B=-34.27, C=-2.03 y D=1.64
Error de ajuste: 3.88%

c) Para la zona subtropical oriental:

A=54.04, B=-28.14, C=-0.45 y D=2.61
Error de ajuste: 1.74%

d) Para la zona subtropical occidental:

A=54.37, B=-26.98, C=-6.42 y D=4.24
Error de ajuste: 3.51%

Resultados

Las curvas obtenidas mediante el ajuste mencionado se muestran en la Figura 1. Para fines de comparación se incluyen en esa figura las curvas de campo eléctrico para propagación en el vacío y la recomendada por la NTT para el rango de frecuencias de interés.

Análisis de los Resultados

De las curvas obtenidas es evidente la gran influencia que sufre el fenómeno de radiopropagación dependiendo de las condiciones ambientales en las cuales se propaga.

Se puede observar que en las zonas de alta humedad (subtropical occidental y oriental), el efecto de atenuación es mucho menor que en las zonas secas (valle y páramo). Se observan los siguientes valores de atenuación total en la distancia de 20 Km:

- Zona Oriental: 39.98 dB (Humedad promedio 85%)
- Subtropical Occidental: 44.06 dB (Humedad promedio 79%)
- Valle: 48 dB (Humedad promedio 67.5%)
- Páramo: 47.51 dB (Humedad promedio no disponible - Datos referenciales indican condiciones similares a las del valle).

Los valores señalados presentan una correspondencia inversa entre atenuación y nivel de humedad, lo cual ratifica el comportamiento conocido de que una señal de radio se atenúa en menor grado en zonas húmedas para el nivel de frecuencia considerado. Es importante anotar una diferencia superior a los 8 dB en atenuación entre las dos condiciones extremas de humedad.

Es evidente también que las señales sufren una atenuación inicial (a distancias cortas del transmisor) considerablemente mayor en zonas secas, comparada con la que sufre en zonas húmedas.

La Curva de Campo Patrón sugerida por la NTT, se muestra semejante al comportamiento en zonas húmedas interandinas. Vale anotar que esta curva

de la NTT es sugerida para frecuencias alrededor de los 250 MHz, por lo que hace suponer que su comportamiento a 150 MHz mostraría valores de campo algo superiores. Las curvas obtenidas para zonas secas tienen valores que presentan definitivamente una mayor atenuación que la sugerida por la mencionada Norma.

La curva de Campo Eléctrico para propagación en el vacío presenta, como es

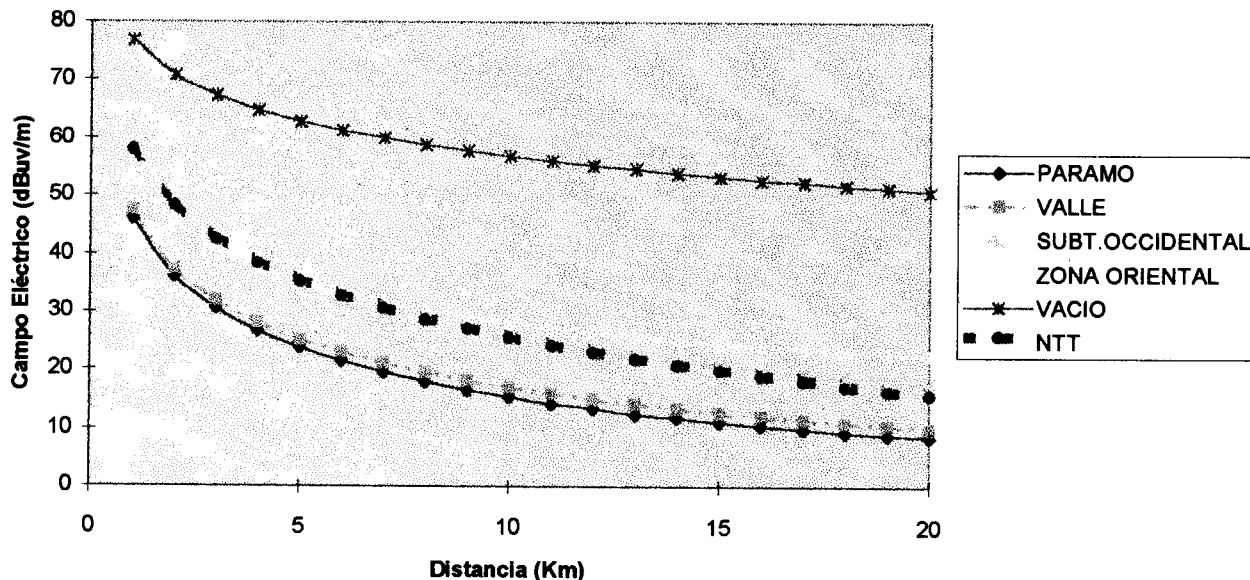


Figura 1: Curvas de Campo Eléctrico Patrón

lógico suponer, valores muchos más altos que los correspondientes a las otras curvas.

Conclusiones y Recomendaciones

El análisis de las curvas permite evidenciar la necesidad de utilizar valores patrones adecuados a la zona de estudio, pues la selección de una referencia impropia llevaría a resultados poco reales. Igualmente, el uso de la curva de propagación en vacío para la realización de estudios de cobertura resultaría en valores totalmente equivocados.

Los resultados obtenidos demuestran que las zonas secas de la región interandina tienen un comportamiento de por sí diferente al recomendado por normas extranjeras. Se podría explicar esta diferencia si consideramos que la mayoría de investigaciones sobre este tema se realizan en zonas costeras o de baja altura. Los parámetro recomendados por normas tales como las de la NTT podrían ser aproximadamente adecuados para zonas

interandinas de humedad relativamente alta.

La influencia de la humedad del terreno en la radiopropagación, tradicionalmente considerada importante para frecuencias inferiores a los 30 MHz, debe ser tomada en cuenta en frecuencias superiores, como en este caso en la banda de 2 metros.

Sería recomendable la utilización de estas curvas en estudios reales con el posterior análisis de resultados y medición de valores, lo cual permitiría convalidar completamente su uso para las diferentes zonas de la región interandina.

Así mismo, sería recomendable la investigación de nuevos procedimientos de corrección de Curvas de Campo Patrón, aplicables a las condiciones específicas de la región.

Referencias

1. Gutiérrez H, Mogrovejo D, Tello F, **Determinación de las Curvas de Campo Eléctrico Patrón para la Región Interandina**, Universidad de Cuenca, 1995.

2. NTT, *Normas para sistemas VHF-UHF*

3. Jakes W, *Microwave Mobile Communication*, IEEE Press, Piscataway, New Jersey, 1993.

4. Wilbur V, Hagn G, "*Comments on the Performance of VHF Vehicular Radio in Tropical Forests*", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-18, 1969.

Biografías

Boris Piedra Iglesias. Nació en Cuenca en 1963. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en 1989 en la Universidad de Cuenca y el Título de Master en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en 1993 en State University of New York en Buffalo, Estados Unidos. Es Profesor de la Universidad de Cuenca en el área de Telecomunicaciones. Es miembro de la Comisión de Modernización de las Telecomunicaciones (COMOTEL) y se

desempeña en el campo profesional en el área de las telecomunicaciones.

Hernán Gutiérrez Carmona. Nació en Cuenca en 1967. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Cuenca en 1995. Se desempeña en el campo profesional en las áreas de ingeniería de potencia y telecomunicaciones.

Diego Mogrovejo Carrasco. Nació en Azogues en 1968. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Cuenca en 1995. Se desempeña en el campo profesional en el área de ingeniería de potencia.

Freddy Tello Cedillo. Nació en Cuenca en 1968. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Cuenca en 1995. Se desempeña en el campo profesional en el área de ingeniería de potencia y telecomunicaciones.