

PLANIFICACIÓN DE RADIOENLACES CON BASE EN TOPOGRAFÍA DIGITAL

Ing. Marco V. Morocho Y.

Docente Investigador, UTPL

Loja, 11-01-608, Ecuador

y

Patricia J. Ludeña G.

Profesional en Formación, UTPL

Loja, 11-01-608, Ecuador

RESUMEN

Para nadie es oculto que en la región interandina se tiene condiciones orográficas que dificultan notablemente el establecimiento de sistemas de comunicación de alta confiabilidad; entonces, surge el problema de fondo, poder predecir el comportamiento de estos sistemas ya en funcionamiento, escoger y limitar coberturas aplicando modelos de predicción de la propagación que requieren información Topográfica y exige tediosos cálculos manuales. Es aquí en donde se pone en juego la cartografía digital provista por SIGs, para brindar una visión extensa y precisa de las condiciones geográficas de la zona en estudio, así como también reducir los tiempos de diseño de enlaces y evaluar parámetros para la selección de la ruta más óptima.

Palabras Claves: Factor de Confiabilidad, radioenlace, línea de vista, zona de Fresnel, desvanecimiento.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de la estructuración de redes de comunicaciones se debe tener en cuenta fundamentalmente la orografía de la región en cuestión, es así que las condiciones de predicción de comportamiento son decisivas en la planificación y posterior funcionamiento del sistema.

Todos estos problemas se reducen a la propagación de ondas electromagnéticas y la influencia que tiene el medio sobre el comportamiento de estas ondas en el espacio, para ello se utilizan tediosos cálculos que son imperativos pero no necesarios. Al adoptar una topografía digital, con una base climatológica y a través de ella escoger el mejor método de predicción válido para la zona; se eliminan notablemente estas dificultades.

Desarrollar la herramienta de planificación, delimitarla, y seleccionar los mejores métodos tanto en predicción como en discriminación de rutas, es tarea del investigador. La temática corresponderá a las fases de desarrollo de la aplicación, esto es: propagación de ondas, pronóstico de confiabilidad, preparación de la base digital y selección de rutas.

2. CÁLCULO DEL ENLACE

En un sistema de comunicaciones lo ideal es que la señal enviada desde el transmisor hasta el receptor tenga un nivel aceptable después de sufrir todas las pérdidas a las que estará sometida. Por suerte, no todas son pérdidas: puesto que las antenas tienen la función de actuar como amplificadores primitivos.

Por lo tanto, para analizar si una instalación es viable, debemos realizar el cálculo del enlace, el que consiste en tomar la potencia de transmisión en términos de ganancia absoluta, sumarle las ganancias, restarle las pérdidas y ver si el resultado alcanza para sensibilizar al receptor.

Las Pérdidas

Las pérdidas a las que estará sometida una señal desde que es emitida son: pérdidas en la alimentación, en la trayectoria y por desvanecimiento.

a. Pérdidas en la alimentación: El alimentador se comporta como un atenuador con pérdida (*La*) específica conocida en función de la frecuencia a que se usará en la transmisión y del tipo de alimentador.

Además, necesita estar conectado o acoplado a las interfaces de la Unidad de Radio Base (RBU- Radio Base Unit) y del radiante. Estos acoples tienen una pérdida cuya variabilidad puede desprejarse y trabajar con pérdida por acople tabulada, que incluye las pérdidas en el par de acoples del alimentador, uno en el lado RBU y uno en el lado radiante. Finalmente, en el alimentador la señal puede descomponerse en un conjunto de modos y frecuencias que se pueden ver como una pérdida por diversidad.

Como se ve en la tabla 1, las pérdidas en el alimentador se tabulan en pérdidas cada 100 metros.

La correcta medida de los alimentadores es muy importante. Cuando no se puede medir, se estima:

- 20 metros + la altura de torre, para torres puestas en tierra,
- 5 metros + 1,2 veces la altura del edificio sobre el que está la torre + la altura de torre en si.

TABLA 1: PÉRDIDAS EN EL ALIMENTADOR

Aliment.	Banda de Operación GHZ	Atenuación Específica dB/100m	Pérdida por diversidad dB	Pérdida por par de acoplos dB
Coaxial	Hasta 0,9	3,00	2	1,2
	0,9 - 1,5	4,80		
	1,5 - 1,9	5,00		
	1,9 - 2,2	5,40		
	2,2 - 2,4	5,80		
Guía Onda	2,4 - 3,1	1,40	4	0,6
	3,1 - 4,4	2,10		
	4,4 - 6,2	3,60		

Para la transmisión y recepción los cálculos se realizan por separado dependiendo del tipo de alimentador en cada extremo, para obtener la pérdida total L_{at} se suman las dos.

b. Pérdidas de trayectoria: Cuando la señal ya es enviada al espacio, ésta sufre una atenuación en el medio hasta alcanzar el receptor en el destino. Las pérdidas que se producen en este tramo son función de la frecuencia f (Hz) y la distancia D (m), relacionadas con la velocidad de la luz en el vacío c (m/s). Para condiciones ideales se considera que la señal viaja de modo rectilíneo y con condiciones ideales en el medio; por tal razón recibe el nombre de Pérdida de trayectoria de espacio libre L_e , y queda expresada por:

$$L_e = \left(\frac{4\pi f D}{c} \right)^2 \quad (1)$$

Si aplicamos el concepto de ganancia logarítmica en decibels, obtenemos:

$$L_e (dB) = 20 \log \left(\frac{4\pi f D}{c} \right) \quad (2)$$

Para normalizar las unidades en GHz para la frecuencia, por tratarse de microondas y en Km para la distancia, tendríamos la expresión:

$$L_e (dB) = 92.44 + 20 \log f (GHz) + 20 \log D (Km) \quad (3)$$

c. Pérdidas por desvanecimiento: En condiciones reales, la propagación se produce en un espacio no ideal y mediante una trayectoria no libre de interferencias, además de la atenuación vista se produce un efecto llamado *fading* o desvanecimiento que depende de las condiciones puntuales a la que está sometida cada transmisión, por tanto se mide como una atenuación adicional, pudiendo ser prevenida si se asocia un margen para éste. De allí que se lo llame *fade margin* [1]. Factores como el tipo de suelo, el tipo de clima y el entorno que rodea la trayectoria y que produce diversidad

modal tienen una influencia directa en el cálculo del desvanecimiento.

Interviene además, el objetivo o factor de confiabilidad (R) que nuestro enlace requiere, como el error de transmisión en un período de tiempo específico.

De tal forma que:

$$L_D (dB) = 30 \log D + 10 \log (6ABf) - 70 - 10 \log (1 - R) \quad (4)$$

La tabla 2 muestra el significado y los valores tabulados habituales de cada término.

TABLA 2: COMPOSICIÓN Y VALORES DEL MARGEN DE DESVANECIMIENTO

Término	Pondera	Factores
$30 \log D$	La diversidad modal	D Distancia visual entre antenas en Km
$10 \log (6 AB f)$	El entorno de propagación	A Factor de rugosidad
		B Factor climático
		F Frecuencia GHz
$10 \log (1 - R)$	El objetivo de confiabilidad	R Confiabilidad La confiabilidad esperada o convenida, como un decimal

En una sección posterior se especificará como se eligen los factores del entorno de propagación AB .

Las Ganancias

Como se mencionó antes, la ganancia (dB) proviene de las antenas y se determina de acuerdo a la frecuencia f (GHz) de transmisión y al tipo de antena utilizada, sea esta sólida de panel y parabólica o de grilla, con dimensiones en metros. Para la herramienta de planificación se utilizan tablas de performance normal en la industria.

La ganancia directiva de una antena parabólica para transmisiones Punto a Punto, se indican a continuación:

TABLA 3: VALORES DE GANANCIA EN DB DE LA ANTENA PARABÓLICA SÓLIDA

Diámetro		Frecuencias de operación en GHz				
(m)	(pies)	1,9 - 2,3	2,3 - 2,5	2,5 - 2,7	3,4 - 4,2	4,0 - 6,4
1,2	4	24,2	25,0	25,9		
1,8	6	28,1	28,6	29,4	33,1	36,4
2,4	8	30,6	31,3	31,9	35,4	38,9
3,0	10	32,5	33,2	33,9	37,4	40,8
3,7	12	34,1	34,8	35,5	39,0	42,44
4,6	15				40,9	44,6

Para las antenas de rejilla o tipo *grid*, las ganancias directivas son menores, y además se puede ver que la industria las provee para una banda limitada del espectro:

TABLA 4: VALORES DE GANANCIA EN DB DE LA ANTENA PARABÓLICA DE REJILLA

Diámetro		Frecuencias de operación en GHz				
(m)	(pies)	0,8 -0,96	1,3 - 1,5	1,5 - 1,8	1,8 - 2,3	2,3 - 2,7
1,2	4	16,7	20,6	22,9	24,8	25,9
1,8	6	19,2	23,8	25,8	27,7	29,1

Finalmente tenemos las antenas no directivas, las que en general varían mucho en función de la tecnología y el uso y el tipo de sectorización.

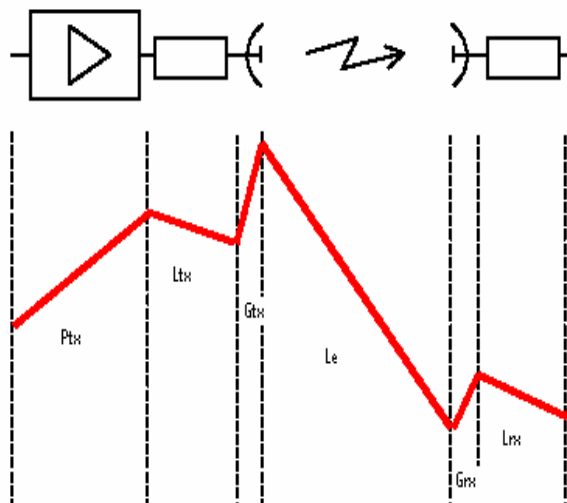
TABLA 5: VALORES DE GANANCIA EN DB DE LA NO DIRECTIVA SECTORIZADA

Frecuencia (GHz)	Sectorizada 60°	Sectorizada 90°	Sectorizada 120°
2,1 - 3,4	16	15	13
3,4 - 3,6	14	13	12

Cálculo de la ecuación de enlace

Ya en el destino, el receptor tiene un margen de sensibilidad (S_r), establecida como la mínima potencia (P_r) que puede llegar a la entrada del receptor para tener un nivel aceptable de señal.

El cálculo de enlace nos permite ver si la señal emitida con una potencia (P_{tx}) en el transmisor RBU-alimentador, luego de todas las pérdidas a las que está sujeta y de haber sido amplificada en las antenas, es aún capaz de sensibilizar al receptor.



Al conjunto de pérdidas y ganancias de las antenas en transmisión (G_{atx}) y recepción (G_{arx}) que tendrá toda la instalación lo llamamos *ganancia del sistema GS* y lo calcularemos como la máxima pérdida que tendrá el sistema:

$$GS(dB) = Lat + Le + L_D - Garx - Gatx \quad (5)$$

Estableciendo la condición de sensibilidad:

$$P_r(dB) = P_{Tx}(dB) - G_S(dB) > S_r(dB) \quad (6)$$

De este modo nos aseguramos que en el receptor se tenga una señal de nivel aceptable.

3. LA TOPOGRAFÍA DIGITAL

La topografía digital no es más que la determinación de puntos georeferenciados, obtenidos de mediciones a través de GPS's y/o fotos satelitales, con ubicación precisa de información específica de la zona (elevaciones, poblados, hidrografía, sembríos, etc). Cabe señalar que puede preverse una amplia gama de utilización de las bases de datos topográficos y también que puede identificarse una amplia gama de información sobre superficies del terreno. Es este el caso de la planificación de radioenlaces donde, el uso de topografía y climatología es muy importante a la hora de realizar los cálculos de propagación.

Las bases de datos topográficos digitales establecidas para predicciones de la propagación deben contener información relacionada con el tipo de predicción que va a llevarse a cabo. En frecuencias superiores a unos 30 MHz, se necesita normalmente información sobre la altura del terreno y la superficie del mismo. Para realizar predicciones de la propagación detalladas en frecuencias superiores a unos 1 000 MHz, especialmente en zonas urbanas, además de la información relativa a la altura del terreno se necesita generalmente conocer el emplazamiento, el tamaño y la orientación de las edificaciones [II].

En el caso que nos compete la banda de frecuencias se halla en las ondas de 2GHz, 5GHz y 12GHz; que son las denominadas frecuencias comerciales de operación.

Para delimitar es rango de influencia del sistema se utiliza justamente la topografía, en esta primera versión se trabajará sobre el mapa de la Provincia de Loja (Sur de Ecuador), esta cartografía utilizada se encuentra en formato *dxf*, por considerárselo de uso más estándar en Latinoamérica, en ella se utilizan curvas de nivel cada 200 metros, además tiene puntos georeferenciados y elevaciones denominadas inauguradas, las cuales no son más que cerros que en la actualidad tienen ya instalada una base de comunicaciones, para establecer los puntos de conexión se han referenciado también las poblaciones (capital cantonal y parroquias) a lo largo del territorio provincial, pese a contar por defecto con esta cartografía el software permite la adquisición de cualquier base digital y realizar las mismas operaciones para cualquier zona, basta con poner toda esta información en el formato adecuado.

Para cualquier localización dentro del mapa es fundamental elegir en que sistema de coordenadas van a ser referidos cada uno de los datos digitales. Estos corresponden normalmente a una de las dos categorías principales:

- coordenadas angulares, normalmente de latitud relativa al Ecuador y de longitud relativa a un meridiano de referencia, en general el de Greenwich (relación no lineal);
- una proyección rectangular aplicada a una zona particular de la superficie de la Tierra según una proyección matemática definida (relación lineal).

Muchos sistemas cartográficos internacionales se basan en la proyección transversal de Mercator. El sistema de proyección universal transversal de Mercator (UTM, *universal transverse Mercator*) es un conjunto de dichas proyecciones basado en definiciones uniformes para distintas longitudes, en los cuales el norte está referido al Ecuador. Esto proporciona un grado útil de normalización.

Para elegir el sistema de coordenadas consideramos los siguientes aspectos:

La región específica es relativamente de área corta por tanto las dimensiones reales no tendrán una distorsión notable al convertir los datos de un sistema de coordenadas a otro.

De la misma forma los perfiles se extraerán en pequeñas extensiones de terreno, es decir serán trayectos relativamente cortos (de acuerdo a la ITU la distancia debe ser de hasta 100Km[III]), en cuales una línea recta en el espacio se aproxima a una línea recta en el suelo, por tanto los datos indexados a una proyección rectangular permitirán ser utilizados correctamente.

Con coordenadas UTM además de tiene un directa correspondencia a las unidades utilizadas en los cálculos. Como se mencionó no sólo la base topográfica es importante también se debe tener un conocimiento certero de las condiciones climatológicas de la zona, ahora bien a grandes rasgos no es probable que en una región geográfica determinada aparezcan todos los tipos de superficie del terreno, lo cual tiene una consecuencia importante con respecto al almacenamiento de datos.

TABLA 6: CLIMATOLOGÍA PROVINCIA DE LOJA

PROVINCIA: LOJA									
CODIGO M033 NOMBRE: LOJA-ARGELIA									
LATITUD 04°02'11"S - LONGITUD 79°12'04"W									
ELEVACION: 2160 msnm									
	VALORES MENSUALES								
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PROM	21.2	14	13.5	14.3	12	14.1	20.2	19.3	20.2
MAX	50	26.2	30.9	31.6	30.5	43.3	39.9	50.9	54

Si bien puede elaborarse un conjunto universal de información sobre superficie del terreno, muchas de las categorías establecidas serían irrelevantes en la mayoría de las aplicaciones específicas de las bases de datos topográficos. En la aplicación realizada se cuenta con el apoyo logístico del INAMHI [IV], el cual colaboró con los datos estadísticos de varias provincias de la región sur del

Ecuador, lo cual nos provee de una aproximación bastante válida de comportamiento climatológico.

De acuerdo a la tabla anterior podemos analizar los datos contenidos, para clasificar cada uno de los tipos de terreno a las normas internacionales dadas por la ITU, el cual desarrolla un conjunto de categorías de superficie del terreno que se utilizarían de la misma forma en todas las aplicaciones.

FACTOR DE RUGOSIDAD (A):

- 4 = espejos de agua, ríos muy anchos, etc
- 3 = sembrados densos; pastizales; arenales
- 2 = bosques (la propagación va por encima)
- 1 = terreno normal
- 0,25 = terreno rocoso disparejo

FACTOR CLIMÁTICO (B):

- 1 = áreas marinas o con condiciones de peor mes, anualizadas
- 0,5 = áreas tropicales calientes y húmedas
- 0,25 = áreas mediterráneas de clima normal
- 0,125 = áreas montañosas de clima seco y fresco

4. SELECCIÓN DE MEJOR RUTA

Para la selección de mejor ruta se debe estudiar la teoría de grafos, ya que las rutas posibles son muchas, tanto así que el número de posibles soluciones crece exponencialmente con el número de nodos del grafo, pero sólo una estará acorde a nuestras necesidades.

Una grafo como lo indica su nombre, es la representación gráfica de los datos de una situación particular, en nuestra aplicación se tendrá la información de elevaciones tanto de cerros como de poblaciones. El grafo consta de vértices (elevaciones) y aristas dirigidas (orientación en el plano) que son todos los vanos que tienen una trayectoria aceptada es decir válida para ser utilizada (se ha comprobado despejamiento).

El grafo trabaja de tal forma que ha cada arista se le asigna un peso, el cual será la distancia en metros entre vértice (cerros), entonces el algoritmo selecciona en primera instancia todas las rutas con número de saltos iguales (número de nodos S-2 por los que pasa que se traduce en número de repetidoras utilizadas) si existen n rutas se realiza la elección por distancia total en kilómetros que recorre todo el enlace, teniéndose como enlace óptimo aquel que recorre la menor distancia con el menor número de repetidores.

5. EL SOFTWARE

La aplicación se realiza en Visual Basic, con herramientas de MapObject, las cuales implementan bases de topografía digital en formato dxf

La herramienta se ha dividido en los siguientes aspectos:

1. Determinar frecuencia de operación y equipos utilizados.
2. Identificación de puntos origen-destino.

3. Escoger la mejor ruta.
4. Realizar cálculos de confiabilidad.
5. Incorporación de bases de datos.

Todos estos bloques se integran en una única línea de código.

Identificación de puntos origen-destino

En este punto se pone en juego la base topográfica de "poblaciones" con la que cuenta el mapa, se evalúan localización en coordenadas UTM y elevación, esto como vértices del grafo de selección de mejor ruta.

Validación de ruta

Dentro del código fuente se comienza una rutina, la cual aplica el algoritmo de aceptación de trayecto, que consiste en comprobar el Despojamiento de la Zona de Fresnel:

- Adquirir datos de localización y elevación de puntos de recepción y transmisión.
- Evaluar elevación de torre de transmisión h_T (m) y de torre de recepción h_R (m)
- Adquirir frecuencia f de transmisión.
- Escoger el factor k de curvatura de la Tierra (4/3, 2/3).
- Evaluación de trayectoria.
- Análisis del primer trayecto.
- Evaluación de estaciones repetidoras.
- Evaluación de la altura de las elevaciones repetidoras y del posible obstáculo (h_1 , h_2 y H_0 respectivamente).
- Evaluación de las distancias entre posible obstáculo y repetidores. (d_1 , d_2 y $D = d_1 + d_2$)
- Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel

$$Rf_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{D}} \quad (7)$$

- Cálculo de altura de las antenas
- Transmisión: $H_1 = h_1 + h_T$
- Recepción: $H_2 = h_2 + h_R$
- Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel

$$F = \frac{H_1 d_2 + d_1 H_2}{D} - H_0 - 0.0784 \frac{d_1 d_2}{k} \quad (8)$$

- Cálculo de margen M de despejamiento de primera zona de Fresnel

$$M = F - Rf_1 \quad (9)$$

- Verificación de despejamiento de la primera Zona de Fresnel.

$$M \geq 0 \text{ aprobado} \quad M < 0 \text{ obstruido} \quad (10)$$

Todas estas acciones se agrupan en un bucle hasta determinar una trayectoria con n vanos (trayecto unitario entre origen- repetidor, repetidor-repetidor o repetidor-destino).

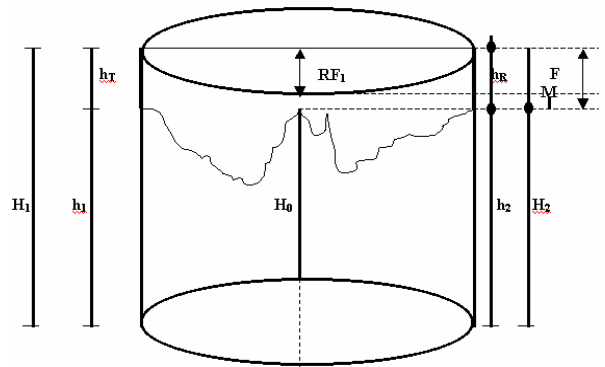
Selección de la mejor ruta

Con los datos de vanos aceptados se construye el grafo, con origen y destino como vértice y las aristas como enlaces entre éstos y las repetidoras.

Luego se pone en funcionamiento la resolución del grafo por número de nodos y menor distancia.

Realizar cálculos de confiabilidad

Cuando la ruta escogida entra en juego los datos sobre equipos. Para determinar la confiabilidad se toma en consideración los parámetros antes mencionados como son: pérdidas y ganancias.



Algoritmo de Cálculo de Pérdidas

- Constante $c = 3 \times 10^8$ m/s
- Ingresar frecuencia f (Mhz) de transmisión.
- Ingresar distancia total entre repetidor D (Km).
- Ingresar altura de torre de transmisión h_T (m) y de torre de recepción h_R (m)
- Ingresar longitud del alimentador d_{lt} (m) para transmisor (medida o aproximada).
- Ingresar pérdida por conductor p_{ct} , pérdida por diversidad p_{dt} y pérdida de la línea p_{lt} (dB) cada 100m, en el transmisor, caso contrario referirse a la tabla 1 y escoger entre las opciones:
 - Cable coaxial
 - Guía Onda

Luego de ello evaluar la frecuencia de operación y extraer el valor de pérdida correspondiente (poner cuidado en las unidades señaladas en la tabla [GHz])

Cálculo de pérdidas por líneas de alimentación L_{ft} (dB), en el transmisor.

$$L_{ft} = p_{lt} \times d_{lt} / 100 \quad (11)$$

- Realizar el mismo procedimiento en el receptor.
- Cálculo de pérdidas totales por alimentador del transmisor $L_{tx} = \text{atenuación} + \text{pérdida por diversidad} + \text{pérdida de acoples}$

$$L_{tx} = p_{ct} + p_{dt} + L_{ft} \quad (12.a)$$

- Cálculo de pérdidas totales por alimentador del receptor

$$L_{rx} = p_{cr} + p_{dr} + L_{fr} \quad (12.b)$$

- Cálculo de pérdidas por el espacio libre L_e (dB) expresado por la Ec. 1.

$$L_e = \left(\frac{4\pi f D}{c} \right)^2$$

- Cálculo de pérdidas totales L (dB).

$$L = L_e + L_{tx} + L_{rx} \quad (13)$$

Algoritmo de Cálculo de Confiabilidad

- Ingresar margen mínimo de umbral de recepción μ_{rx} .
- Ingresar BER del sistema.
- Ingresar frecuencia f de transmisión.
- Ingresar distancia total entre repetidor D (Km).
- Ingresar potencia de transmisión P_t (W).
- Ingresar las ganancias de antenas transmisor y receptor G_t (dB) y G_r (dB) respectivamente, caso contrario referirse a los valores de las tablas correspondientes.
- Cálculo de longitud de onda λ (m).

$$\lambda = \frac{300000000}{f} \quad (14)$$

- Cálculo de la potencia recibida P_r (W) en el espacio libre.

$$P_r = \frac{G_t G_r \lambda^2 P_t}{(4\pi D)^2} \quad (15)$$

- Cálculo de Ganancia Isotrópica G (dB).

$$G = G_t + G_r \quad (16)$$

- Cálculo de potencia del receptor P_{rx} (dB).

$$P_{rx} = P_t + G - L \quad (17)$$

- Cálculo del Margen de desvanecimiento

$$F_m = P_{rx} - \mu_{rx} \quad (18)$$

- Evaluar climatología del trayecto para extraer los factores A y B, referirse a la tabla correspondiente
- Cálculo del Factor de Confiabilidad despejado en la Ec. 4.

$$R = 1 - \log^{-1} \left(\frac{30 \log D - 10 \log(6ABf) - 70 - F_m}{10} \right) \quad (19)$$

- Cálculo de Ganancia del Sistema G_s (dB), para lo cual relacionamos las Ec. 5 y 6.

$$G_s = F_m + L - G_r \quad (20)$$

Incorporación de bases de datos

La herramienta cuenta con bases de datos en cuanto a antenas y guías de onda; además tiene información con respecto a las elevaciones inauguradas, como son:

vialidad, tendido eléctrico y frecuencias que operan dentro de la zona, como ayuda para evaluación de competencia de terreno en el sistema que se desea implementar.

Todos estos datos son requeridos en los algoritmos y pueden ser utilizados con fines académicos puesto que tienen aspectos típicos de equipos.

6. CONCLUSIONES

- La aplicación de modelos de predicción de la propagación requiere información topográfica, el hecho de poder contar con topografía digital, nos permite tener un gran detalle de las zonas que se pretende servir con el sistema de comunicaciones.
- Los algoritmos de planificación deben ser pensados para cada zona en particular evaluando su climatología y orografía.
- La topografía digital a través de SIG presta un gran detalle de orografía y una excelente precisión en localización y elevación.
- En la actualidad se encuentran muchas aplicaciones para los sistemas SIG, lo cual despierta cada vez mayor interés la utilización de otras estrategias de almacenamiento para los datos topográficos, tanto para reducir el espacio de almacenamiento como para conseguir, en algunos casos, una representación más eficaz de la altura del terreno.
- El formato utilizado es .dxf, por considerarlo de uso mundial, ya que se consideró que es preciso el intercambio de datos con otros investigadores e inclusive que el software pueda ser válido para cualquier lugar en estudio.
- Las estimaciones de condiciones ambientales se realizan como promedio para una zona específica de terreno.
- Es necesario el tener un asesoramiento técnico práctico sobre la elaboración de mapas topográficos digitales para las predicciones de la propagación, el formato que se ha planteado para la presente aplicación es válido para la provincia de Loja e inclusive para el resto del Ecuador; para futuras proyecciones en otras zonas se deben considerar las relaciones entre sistemas de coordenadas.

7. REFERENCIAS

- TOMASI Sistemas de Comunicación
- Recomendación ITU-R P.1058-2: Bases de Datos Topográficos Digitales para Estudios de Propagación
- Recomendación ITU-R P.1058-2: Bases de Datos Topográficos Digitales para Estudios de Propagación Anexo 1
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito-Ecuador