

INTRODUCCION

El uso de sistemas de radiocomunicaciones es una tecnología que, desde comienzos del siglo pasado, ha sido utilizado para múltiples propósitos. La humanidad tuvo exacta conciencia de la utilidad de la comunicación por radio cuando por primera vez fue posible socorrer, a grandes grupos de personas en peligro, especialmente en accidentes marítimos.

Su uso en comunicaciones privadas y públicas ha sido de gran beneficio para la optimización de recursos, tanto humanos como materiales en todo tipo de instituciones. Desde la fundación de su predecesor (INOS), en HIDROCAPITAL se ha hecho indispensable el uso de las radiocomunicaciones para el monitoreo de las actividades de campo en las instalaciones y áreas de la institución.

HIDROCAPITAL en la actualidad atiende a una población total de 4.992.084 personas, de 23 municipios en el Área Metropolitana, y los estados Miranda y Vargas, organizados en varios sistemas, a saber: Sistema Metropolitano, Sistema Litoral, Sistema Lozada Ocumarito, Sistema Panamericano, Sistema Fajardo, Sistema Barlovento y Camatagua. Dada la magnitud de la población a atender, así como lo extenso del territorio cubierto se hace indispensable un sistema de radio comunicaciones practico y confiable, para mejora del desempeño del personal técnico y obrero que labora en las diferentes instalaciones. Al establecer, vía radiocomunicaciones, una comunicación confiable entre los Sistemas Metropolitano y Barlovento se optimiza de forma notable el monitoreo de la Región de Barlovento por parte de Control Caracas, ubicado en la sede de Maripérez, así como la interacción entre el personal ubicado en ambos sistemas. Adicionalmente, como valor agregado, este enlace busca independizar las comunicaciones internas de empresas de comunicación ajenas a la empresa, con el consiguiente ahorro en recursos económicos, y el mayor control por parte de HIDROCAPITAL de las mismas.

El presente trabajo consta de 4 capítulos. En el primero se plantea el problema a resolver, el contexto en el cual se desarrolla la problemática así como los objetivos planteados, de forma general y específica. En el segundo capitulo se explican cada uno de los fundamentos teóricos usados en la realización de los cálculos mostrados en el siguiente capitulo. En el

tercer capítulo se muestran detalladamente los cálculos de propagación, en base a los cuales se escogieron las rutas más apropiadas, así como los datos relevantes de cada una de las repetidoras posibles para el enlace. En el cuarto capítulo se muestran las alternativas de solución al problema, desprendidas de los cálculos realizados con anterioridad, así como el planteamiento de un sistema de conexión alternativo al de las radio comunicaciones, en este caso un enlace de microondas para datos.

CAPITULO I

1.1 El problema de investigación

Desde la creación del Instituto Nacional de Obras Sanitarias (I.N.O.S) las operaciones realizadas para el suministro de agua potable a la población se llevo a través de un sistema de radiocomunicaciones en la cual se establecían las comunicaciones desde las diferentes estaciones de trabajo a nivel Nacional, esta red trabajaba en la banda HF.

Una vez decretada la eliminación del I.N.O.S se crea Hidroven con sus empresas filiales en cada área geográfica del país. HIDROCAPITAL pasó a ser la compañía Hidrológica responsable del suministro de agua potable en el Distrito Capital y los Estados Miranda y Vargas.

Para el control de las operaciones HIDROCAPITAL posee un sistema de radiocomunicaciones operando en la Banda VHF (Banda ubicada entre los 30 y los 300 Mhz, trabajando específicamente entre los 150 y 175 Mhz) en cada área de responsabilidad, diseñado con la finalidad de que los trabajadores ubicados en las instalaciones puedan establecer una comunicación de forma eficaz, con el consiguiente aumento de la eficiencia del trabajador y por consiguiente del sistema. Sin embargo, los Sistemas Metropolitano (Caracas) y Sistema Barlovento (Barlovento Edo Miranda), no poseen una conexión que permita el intercambio de comunicaciones vía radio entre el personal ubicado en las dos regiones, teniendo que establecer las comunicaciones vía telefónica, incrementando de esta manera los costos en la facturación, igualmente en ocasiones este tipo de comunicación se hacen engorrosas y muchas veces imposibles cuando el personal se encuentra en lugares inaccesibles; por consiguiente surge la necesidad de interconectar, vía radiocomunicaciones, los dos sistemas. Esta interconexión requiere de un proyecto técnico que tenga como resultado propuestas de posibles enlaces que permitan dicha interconexión, así como plantear un sistema de comunicación alternativo entre los dos

sistemas, para dar un paso más en la independencia de la empresa en materia de telecomunicaciones.

1.2 Objetivos

Realizar una propuesta técnica que permita interconectar, a través de un enlace vía radiocomunicaciones en la banda VHF, específicamente entre los 150 y los 174 Mhz, los Sistemas Metropolitano y Sistema Barlovento de la empresa HIDROCAPITAL.

Para la realización de esta propuesta fue necesario, primero analizar los sistemas de radio comunicaciones ya existentes en cada una de las regiones a interconectar (Sistema Metropolitano y Sistema Barlovento) así como recopilar información de cada una de las estaciones que constituyen el sistema de radiocomunicaciones de HIDROCAPITAL. Una vez realizado esto, se realizó la inspección de la topografía entre cada una de las estaciones, esto con la finalidad de determinar cuales de estas estaciones serian las mas idóneas para la realización del enlace. Luego, y en la medida de lo posible, se realizaron visitas a las repetidoras, para verificar el estado de las mismas, así como el espacio disponible y la accesibilidad, entre otros factores. Al mismo tiempo se realizó la investigación de los estándares de radio comunicaciones, así como de los equipos y antenas usualmente usados en estas aplicaciones y en la banda VHF. Una vez decididas las estaciones candidatas para establecer el enlace, así como investigado las características de transmisión y recepción, ganancias de antenas y pérdidas de conectores y conductores, se procedió a hacer un estudio de propagación, el cual incluyo calculo de atenuación por obstáculos y confiabilidad del enlace. Luego de saber con certeza cuales iban a ser las alternativas para el enlace, se procedió a escoger los canales en los cuales se iba a desarrollar el enlace. Una vez culminado el enlace en la frecuencia VHF, se realizó una propuesta para un enlace en microondas que uniera las sedes de los sistemas Metropolitano y Barlovento

CAPITULO II FUNDAMENTOS

2.1 Mecanismos de propagación

La energía radiada por una antena transmisora puede alcanzar a la receptora a lo largo de muchas trayectorias posibles de propagación. Las ondas que llegan al receptor después de una reflexión o dispersión en la ionosfera se conocen como ondas celestes o bien ondas reflejadas o dispersadas ionosféricamente. Las ondas que se dispersan en la troposfera se denominan ondas troposféricas. Las ondas que se propaga en caminos próximos a la superficie terrestre se consideran ondas terrestres. Es conveniente dividir la onda terrestre en onda espacial y onda superficial. La onda espacial puede formarse por la onda directa, y la onda reflejada en el suelo. La onda directa es la señal que sigue un camino directo desde el punto transmisor al punto receptor, y la onda reflejada es la que llega al receptor después de haber sido reflejada en la superficie terrestre.

La onda espacial también incluye la parte de la energía recibida como resultado de la difracción rodeando a la superficie terrestre y aquella retractándose en la atmósfera superior. La onda superficial es una onda guiada a lo largo de la superficie de la tierra. Se sustrae energía de esa onda superficial para cubrir las pérdidas que hay en la superficie terrestre; así la atenuación de la onda esta afectada directamente por las características de la superficie terrestre que se encuentra a su paso.

Dependiendo de la frecuencia de trabajo existen mecanismos de propagación preferentes, que determinan el camino seguido por las ondas desde el transmisor hasta el receptor. En el caso particular de microondas (de VHF en adelante) solo interesan las ondas terrestres. Más aun de las ondas terrestres solo interesan la directa y la reflejada (y la multitrayectoria)

2.2 Ondas Terrestres

El problema general de la radiación de una antena vertical sobre tierra plana que tiene conductividad finita fue resuelto originalmente por Arnold Sommerfield en 1909. En su discurso original Sommerfield estableció que era posible dividir la intensidad del campo de la onda terrestre en dos partes, una espacial y otra superficial. La onda espacial predomina a gran distancia del suelo mientras que la onda superficial es mayor cerca del suelo. Cuando tanto la antena transmisora como la receptora están sobre la superficie terrestre, el ángulo rasante es cero (caso típico antenas AM). En estas condiciones el coeficiente de reflexión es -1, de manera que se anulan los efectos de las ondas directa y reflejada y la propagación se debe enteramente a la onda superficial. En frecuencias altas o muy altas es posible elevar las antenas un cuarto de onda o más sobre el suelo. Cuando las antenas están elevadas al menos a una altura de media longitud de onda la onda espacial ya no es cero, y la señal resultante en la antena receptora es la suma vectorial de las ondas espacial y superficial. Mas aun, si la frecuencia de onda es lo suficientemente alta (VHF o mayores) el factor de atenuación de la onda superficial tiende a cero, por lo cual el efecto de la onda superficial es despreciable. En este caso el campo en el receptor es la suma vectorial de la onda directa y la onda reflejada. Este es el caso de los enlaces de VHF. [1]

2.3 Propagación en espacio libre

La propagación en espacio libre puede calcularse de dos formas diferentes, cada una de las cuales se adapta mas especialmente a un tipo de servicio; siendo estos clasificados en enlaces punto – multipunto y enlaces punto a punto. Para el caso que nos interesa aplicaremos el enlace punto a punto.

2.3.1 Cálculo de enlace punto a punto en la banda VHF

Para poder caracterizar un enlace punto a punto, es necesario conocer la confiabilidad del mismo, la cual está definida como el porcentaje de tiempo referido a un año en el que el radio enlace se va a encontrar en funcionamiento. La recomendación de la UIT-R P.530-10 establece un método para predecir la distribución de desvanecimientos a una sola frecuencia (o de banda estrecha) para desvanecimientos muy profundos para el mes más desfavorable medio en cualquier parte del mundo que consta de tres pasos.

Paso 1: Para la ubicación del trayecto en cuestión, estímesse el factor geoclimático, K , correspondiente al mes más desfavorable medio a partir de los datos de desvanecimiento de la zona geográfica que interesa, si se dispone de ellos (ver anexos).

Si no se dispone de datos medidos para K , y se está efectuando un diseño detallado del enlace (véase la Nota 1), estímesse el factor geoclimático para el mes más desfavorable medio a partir de la expresión:

$$K = 10^{-3,9-0,003dN_1 s_a^{-0,42}} \quad \text{Ecuación 2.3.1.1}$$

En la que dN_1 es el gradiente de refractividad puntual en los 65 m inferiores de la atmósfera que no se rebasa durante el 1% de un año medio, y s_a es la rugosidad del terreno en la zona.

La Recomendación UIT-R P.453 da el valor de dN_1 en una cuadrícula de 1,5° en latitud y longitud. El valor correcto de la latitud y la longitud en el centro del trayecto debe obtenerse por interpolación bilineal a partir de los valores de los cuatro puntos más próximos de la cuadrícula. Los datos van en formato tabular y pueden obtenerse de la Oficina de Radiocomunicaciones (BR).

s_a se define como la desviación típica de las alturas del terreno (m) en una zona de 110 Km .x 110 Km. con una resolución de 30 s (por ejemplo, los datos Globe

«gtopo30»). La zona debe estar alineada con la longitud, de forma que las dos mitades iguales de ésta se encuentren a cada lado de la longitud que atraviesa el centro del trayecto. Puede disponerse de datos del terreno en Internet (la BR facilita la dirección de Internet).

Si se necesita un estimado grueso de K para aplicaciones de planificación (véase la Nota 1), puede obtenerse una estimación bastante precisa a partir de la fórmula:

$$K = 10^{-4,2-0,0029dN_1} \quad \text{Ecuación 2.3.1.2}$$

Paso 2: A partir de las alturas de antena h_e y h_r ((m) sobre el nivel del mar), calcúlese la magnitud de la inclinación del trayecto $|\varepsilon_p|$ (mrad) a partir de:

$$|\varepsilon_p| = |h_r - h_e| / d \quad \text{Ecuación 2.3.1.3}$$

en la que d es la longitud del trayecto (Km.).

Paso 3: Para aplicaciones de diseño detallado del enlace (véanse las Notas 1 y 2), calcúlese el porcentaje de tiempo, p_w , durante el que se rebasa la profundidad de desvanecimiento A (dB) en el mes más desfavorable medio a partir de:

$$p_w = Kd^{3,2}(1 + |\varepsilon_p|)^{-0,97} \times 10^{0,032f - 0,00085h_L - A/10} \quad \% \quad \text{Ecuación 2.3.1.4}$$

Donde f es la frecuencia (GHz), h_L es la altura de la antena inferior (es decir, el valor menor de h_e y h_r), y donde el factor geoclimático K , se obtiene de la ecuación 2.3.1.1.

Para aplicaciones de planificación rápida según se desee (véanse las Notas 1 y 2), calcúlese el porcentaje de tiempo, p_w , en el que se rebasa la profundidad de desvanecimiento A (dB) en el mes más desfavorable medio a partir de:

$$p_w = Kd^{3,0}(1 + |\varepsilon_p|)^{-1,2} \times 10^{0,033f - 0,001h_L - A/10} \quad \% \quad \text{Ecuación 2.3.1.5}$$

en donde K se obtiene de la ecuación 2.3.1.2.

NOTA 1 – Las desviaciones típicas totales de los errores de las predicciones utilizando las ecuaciones 2.3.1.1 y 2.3.1.4, y 2.3.1.2 y 2.3.1.5, son 5,7 dB y 5,9 dB, respectivamente (incluyendo la contribución de la variabilidad de un año a otro). En la amplia gama de trayectos que se incluyen en estas cifras, se aplica una desviación típica mínima de los errores de 5,2 dB a los trayectos sobre tierra para los que $h_L < 700$ m, y un valor máximo de 7,3 dB para los trayectos sobre el agua. No obstante, la pequeña diferencia entre las desviaciones típicas totales no refleja de forma precisa la mejora en las predicciones que puede obtenerse utilizando las ecuaciones 2.3.1.1 y 2.3.1.4 para enlaces sobre terreno muy accidentado (por ejemplo, montañas) o terreno muy liso (por ejemplo, trayectos sobre el agua). Por ejemplo, las desviaciones típicas de los errores para enlaces sobre montañas ($h_L > 700$ m), se reducen en 0,6 dB, y los errores individuales para enlaces sobre regiones de montañas altas, hasta en varios decibelios.

NOTA 2 – Las ecuaciones 2.3.1.4 y 2.3.1.5, y las ecuaciones correspondientes 2.3.1.1 y 2.3.1.2 para el factor geoclimático K , se obtuvieron a partir de regresiones múltiples de los datos de desvanecimiento de 251 enlaces en varias regiones geoclimáticas del mundo con longitudes de trayecto d comprendidas entre 7,5 y 185 Km., frecuencias f en la gama de 450 MHz-37 GHz, inclinaciones del trayecto $|\varepsilon_p|$ de hasta 37 mrad, altitudes de antena inferiores h_L en la gama 17-2 300 m, gradientes de refractividad dN_1 en la gama de -860 a -150 N unidades/km, y rugosidades de la superficie de la zona s_a en la gama 6-850 m (para $s_a < 1$ m, se utiliza un límite inferior de 1 m).

Se espera también que las ecuaciones 2.3.1.4 y 2.3.1.5 sean válidas para frecuencias de al menos 45 GHz. Los resultados de un análisis semiempírico indican que el límite inferior de frecuencia es inversamente proporcional a la longitud del

trayecto. Puede obtenerse una estimación aproximada de este límite inferior de frecuencia, $f_{mín}$, a partir de:

$$f_{mín} = 15 / d \quad \text{GHz} \qquad \text{Ecuación 2.3.1.6}$$

Donde d esta expresada en kilómetros [2].

2.3.2 Margen de desvanecimiento

En el diseño de un radio enlace se debe especificar la fiabilidad en cuanto a desvanecimiento junto con el margen de desvanecimiento. Si el umbral de recepción es U (dBm) y, el margen de desvanecimiento es M (dB), cada vez que haya un desvanecimiento que exceda M (dB) se perderá la señal y se registrará una interrupción del circuito. El umbral de recepción queda establecido según las características del equipo y el margen de desvanecimiento queda establecido según la siguiente formula:

$$M \text{ (dB)} = Prx \text{ (dBm)} - U \text{ (dBm)} \qquad \text{Ecuación 2.3.2.1}$$

Donde Prx (dBm) es el nivel de potencia recibido en el receptor.

2.4 Potencia Recibida

Para poder calcular un enlace punto a punto, es necesario conocer el nivel de potencia que llega al receptor, dada una potencia en el extremo transmisor. Esta potencia puede ser expresada de la siguiente forma:

$$P_{rx}(dBm) = P_{tx}(dBm) + G_{tx}(dB) + G_{rx}(dB) - A_o(dB) - A_m(dB) - A_{al}(dB) \text{ Ecuación 2.4.1}$$

Donde:

$P_{rx}(dBm)$: Potencia que llega al receptor, expresada en dBm

$P_{tx}(dBm)$: Potencia emitida por el transmisor, expresada en dBm

$G_{tx}(dB)$: Ganancia de la antena transmisora.

$G_{rx}(dB)$: Ganancia de la antena receptora.

$A_o(dB)$: Pérdida básica de transmisión en el espacio libre.

$A_m(dB)$: Pérdida relativa al espacio libre.

$A_{al}(dB)$: Pérdidas en las líneas de alimentación

Potencia de transmisión: Este parámetro viene dado por las características de los equipos a utilizar en el enlace.

2.5 Ganancia de antenas:

La ganancia de una antena es un parámetro que determina la directividad de una antena dada, es decir, a mayor directividad, mayor ganancia. Una antena con una ganancia baja emite radiación en todas direcciones, en cambio una antena con alta ganancia irradiana en una dirección en particular. Específicamente la ganancia de una antena esta definida como el cociente de la intensidad de radiación dada por una antena a una distancia arbitraria dividida entre la intensidad radiada a la misma distancia por una antena isotrópica, cuando ambas están alimentadas por la misma potencia.

$$G = \frac{\left(\frac{P}{S}\right)_{ant}}{\left(\frac{P}{S}\right)_{iso}} \text{ Ecuación 2.5.1}$$

Existen dos tipos principales de antenas:

1. Las antenas lineales. Son antenas cuyos elementos radiantes son lineales, es decir, los conductores que las forman tienen una sección de grosor despreciable respecto a la longitud de onda de trabajo y respecto a su longitud física total. Se utilizan extensamente en bajas frecuencias, se pueden utilizar en altas frecuencias y se pueden agrupar en arreglos que trabajan en bandas hasta la UHF. Ejemplos de antenas lineales son:
 - El monopolo vertical
 - El dipolo y su evolución, la antena Yagi
 - La hélice

2. De apertura. Las antenas de apertura son aquellas que utilizan superficies o aperturas para direccionar el haz electromagnético de forma que concentran la emisión y recepción de su sistema radiante en una dirección, formando ángulos sólidos, la más conocida y utilizada en la actualidad es la antena parabólica, tanto en enlaces de radio terrestres como satelitales, la ganancia de dichas antenas estará relacionada con la superficie de la parábola, a mayor tamaño mayor colimación del haz tendremos y por lo tanto mayor ganancia en una menor apertura angular. El elemento radiante es el iluminador, el cual puede iluminar en forma directa a la parábola o en forma indirecta mediante un sub reflector, dependiendo del diseño de la misma. El iluminador está generalmente ubicado en el foco de la parábola.

Para la frecuencia en la que se realizara el enlace, es común el uso de antenas yagi.

2.5.1 Antena yagi

Antena ideada por el japonés Hidetsugu Yagi, un ingeniero eléctrico que patentó esta antena en 1926. Se trata de una antena en la cual los elementos irradiantes y los elementos parásitos se montan sin aislamiento



Figura 2. 1. Esquema de una antena Yagi simple

- **Principio de funcionamiento**

Como se observa en la figura, una antena Yagi-Uda está formada por un elemento alimentado (conectado al emisor o al receptor) formado por un simple dipolo o un dipolo doblado llamado también "radiador" de manera inapropiada, ya que en la antena Yagi-Uda todos los elementos irradian de manera comparable. Además de ese elemento, la antena tiene uno o varios elementos aislados llamados elementos parásitos. La corriente que circula en el elemento alimentado irradia un campo electromagnético, el cual induce corrientes en los "elementos parásitos" de la antena. Las corrientes inducidas en esos elementos irradian también campos electromagnéticos que a su vez inducen corrientes en los demás. Finalmente la corriente que circula en cada uno de los elementos es el resultado de la interacción entre todos los elementos.

La amplitud y la fase de esa corriente dependen de la posición y de las dimensiones de cada elemento. El campo electromagnético irradiado por la antena en cada

dirección será la suma de los campos irradiados por cada uno de los elementos. Esta suma es complicada porque la amplitud y la fase de la corriente que circulan en cada elemento son diferentes. Además, como la distancia a cada elemento depende de la dirección del punto de medida del campo, la suma dependerá de la dirección.



Figura 2.2 Ejemplo de amplificación con dos elementos

En la grafica anterior, el elemento situado delante el elemento alimentado y que refuerza el campo hacia adelante, se llama director. Los elementos situados detrás y que refuerzan el campo hacia adelante se llaman reflectores. Pero no hay que confundirlos con las superficies o rejillas reflectoras utilizadas en otros tipos de antenas.

Eléctricamente, el costo de esta directividad es una disminución de la parte resistiva de la impedancia de la antena. Con una misma corriente de alimentación, el campo radiado es más débil. Se compensa este inconveniente remplazando el dipolo alimentado por un dipolo doblado.[3]

2.6 Perdida básica de transmisión en el espacio libre

Cuando se trata de un enlace punto a punto, es preferible calcular la atenuación en espacio libre entre dos antenas isótropas, denominada también perdida básica de transmisión en espacio libre de la manera siguiente:

$$A_o = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad \text{Ecuación 2.6.1}$$

- A_o : pérdida básica de transmisión en espacio libre(dB)
- d : distancia
- λ : longitud de onda (expresándose d y λ en las mismas unidades)

En esta ecuación se asume que el medio entre las antenas es un medio dieléctrico perfectamente homogéneo, isótropo e ilimitado

La ecuación anterior puede describirse en función de la frecuencia en vez de la longitud de onda :

$$A_o = 32.5 + 20 \log(f(Mhz)) + 20 \log(d(Km)) \quad \text{Ecuación 2.6.2}$$

2.6.1 Pérdida relativa al espacio libre

Es la diferencia, expresada en decibeles, entre la pérdida básica de transmisión y la pérdida básica de transmisión en el espacio libre.

La pérdida relativa al espacio libre puede descomponerse en diferentes tipos de pérdidas tales como:

- Pérdidas de absorción (por gases atmosféricos o precipitaciones)
- Pérdida por difracción
- Pérdida por acoplamiento de polarización
- Efecto de interferencia entre el rayo directo y los rayos reflejados [4]

2.6.1.1 Pérdidas por precipitaciones

Las precipitaciones, especialmente de lluvia, producen absorción y dispersión de las ondas radioeléctricas. Estos efectos se combinan para producir atenuación.

Aunque todas las frecuencias están sometidas a estos efectos, la atenuación solo es importante en frecuencias superiores a varios gigahercios y para porcentajes de tiempo en los que la precipitación es intensa [5]

2.6.1.2 Perdidas por difracción

En la propagación sobre la superficie de la Tierra, se encuentran frecuentemente trayectos de difracción y es, por tanto, necesario calcular la pérdida de transmisión debida a la difracción que produce, bien en la superficie esférica de la tierra, o bien en un terreno irregular que incluye diferentes tipos de obstáculos. Para enlaces de VHF la propagación se efectúa con visibilidad directa, presentándose el fenómeno de difracción únicamente debido a obstáculos presentes en el camino de propagación. Dado que las distancias involucradas son bastante menores al horizonte radioeléctrico, el fenómeno de difracción sobre la superficie esférica de la tierra no ocurre. Otro factor a considerar en el cálculo del despeje radioeléctrico es la variación vertical del índice refractivo de la atmósfera, lo que conduce a un cambio en la curvatura del camino recorrido por las ondas, lo que puede originar que para determinadas condiciones atmosféricas (atmósfera subrefractiva) se presente el fenómeno de difracción sobre obstáculos que en condiciones normales no son difractores. Este fenómeno conduce al llamado desvanecimiento por difracción.

Para el estudio del fenómeno de difracción sobre obstáculos naturales existen dos modelos básicos: el modelo de “filo de cuchillo” y el modelo de colina redondeada”. Derivados de estos dos modelos existen otros más elaborados como lo son los modelos de secuencias de filos de cuchillos y los modelos de secuencias de colinas redondeadas.

2.6.1.3 Obstáculos tipo “filo de cuchillo”

El efecto de “filo de cuchillo” es una redirección por difracción de una porción de la radiación incidente que incide en un obstáculo bien definido como la cima de una montaña o el filo de un edificio. El efecto de filo de cuchillo es explicado por el principio de Huygens, el cual postula que una obstrucción en el camino de una onda electromagnética actúa como una fuente secundaria, y crea un nuevo frente de onda. El nuevo frente de onda se propaga dentro de la zona de sombra geométrica del obstáculo.

Es importante señalar que para que la atenuación calculada mediante la aproximación de obstáculos “Filo de Cuchillo” se supone que las distancias entre el obstáculo, la fuente y el receptor son lo suficientemente grandes para que sean válidas las aproximaciones propias de la teoría de difracción de Fresnel, pero no tan grandes que permitan las aproximaciones de la difracción de Fraunhofer.

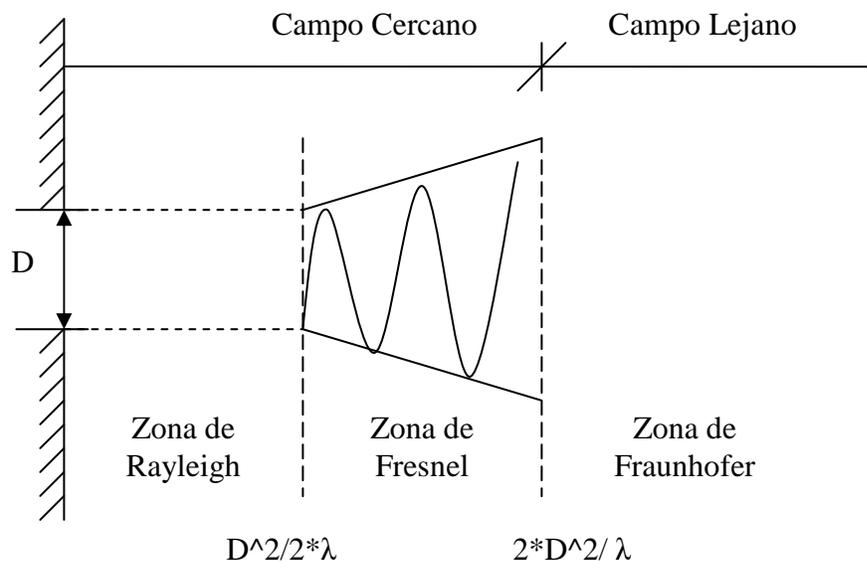


Figura 2.3 Límites entre las distintas zonas de difracción

Para el calculo individual de las atenuaciones por obstáculos “filo de cuchillo”, se utilizó una aproximación propuesta por CCIR para valores de v mayores a -1, es decir para la zona de sombra, la cual es:

$$A = 6.4 + 20 * \log(\sqrt{1+v^2} + v) \quad \text{Ecuación 2.6.1.3.1}$$

Al parámetro v se le denomina *despeje normalizado* y su interpretación física proviene de realizar el cociente de la altura h de la cima del obstáculo sobre la recta que une los extremos del trayecto y el radio del elipsoide que delimita la primera zona Fresnel y multiplicar este cociente por $\sqrt{2}$. El radio del elipsoide que delimita la zona de Fresnel de orden n se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$R_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad \text{Ecuación 2.6.1.3.2}$$

Radio de Fresnel orden n

2.6.1.4 Múltiples obstáculos tipo filo de cuchillo

Para nuestro caso, el cálculo de la atenuación por obstáculos en los enlaces fue realizado bajo el método publicado por Jacques Deygout en 1966, el cual realiza el cálculo de la atenuación por múltiples obstáculos en base al obstáculo con la mayor relación h/r , es decir, el mayor despeje normalizado. A este obstáculo, llamado “colina principal” se le calcula su atenuación como si fuera el único obstáculo. La pérdida por difracción asociada con el segundo obstáculo es calculada considerando la propagación entre el obstáculo principal y el transmisor o el receptor, según sea el

caso, con una fuente virtual sobre el obstáculo principal. En la figura 2.4 se muestra un ejemplo del método aplicado a varios obstáculos tipo “filo de cuchillo” consecutivos.

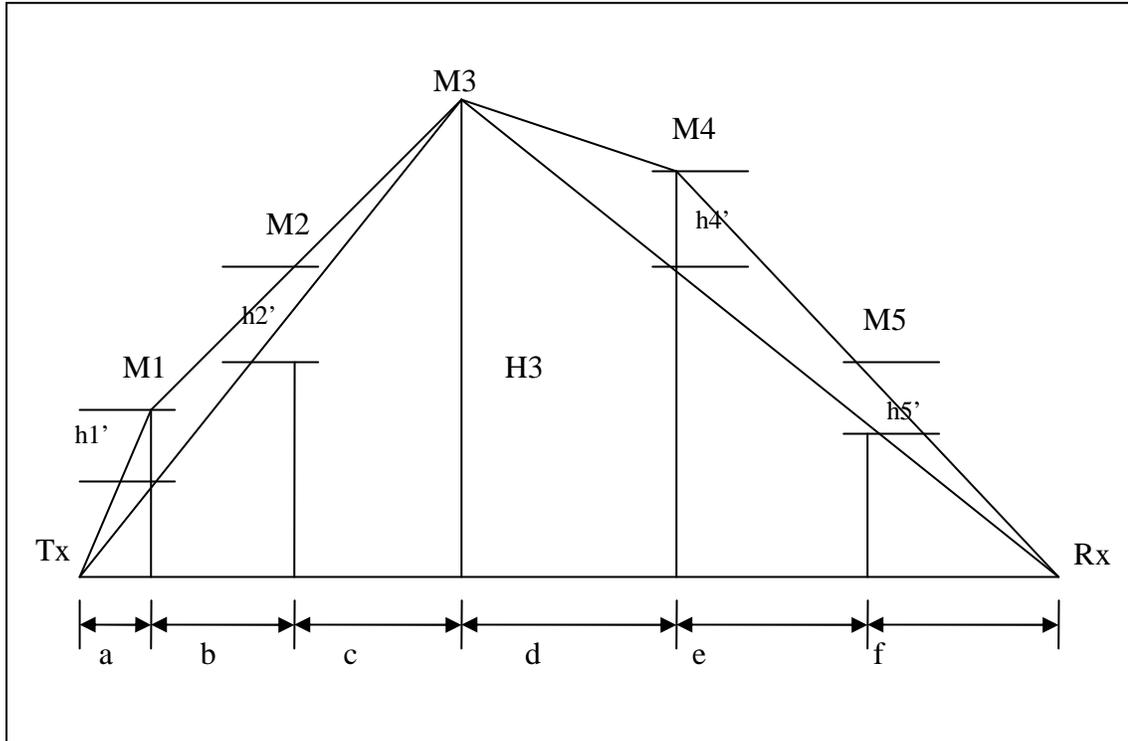


Figura 2. 4 Geometría para la aplicación del método de Deygout

En este caso se observa que el obstáculo principal es M3, M1 es la colina principal entre Tx y M3, y M4 la colina principal entre M3 y Rx. Los parámetros a utilizar son los siguientes:

| Colina/Parámetro | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
|------------------|-----|-----|-------|-----|-----|
| d1 | a | b | a+b+c | d | e |
| d2 | b+c | c | d+e+f | e+f | f |
| h | h1' | h2' | H3 | h3' | h4' |

Tabla 2.1 Parámetros usados para calcular las pérdidas por difracción para un perfil con cinco obstáculos según el modelo propuesto por Deygout.[6]

2.7 Enlaces de Radiocomunicaciones

Los enlaces de radiocomunicaciones, también conocidos como radio enlaces se pueden definir como el sistema de comunicación bilateral que interconecta dos estaciones terrestres y que utiliza como medio de transmisión la atmósfera.

2.7.1 Ventajas y desventajas de los radio enlaces

A continuación se enumeran las ventajas comunes a los radio enlaces por sobre sistemas de línea física como pueden ser sistemas cableados o de fibra óptica y por otra parte los inconvenientes frente a los mismos sistemas.

❖ Ventajas de los radio enlaces

- Fácil instalación y puesta en funcionamiento
- Mayor inmunidad a desastres naturales
- Volumen de inversión inicial mas reducido
- Una torre bien ubicada puede concentrar muchas estaciones
- Facilidades para superar irregularidades del terreno

Además de estas ventajas inherentes a radio enlaces a frecuencias de microondas, hay ventajas aplicables exclusivamente a las frecuencias VHF que no comparte con otras frecuencias, como pueden ser:

- Tiene mayor capacidad de salvar obstáculos, aun cuando estos impidan la condición de espacio libre (Despeje de la primera zona de Fresnel). Dada esta

ventaja, su alcance es un poco mayor que enlaces a mayores frecuencias en las mismas condiciones de relieve.

- Al contrario que en las frecuencias inferiores (HF), típicamente la ionosfera no refleja las ondas en frecuencias VHF, lo cual confina las transmisiones a áreas locales, por lo que no interfiere con comunicaciones a cientos o miles de kilómetros de distancia.
- Las transmisiones en VHF no se ven tan afectadas por el ruido atmosférico e interferencias de equipos eléctricos como transmisiones a menores frecuencias.

❖ **Desventajas de los radio enlaces**

- Se requiere la concesión por parte del estado para el uso y explotación del espectro radioeléctrico
- Capacidad de transmisión limitada
- Explotación limitada a tramos con visibilidad directa para los enlaces convencionales
- Sensible a cambios atmosféricos, así como a tormentas (Nieve, Arena o Agua)
- Espectro radioeléctrico es un recurso limitado y en zonas urbanas muchas veces se encuentra ocupado.

En comparación con otras frecuencias, podemos hacer notar que la principal desventaja de la transmisión en VHF es el poco ancho de banda disponible, en comparación con frecuencias superiores, por lo que las aplicaciones a estas frecuencias están limitadas a aquellas que no requieren de un gran ancho de banda.

2.8 Sistema de radio convencional

Un sistema convencional es un sistema de radio comunicaciones en la que se asigna radio canales a grupos específicos de usuarios que lo comparten; por consiguiente en este tipo de sistemas la privacidad es limitada. Cada canal esta dedicado a una función específica. Los sistemas convencionales, mediante la

limitación de usuarios en un canal específico, también limitan el número total de usuarios que pueden ser servidos por el sistema. Por otra parte, dado que los radios en sistemas convencionales transmiten y reciben en una solo canal, el usuario debe esperar si el canal esta ocupado por otra conversación. Los sistemas convencionales son ideales para organizaciones con un espectro limitado. En contraposición, Los sistemas Trunking requieren de un mayor ancho de banda, pero hacen un uso más eficiente del espectro. La modulación utilizada en radio convencional es FM de banda estrecha.

Los sistemas convencionales han sido, y siguen siendo, el tipo mas popular de sistemas de radio Two-Way en existencia. Los sistemas convencionales ofrecen beneficios, primero son económicos, especialmente cuando la congestión de canales y el control de canales no son de gran importancia. Segundo los sistemas convencionales pueden ser fácilmente mejorados. Por ultimo la cobertura de los sistemas convencionales puede ser fácilmente expandida, simplemente instalando más radio bases.

Hoy en día, miles de sistemas de radio convencional están en operación en el mundo. Los sistemas convencionales varían desde sistemas analógicos, comunicaciones voice-only en un área confinada, a regiones o países enteros, redes de voz y data integrada, con señalización digital, voting, multicast y simulcast broadcasting.

CAPITULO III

CALCULOS

3.1 Repetidores

Se requiere establecer un enlace de radio comunicaciones entre el Sistema Metropolitano y el Sistema Barlovento de HIDROCAPITAL, específicamente entre la sede corporativa del sistema metropolitano y el repetidor del Sistema Barlovento. Para cumplir la función de repetidora se tiene a disposición todos los repetidores de cada uno de los sistemas de radiocomunicaciones pertenecientes a HIDROCAPITAL. La ubicación geográfica de las estaciones fue obtenida mediante GPS con UTM Datum WGS56 y llevándolas a formato sexagesimal.

En primer lugar se Identificaron las estaciones repetidoras del sistema de radiocomunicaciones del sistema de HIDROCAPITAL, las cuales son las siguientes:

3.1.1 Repetidores del Sistema Metropolitano – Filas del avila

Dos (02) repetidores VHF para los canales 6 y 12 del sistema metropolitano

Ubicación: Filas del Ávila. Parque Nacional el Ávila.

Latitud 10°32'40"

Longitud 66°52'45"

Características:

Marca: Motorola

Modelo: MSF5000 (Ver especificaciones en anexos)

AC: 110/120 V

Banco de baterías: 13.5/24.5 VCD

Antenas: DB 224

Este equipo da cobertura para el Área Metropolitana de Caracas



Imagen 3.1 Antenas para el Sistema Metropolitano

3.1.2 Repetidores del Sistema Litoral

Dos (02) repetidores VHF para los canales 04 (Principal) y 01 (Respaldo)

Equipo Principal:

Ubicación: El equipo principal esta situado en el parque Nacional el Avila, Sector el picacho

Características:

Marca: Motorola

Modelo: MTR 2000 (Ver especificaciones en anexos)

AC: 110/120 V

Banco de baterías: 13.5/24.5 VCD

Antenas: DB 224

Este equipo da cobertura al litoral central

Equipo de Respaldo:

Ubicación: Esta situado en el sector Cabo Blanco dentro del Aeropuerto Internacional

Simón Bolívar

Latitud 10°36'31"

Longitud 66°59'10"

Características:

Marca: Motorola

Modelo: MSF 5000

AC: 110/120 V

Banco de baterías: 13.5/24.5 VCD

Antenas: DB 224

Equipo de respaldo para el litoral central



Imagen 3.2 Antena para el equipo de respaldo Sistema Litoral

3.1.3 Repetidores del Sistema Losada Ocumarito - Turgua

Dos (02) repetidores VHF para los canales 11 (tuy medio) y 15 (producción tuy)

Tuy medio:

Ubicación: El equipo esta situado en la carretera de Turgua, Baruta Edo. Miranda

Latitud 10°22'43,3"

Longitud 66°44'1,7"

Características:

Marca: Motorola

Modelo: MTR 2000

AC: 110/120 V

Banco de Baterías: 13.5/24.5 VCD

Antenas: DB 224

Este equipo da cobertura a los valles del tuy

Producción Tuy:

Ubicación: El equipo esta situado en la carretera de Turgua, Baruta, Edo Miranda.

Latitud 10°22'43,3"

Longitud 66°44'1,7"

Características:

Marca: Motorola

Modelo: Repetidor MSF 5000 modalidad hot stand by

AC: 110/120 V

Banco de Baterías: 13.5/24.5 VCD

Antenas: DB 224

Cobertura para los valles del tuy



Imagen 3.3 Caseta repetidora sistema Losada Ocumarito

3.1.4 Repetidor del Sistema Panamericano

Repetidor VHF, para el canal 03 Sistema Panamericano

Ubicación: Carretera Laguneta-Agua Fria vía el Jarillo Edo. Miranda

Latitud 10°22'54"

Longitud 67°09'21"

Marca: Motorola

Modelo: MSF-5000

AC: 110/120 V

Banco de Baterías: 13.5/24.5 VCD

Antenas: DB 224

Cobertura para los altos mirandinos

3.1.5 Repetidor del Sistema Fajardo – El Bautismo

Repetidor VHF, para el canal 05 Sistema

Ubicación: Cerro el Bautismo Municipio Zamora, Guatire Edo. Miranda

Latitud: 10°28'20"

Longitud 66°30'15"

Marca: Motorola

Modelo: MSF-5000

AC: 110/120 V

Banco de baterías: 13.5/24.5 VCD

Antenas: DB 224

Cobertura para Guarenas, Guatire y Caucagua

3.1.6 Repetidor del Sistema Barlovento - Capaya

Repetidor VHF para el canal 09 Sistema Barlovento

Ubicación: Cerro el calvario, Capaya vía Higuerote Edo. Miranda

Latitud 10°26'06"

Longitud 66°16'07"

Marca: Motorola

Modelo: MTR-2000

AC: 110/120 V

Banco de Baterías: 13.5/24.5 VCD

Antena: DB 224

Cobertura para Barlovento



Imagen 3.4 Antenas para el Sistema Barlovento

3.1.7 Repetidores VHF de enlace para Camatagua/Producción Tuy

Ubicación: Camatagua, Cerro Camataguita estación de CANTV.

Latitud 9°50'00"

Longitud 66°53'00"

Marca: Motorola

Modelos: MSF-5000

AC: 110/120 V

Banco de baterías: 13.5/24.5 VCD

Antenas: DB 224

Función back to back para el enlace de Camatagua con producción tuy

Además de las estaciones antes mencionadas, se tomara en cuenta un estación del sistema SCADA, dada su privilegiada posición geográfica en el valle de caracas.

3.1.8 Repetidor del sistema SCADA Lagunita II - Lagunita

Ubicado en la Urbanización la Lagunita.

Latitud 10°25'56.5"

Longitud 66°49'0.3"

Esta repetidora sirve como estación terminal en la red SCADA de HIDROCAPITAL.

En base a la ubicación de las estaciones antes mencionadas, la topografía del terreno entre ellas y su distancia, se escogerán las más indicadas para establecer el enlace entre Barlovento y Metropolitano.



Imagen 3.5 Ubicación de las repetidoras consideradas para el enlace

Para el cálculo de los enlaces, primero se realiza una inspección de los perfiles topográficos entre los dos posibles puntos con la aplicación en red Google Earth© para confirmar la viabilidad del mismo. Una vez inspeccionado el perfil topográfico, y confirmada la ausencia de obstáculos importantes que podrían originar atenuaciones que disminuirían la confiabilidad del enlace y aumentar los niveles de ruido, se procede a realizar el perfil en base a planos topográficos de escala 1:25000, para obtener de forma definitiva la atenuación producida por la difracción en el trayecto y con este valor obtener el margen de desvanecimiento y con este la confiabilidad del enlace. Como practica habitual se suele evitar que un enlace tenga una atenuación debida a difracción por obstáculos mayor a 20 dB, debido a la distorsión de la señal y el ruido introducido en la misma.

Frecuencia: La frecuencia de cálculo será de 162 Mhz, frecuencia central de la banda 150-174 Mhz

Equipo de radiocomunicaciones:

El equipo escogido para realizar el enlace es el MTR 2000, el cual presenta una sensibilidad de $0.35\mu V$ para un SINAD de 12dB.

Esta sensibilidad en voltaje se debe convertir a potencia según el siguiente despeje:

$$P_{rx} = \frac{V_{rx}^2}{R}$$

Sacando logaritmo a ambos lados de la ecuación

$$10 \cdot \text{Log}(P_{rx}) = 20 \cdot \text{Log}(V_{rx}) - 10 \cdot \text{Log}(R)$$

Llevando cada lado de la ecuación a las unidades correspondientes

$$10 \cdot \text{Log}(1mW) - 30 = 20 \cdot \text{Log}(1\mu V) - 120 - 10 \cdot \text{Log}(R)$$

Despejando la potencia en dBm tenemos:

$$P(dBm) = V(dB\mu) - 10 \cdot \text{Log}(R) - 90$$

Sustituyendo los valores y tomando un valor de R igual a 50 tenemos que

$$10 \cdot \text{Log}(50\Omega) = 16.989$$

$$20 \cdot \text{Log}(0.35\mu V) = -9.119$$

Al final tenemos que la sensibilidad del equipo en dBm es de:

$$P(\text{dBm}) = -16.989 - 9.119 - 90 = -116.10 \text{ dBm}$$

Además posee una potencia de salida de 46,99 dBm

Línea de Transmisión: Se utilizara el cable coaxial RG58, de uso común en telecomunicaciones, que posee una pérdida de 6.2dB/100pies@150Mhz. Tomando en cuenta una perdida máxima de 0.5 dB por conectores, y una longitud maxima de coaxial de 40 metros, se tienen unas perdidas de 10.2 dB incluyendo los conectores.

Antenas: Se utilizara una antena Yagi de 5 elementos, con una ganancia de 11.64 dBi

3.2 Enlace Filas del Ávila – Capaya

3.2.1 Inspección de perfil topográfico

Se realizo la inspección del perfil topográfico entre el repetidor del Sistema Metropolitano y el repetidor del Sistema Barlovento mediante la aplicación Google Earth©.

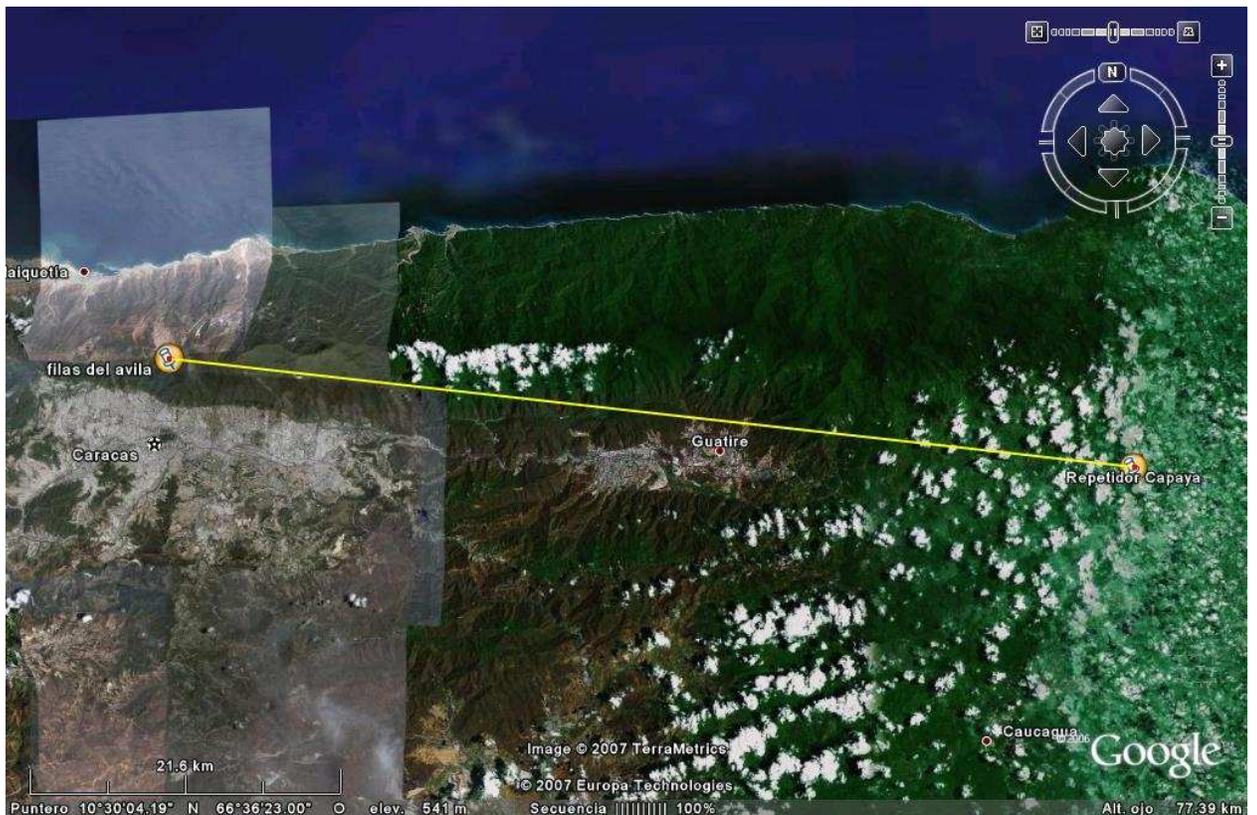


Imagen 3.6 Salto Filas-Capaya

3.2.2 Datos para el cálculo

A continuación se presenta la ubicación geográfica de las repetidoras conjunto con su altura con respecto al nivel del mar. La latitud y longitud fue suministrada por la Coordinación de Telecomunicaciones y la altura fue dada por los mapas topograficos 6947-III-NE y 6847, escala 1:25000 y 1:100.000, en conjunto con la aplicación Google Earth©

| | Filas del Ávila | Capaya |
|------------------|-----------------|-----------|
| Latitud | 10°32'40" | 10°26'06" |
| Longitud | 66°52'45" | 66°16'07" |
| Altura (m.s.n.m) | 1995 | 600 |

Tabla 3.1 Datos de las estaciones

En este tramo de 68.42 Km se encontró que el mayor obstáculo se encuentra a 5.56 Km, dirección Filas-Capaya y posee una altitud de 2420 m.s.n.m.

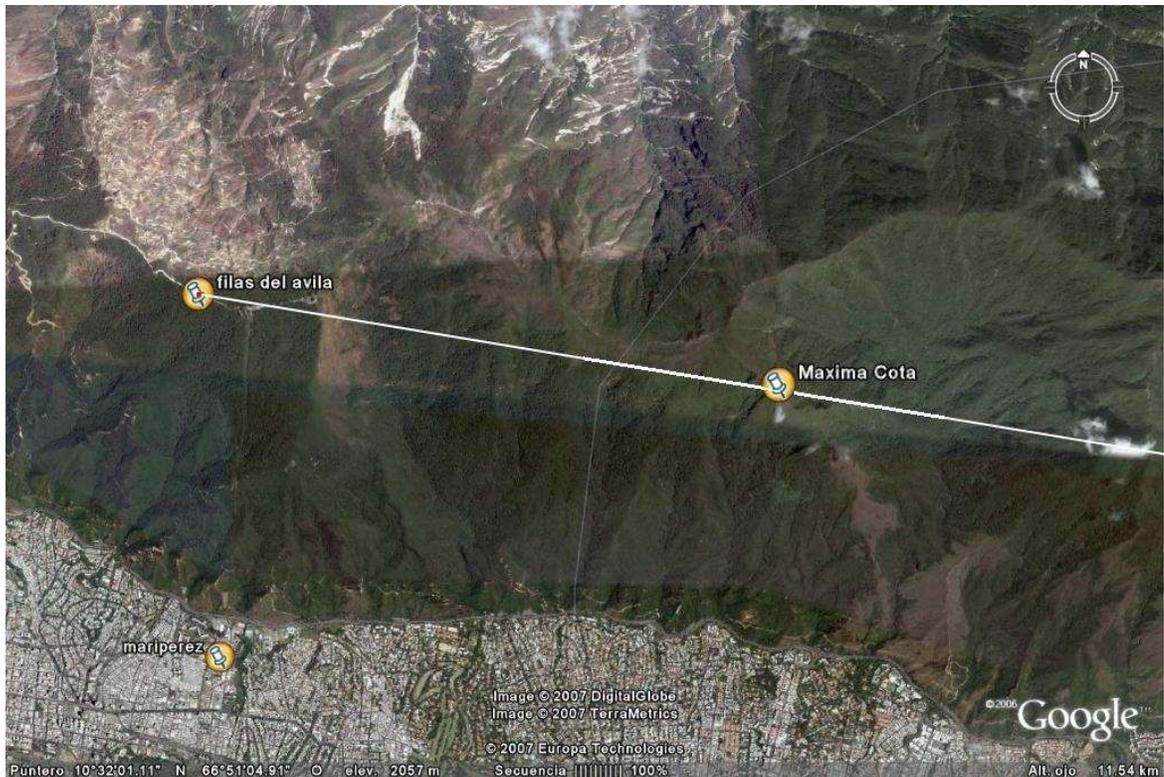


Imagen 3.7 Punto de máxima altitud salto Filas-Capaya

Este obstáculo produce una obstrucción de 538 metros en el rayo entre las antenas, lo cual aunado con una radio de fresnel de 97.21 metros a esa distancia (Ecuación 2.6.1.3.2) produce una atenuación de 30.32 dB (Ecuación 2.6.1.3.1) el cual sobrepasa los 20 dB que se habían establecido como limite máximo para atenuación por difracción.

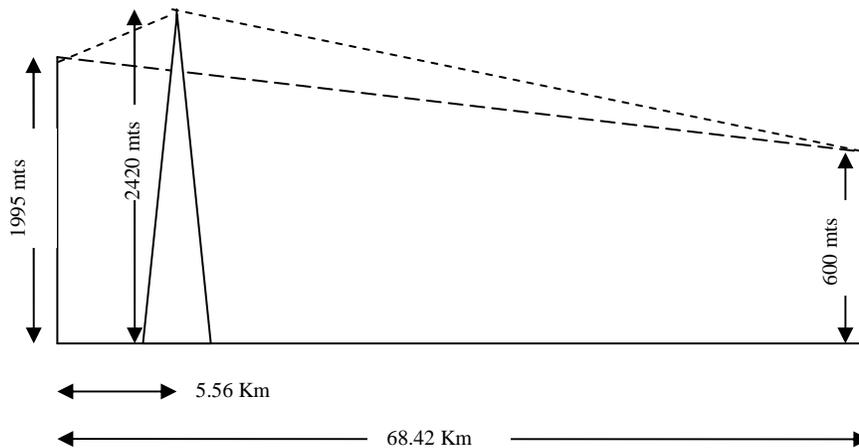


Figura 3.1 Esquema de localización del obstáculo principal salto Filas-Capaya

3.3 Enlace Turgua-Capaya

3.3.1 Inspección de perfil topográfico

Se realizó la inspección del perfil topográfico entre el repetidor del Sistema Losada Ocumarito y el repetidor del Sistema Barlovento mediante la aplicación Google Earth©.



Imagen 3.8 Salto Turgua-Capaya

3.3.2 Datos para el cálculo

A continuación se presenta la ubicación geográfica de las repetidoras junto con su altura con respecto al nivel del mar. La latitud y longitud fue suministrada por la Coordinación de Telecomunicaciones y la altura fue dada por los mapas topográficos 6947-III-NE y 6847-II-SO, escala 1:25000, en conjunto con la aplicación Google Earth©

| | Turgua | Capaya |
|------------------|-------------|-----------|
| Latitud | 10°22'43,3" | 10°26'06" |
| Longitud | 66°44'1,7" | 66°16'07" |
| Altura (m.s.n.m) | 1160 | 600 |

Tabla 3.2 Datos de las estaciones

En este tramo de 50.55 Km se encontró que el mayor obstáculo se encuentra a 14.7 Km de Capaya, dirección Capaya-Turgua y posee una altitud de 812 m.s.n.m.

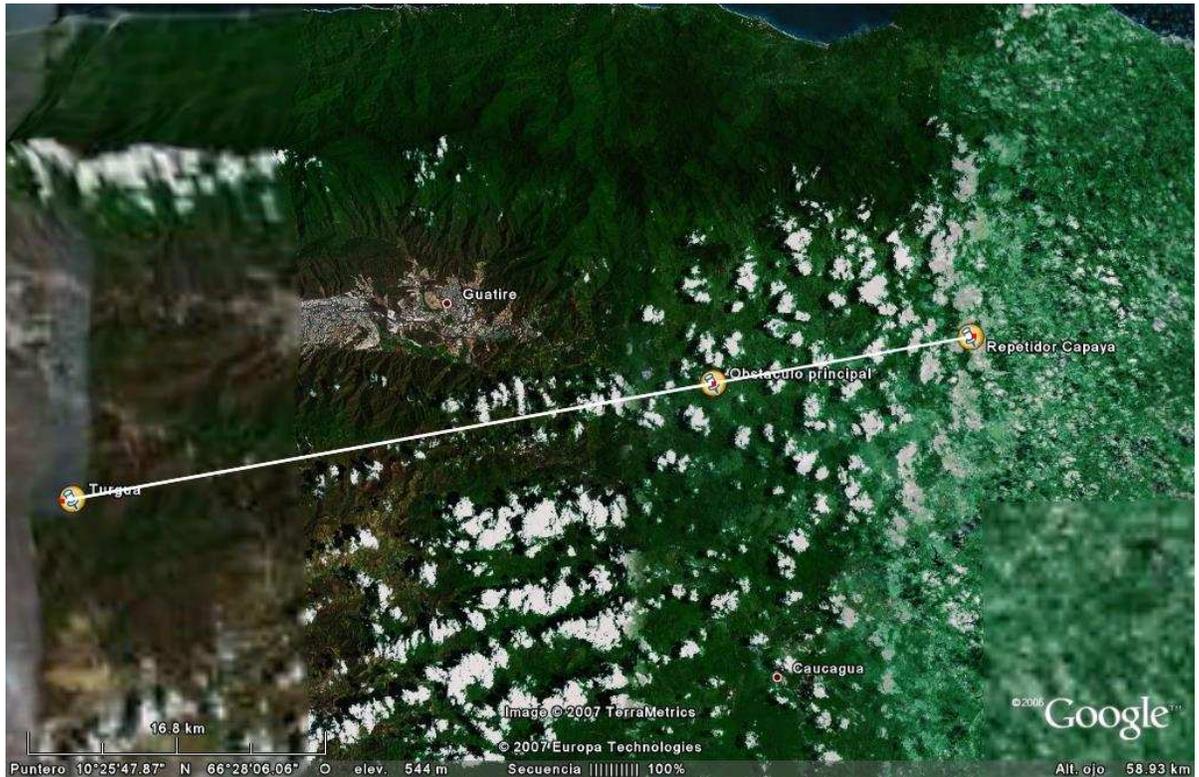


Imagen 3.8 Punto de máxima altitud salto Turgua-Capaya

Este obstáculo produce una obstrucción de 75.83 metros en el rayo entre las antenas, lo cual aunado con una radio de fresnel de 138.86 metros a esa distancia (*Ecuación 2.6.1.3.2*) produce una atenuación de 12.57 dB (*Ecuación 2.6.1.3.1*) el cual no sobrepasa los 20 dB que se habían establecido como límite máximo para atenuación por difracción, por lo que se realizó el perfil topográfico correspondiente a ese enlace.

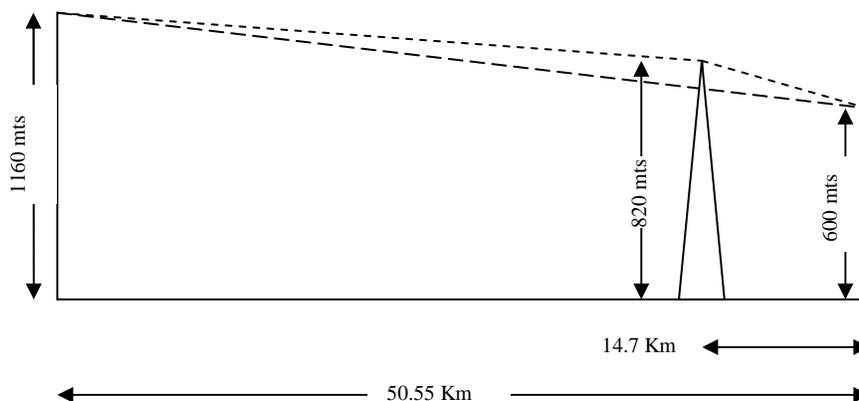


Figura 3.2 Esquema de localización del obstáculo principal salto Turgua-Capaya

3.3.3 Estudio completo de atenuación por difracción

Para este perfil no se ubicaron obstáculos que sobrepasaran los 20 dB de atenuación, por lo que se procedió a realizar el perfil topográfico en base a mapas topográficos escala 1:25000 (Hojas 6847-II-SE, 6847-II-SO, 6847-II-NE, 6947-III-NE y 6947-III-NO) y a calcular la atenuación total debida a la difracción por obstáculos. En los anexos se puede observar la data correspondiente al perfil topográfico. Se encontró el obstáculo principal a los 14.675 Km. desde Capaya hasta Turgua, con una altura de 820 metros el cual introduce una atenuación de 13.14 dB (Ecuación 2.9.3). En el tramo entre el obstáculo principal y Turgua no se encontró ningún obstáculo. En el tramo entre Capaya y el obstáculo principal se encontró un obstáculo de 760 metros de altitud que introduce una atenuación de 2.77 dB, sin conseguirse ninguna otra atenuación en los tramos secundarios.

| | |
|---|----------|
| Atenuación del obstáculo principal | 13.14 dB |
| Atenuación entre Capaya y obstáculo principal | 2.77 dB |
| Atenuación entre obstáculo y Turgua | 0 dB |
| Atenuación Total | 15.91 dB |

Tabla 3.3 Datos de las estaciones

3.3.3.1 Atenuación de Espacio libre

De la ecuación 2.8.1.

$$A_o = 32.5 + 20\log(f(\text{Mhz})) + 20\log(d(\text{Km}))$$

$$A_o(\text{dB}) = 111.48 \text{ dB}$$

3.3.3.2 Potencia en el receptor

De la ecuación 2.6.1.

$$P_{rx}(\text{dBm}) = P_{tx}(\text{dBm}) + G_{tx}(\text{dB}) + G_{rx}(\text{dB}) - A_o(\text{dB}) - A_m(\text{dB}) - A_{at}(\text{dB})$$

$$Prx(\text{dBm}) = -66,40 \text{ dBm}$$

3.3.3.3 Margen de Desvanecimiento

De la ecuación 2.5.1.

$$M(\text{dB}) = Prx(\text{dBm}) - U(\text{dBm})$$

$$M(\text{dB}) = 49.69 \text{ dB}$$

Si a este margen de desvanecimiento le restamos el margen de Señal-Ruido dado por el fabricante obtenemos un margen de desvanecimiento igual a:

$$M(\text{dB}) = 49.69 \text{ dB} - 12 \text{ dB} = 37.69 \text{ dB}$$

3.3.3.4 Porcentaje de Tiempo

De la recomendación 530-10 se tiene que:

La formula para calcular el porcentaje de tiempo en el que se rebasa la profundidad de desvanecimiento en el mes más favorable es:

$$p_w = Kd^{3,0} (1 + |\epsilon_p|)^{-1,2} \times 10^{0,033f - 0,001h_L - A/10} \% \quad \text{Ecuación 2.3.1.5}$$

en donde:

- $K = 10^{-4,2 - 0,0029dN_1} \quad \text{Ecuación 2.3.1.2}$

el valor de dN se obtiene de una cuadrícula de 1,5° en latitud y longitud (Ver anexos) en la cual la zona en estudio se encuentra entre los valores 100 y 200. En este caso se escogerá el peor valor, 100.

- $|\epsilon_p| = |h_r - h_e| / d \quad \text{Ecuación 2.3.1.3}$

donde h_r y h_e son las alturas de las antenas en metros y d es la distancia entre las mismas en kilómetros.

Entonces tenemos:

$$|\varepsilon_p| = \left| \frac{1178 - 600}{50.55} \right| = 11.434 \text{ mrad}$$

f es la frecuencia expresada en Ghz y A es la atenuación expresada en dB.

$$f = 0.162 \text{ Ghz}$$

$$A = 37.69 \text{ dB}$$

$$d = 50.55 \text{ Km}$$

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación 2.3.1.5, obtenemos un valor de

$$P_w = 8,78956 * 10^{-6}$$

3.3.4 Validez de las ecuaciones anteriores

Es importante recalcar que al aplicar la ecuación 2.3.1.6

$$f_{min} = 15 / d \quad \text{GHz}$$

Y sustituyendo los valores extremos del ancho de banda en uso (150-174 Mhz), nos da un rango de distancias de 100 a 86.2 Kilómetros y para la distancia del enlace (50.55 Km.) corresponde una frecuencia mínima de 296 Mhz, por lo que en teoría las predicciones de desvanecimiento no serán validas. Sin embargo, dado que en las aplicaciones usuales en esa banda no se encuentra la de transmisión punto a punto con obstáculos, (en Venezuela, así como en la región UIT 2, esta banda se encuentra asignada para móvil marítimo, según el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias) no hay disponibilidad amplia de estudios de disponibilidad en esta banda. Aun así, se usaran los valores hallados de indisponibilidad, en conjunto con los márgenes de desvanecimiento y las atenuaciones ocasionadas por difracción por múltiples obstáculos para determinar cuales serán los saltos óptimos para establecer el enlace.

3.4 Resumen de rutas Principales: Enlace Turgua-Mariperez

3.4.1 Inspección de perfil topográfico

Se realizo la inspección del perfil topográfico entre el repetidor del Sistema Losada Ocumarito y la sede corporativa ubicada en Mariperez mediante la aplicación Google Earth©.

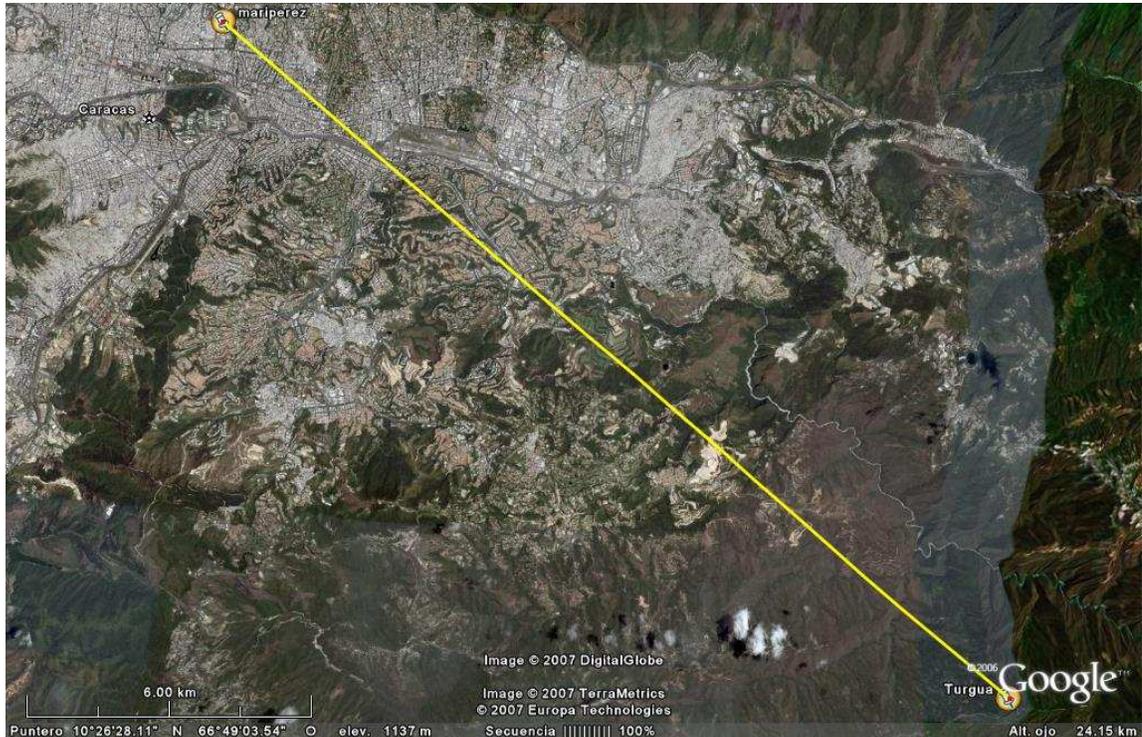


Imagen 3.9 Salto Turgua-Mariperez

3.4.2 Ubicación geográfica y datos para el calculo

| | Mariperez | Turgua |
|------------------|------------|-------------|
| Latitud | 10°30'35"N | 10°22'43,3" |
| Longitud | 66°53'12"O | 66°44'1,7" |
| Altura (m.s.n.m) | 960 | 1160 |

Tabla 3.4 Datos de las estaciones

En este tramo de 22.08 Km se encontró que el mayor obstáculo se encuentra a 11.82 Km de Mariperez, y posee una altitud de 1216 m.s.n.m.



Imagen 3.10 Punto de máxima altitud salto Turgua-Mariperez

Este obstáculo produce una obstrucción de 131 metros en el rayo entre las antenas, lo cual aunado con una radio de fresnel de 104 metros a esa distancia (*Ecuación 2.6.1.3.2*) produce una atenuación de 18.03 dB (*Ecuación 2.6.1.3.1*) el cual no sobrepasa los 20 dB que se habían establecido como limite máximo para atenuación por difracción, por lo que se realizo el perfil topográfico correspondiente a ese enlace (Ver anexos)

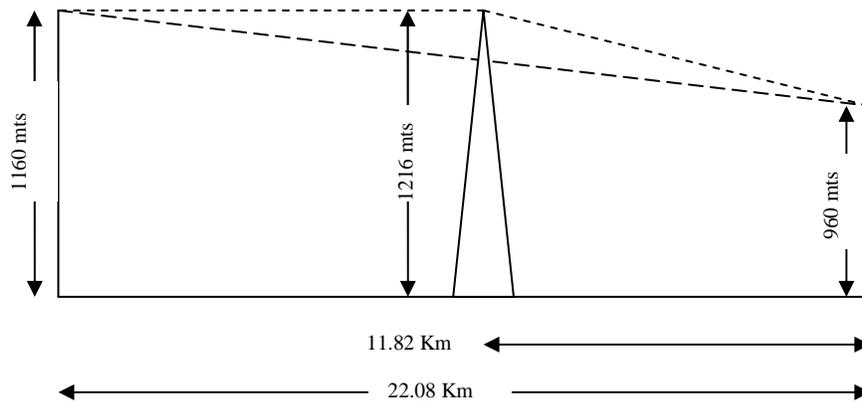


Figura 3.3 Esquema de localización del obstáculo principal salto Turgua-Mariperez

3.5 Enlace Capaya-Lagunita

3.5.1 Inspección de perfil topográfico

Se realizó la inspección del perfil topográfico entre el repetidor del Sistema Losada Ocumarito y el repetidor del sistema SCADA ubicado en la Urb. La Lagunita, mediante la aplicación Google Earth©.



Imagen 3.11 Salto Capaya-Lagunita

3.5.2 Ubicación geográfica y datos para el calculo

| | Lagunita | Capaya |
|------------------|---------------|-----------|
| Latitud | 10°25'56.51"N | 10°26'06" |
| Longitud | 66°44'1,7"O | 66°16'07" |
| Altura (m.s.n.m) | 1367 | 600 |

Tabla 3.5 Datos de las estaciones

En este tramo de 59.25 Km se encontró que el mayor obstáculo se encuentra a 11.125 Km de Capaya, y posee una altitud de 760 m.s.n.m.

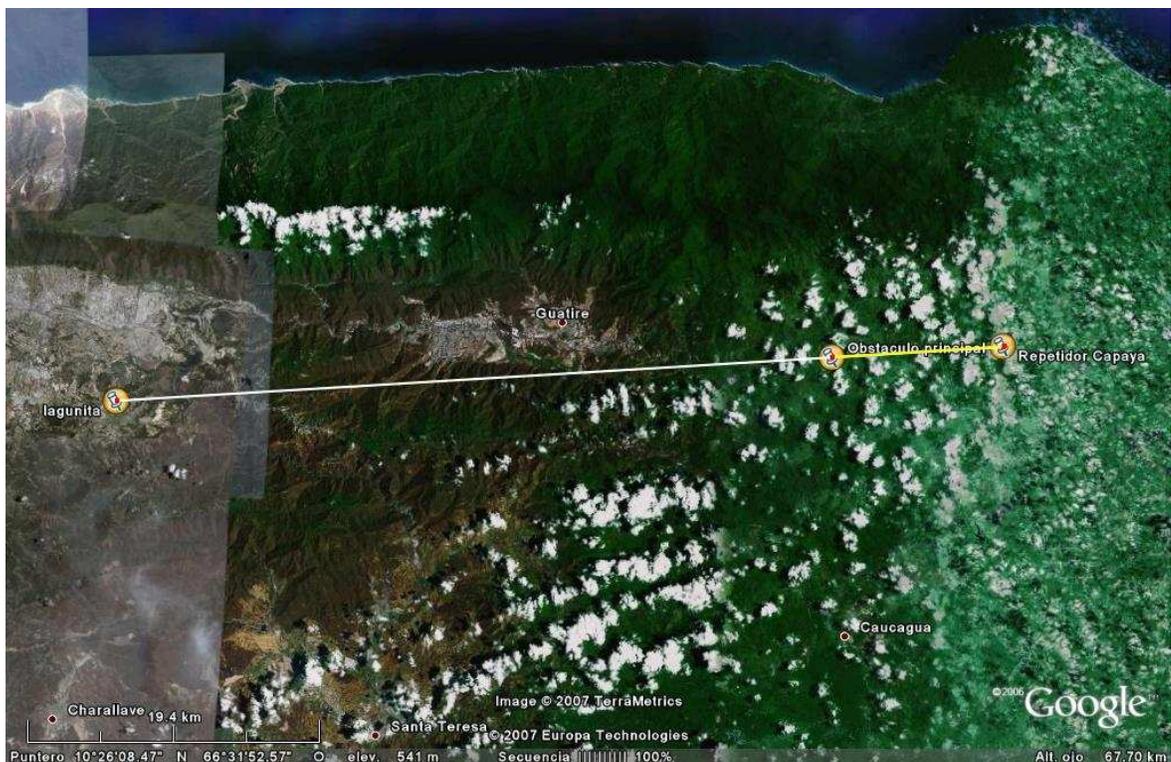


Imagen 3.12 Punto de máxima altitud salto Capaya-Lagunita

Este obstáculo produce una obstrucción de 42 metros en el rayo entre las antenas, lo cual aunado con una radio de fresnel de 129 metros a esa distancia (*Ecuación 2.6.1.3.2*) produce una atenuación de 10.29 dB (*Ecuación 2.6.1.3.1*) el cual no sobrepasa los 20 dB que se habían establecido como limite máximo para atenuación por difracción, por lo que se realizo el perfil topográfico correspondiente a ese enlace, (Ver anexos)

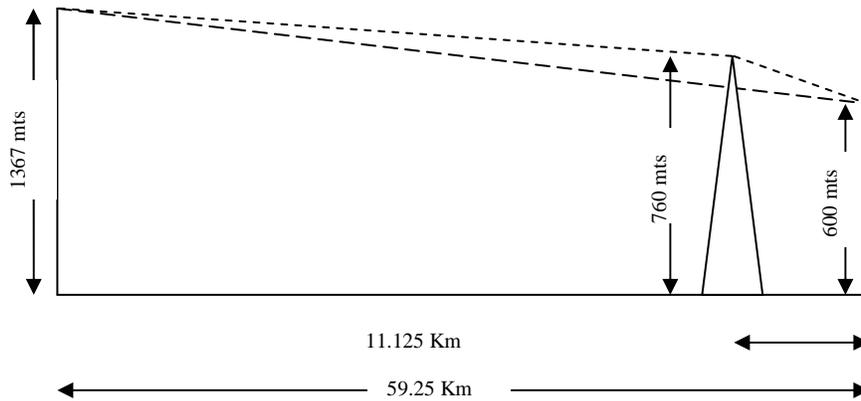


Figura 3.4 Esquema de localización del obstáculo principal salto Capaya-Lagunita

3.6 Enlace Lagunita-Mariperez

3.6.1 Inspección de perfil topográfico

Se realizó la inspección del perfil topográfico entre la Sede Corporativa ubicada en Mariperez y el repetidor del sistema SCADA ubicado en la Urb. La Lagunita, mediante la aplicación Google Earth®.

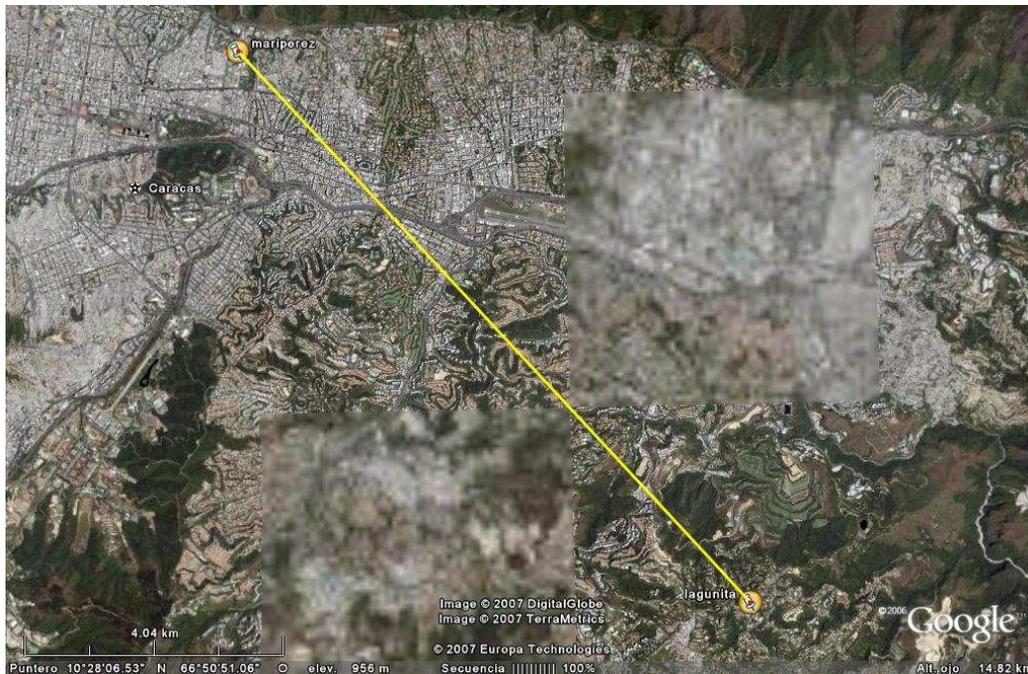


Imagen 3.13 Salto Lagunita-Mariperez

3.6.2 Ubicación geográfica y datos para el calculo

| | Lagunita | Mariperez |
|------------------|---------------|------------|
| Latitud | 10°25'56.51"N | 10°30'35"N |
| Longitud | 66°44'1,7"O | 66°53'12"O |
| Altura (m.s.n.m) | 1380 | 960 |

Tabla 3.6 Datos de las estaciones

En este tramo de 11.56 Km se encontró que el mayor obstáculo se encuentra a 150 metros de La Lagunita, y posee una altitud de 1360 m.s.n.m.

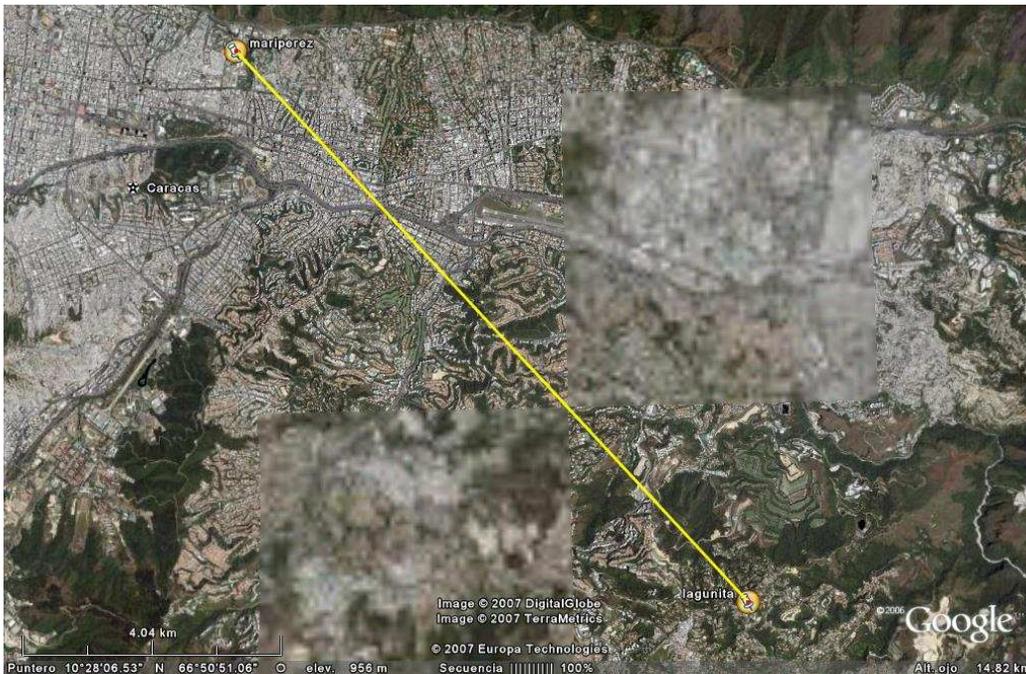


Imagen 3.14 Punto de máxima altitud salto Lagunita-Mariperez

Este obstáculo produce una obstrucción de 1.68 metros por debajo del rayo entre las antenas, lo cual aunado con una radio de fresnel de 11.97 metros a esa distancia (*Ecuación 2.6.1.3.2*) produce una atenuación de 4.68 dB (*Ecuación 2.6.1.3.1*) el cual no sobrepasa los 20 dB que se habían establecido como limite máximo para atenuación por difracción, por lo que se realizo el perfil topográfico correspondiente a ese enlace, (Ver anexos)

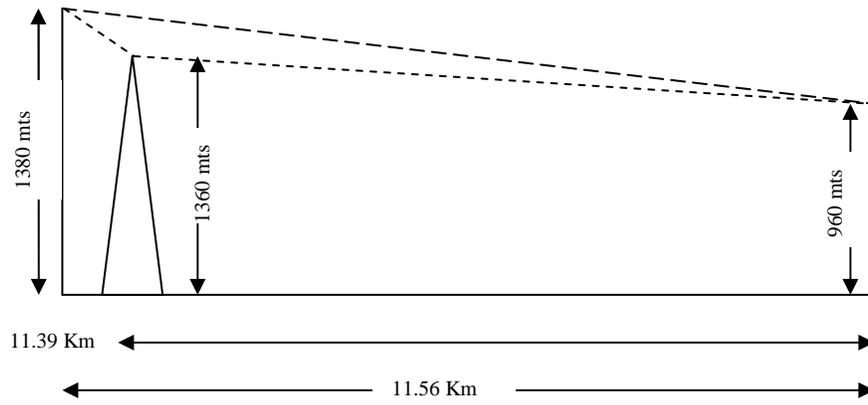


Figura 3.5 Esquema de localización del obstáculo principal salto Lagunita-Mariperez

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Posibles enlaces

Luego de haber obtenido los datos relevantes de las estaciones (perfiles topográficos entre ellos, la accesibilidad, etc) se escogieron dos posibles enlaces entre las estaciones de Capaya y la sede corporativa en Mariperez, en base a los criterios indicados en el punto 3.1.8. A continuación las características de las dos posibles rutas.

4.2 Propuesta 1: Ruta Capaya-Turgua-Mariperez

Esta ruta se compone de dos saltos en total y tres estaciones. Las estaciones involucradas en esta ruta son:

- Repetidor del sistema barlovento, ubicado en el cerro el Calvario, Capaya vía Higuerote Edo. Miranda.
- Repetidor del sistema Losada Ocumarito, ubicado en la carretera de Turgua, Baruta Edo. Miranda
- Sede corporativa, ubicada en la Av. Augusto Sandino, 9na. Transv. Edif. HIDROCAPITAL, Mariperez, Caracas.

A continuación se indica la ubicación geográfica de las estaciones, junto con los datos de las alturas de cada una.

| | Mariperez | Turgua | Capaya |
|---------------------|------------|--------------|------------|
| Latitud | 10°30'35"N | 10°22'43,3"N | 10°26'06"N |
| Longitud | 66°53'12"O | 66°44'1,7"O | 66°16'07"O |
| Altura (m.s.n.m) | 960 | 1160 | 600 |

Tabla 4.1 Datos de las estaciones propuesta 1



Imagen 4. Imagen de los saltos y estaciones que componen la ruta Capaya-Turgua-Mariperez

4.2.1 Resumen de cálculos

En base al procedimiento expuesto en el punto 3.3 y realizando los cálculos anteriormente expuestos, se obtienen los siguientes resultados de atenuación por difracción, margen de desvanecimiento y confiabilidad para cada uno de los altos y para la ruta completa. Los datos de los perfiles topográficos se pueden encontrar en los anexos correspondientes.

| Salto | Distancia (Km) | Atenuación por difracción (dB) | M.D (dB) | Pw (%) | Confiab. (%) |
|------------------|----------------|--------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| Capaya-Turgua | 50.55 | 15.91 | 49,69497655 | 5,53958E-07 | 99,99999945 |
| Turgua-Mariperez | 22.08 | 20,67 | 52,12941837 | 2,45942E-09 | 99,999999975 |
| Total | | 36.58 | | 5,556417E-7 | 99,99999943 |

Tabla 4.2 Resumen de cálculos para propuesta 1

4.3 Propuesta 2: Ruta Capaya-Lagunita-Mariperez

Esta ruta se compone de dos saltos en total y tres estaciones. Las estaciones involucradas en esta ruta son:

- Repetidor del sistema barlovento, ubicado en el cerro el Calvario, Capaya vía Higuero Edo. Miranda.
- Repetidor del sistema Losada Ocumarito, ubicado en la carretera de Turgua, Baruta Edo. Miranda
- Sede corporativa, ubicada en la Av. Augusto Sandino, 9na. Transv. Edif. HIDROCAPITAL, Mariperez, Caracas.

A continuación la ubicación geográfica de las estaciones, conjunto con la altura de cada una.

| | Mariperez | Lagunita | Capaya |
|----------|------------|---------------|------------|
| Latitud | 10°30'35"N | 10°25'56.51"N | 10°26'06"N |
| Longitud | 66°53'12"O | 66°44'1,7"O | 66°16'07"O |
| Altura | 960 | 1160 | 600 |

Tabla 4.3 Datos de las estaciones propuesta 2

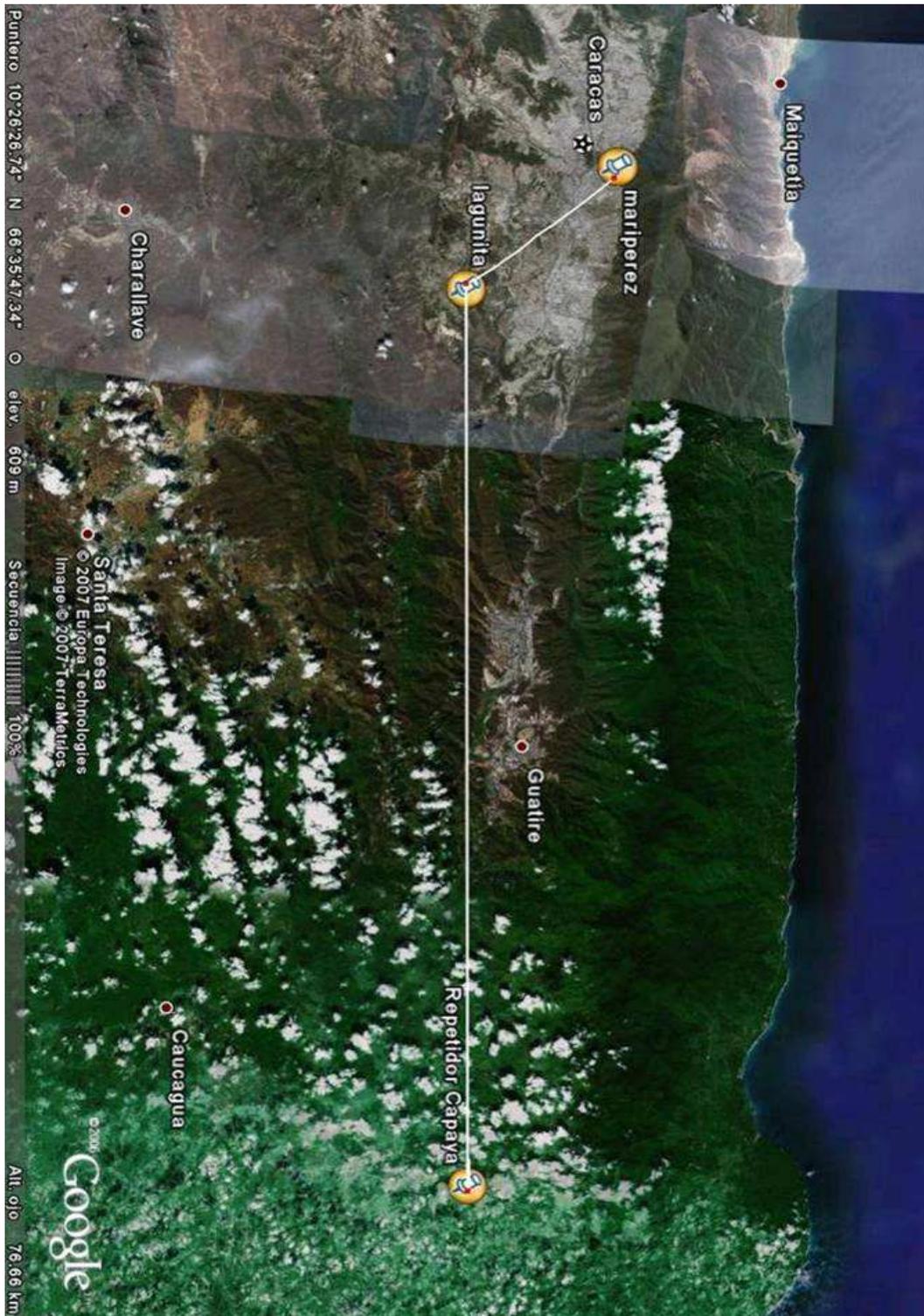


Imagen 4.2 Imagen de los saltos y estaciones que componen la ruta Capaya-Lagunita-Mariperez

4.3.1 Resumen de cálculos

En base al procedimiento expuesto en el punto 3.3 y realizando los cálculos anteriormente expuestos, se obtienen los siguientes resultados de atenuación por difracción, margen de desvanecimiento y confiabilidad para cada uno de los saltos y para la ruta completa. Los datos de los perfiles topográficos se pueden encontrar en los anexos correspondientes.

| Salto | Distancia (Km) | Atenuación por difracción (dB) | M.D (dB) | Pw (%) | Confiab. (%) |
|--------------------|----------------|--------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| Capaya-Lagunita | 59.25 | 13.76 | 50,46563266 | 6,38863E-07 | 99,99999936 |
| Lagunita-Mariperez | 11.56 | 4.68 | 73,74024307 | 2,16925E-10 | 99,999999998 |
| Total | | 18.44 | | 6,38863E-07 | 99,99999936 |

Tabla 4.4 Resumen de cálculos para propuesta 2

4.4 Comparación de las rutas

Se puede observar que ambas rutas poseen la misma cantidad de saltos, por lo que a primera vista podría decirse que no habría ventaja evidente entre una y otra con respecto a equipos instalados y por consiguiente a la inversión necesaria para su implementación. También se puede notar que la confiabilidad de Capaya-Turgua-Mariperez (Propuesta 1) es ligeramente superior a la mostrada por la ruta Capaya-Lagunita-Mariperez (Propuesta 2), esto debido a que los tramos son menos dispares en longitud, más que por la atenuación causada por los obstáculos. Otra variable a tomar en cuenta es la accesibilidad a la repetidora del sistema Lozada-Ocumarito, estando esta ubicada en la carretera de Turgua, habiendo la necesidad de vehículos de doble tracción para acceder a la misma; en cambio la repetidora en la Lagunita se encuentra dentro del área metropolitana de Caracas, con mayor accesibilidad que

Turgua y sin la necesidad de Vehículos de doble tracción. Por ultimo se tiene que la repetidora del sistema se encuentra en una caseta propiedad de HIDROCAPITAL, adecuada a las necesidades de una repetidora de radiocomunicaciones, con torre y vigilancia propia, en cambio la repetidora en la Lagunita forma parte del sistema SCADA de HIDROCAPITAL, siendo la torre y las instalaciones en las que esta instalada la repetidora propiedad de una empresa privada de telecomunicaciones, por lo que en caso de instalarse la ruta con esta estación se requerirá pedir el permiso correspondiente, además de adecuar las instalaciones a una repetidora de radiocomunicaciones, con la consiguiente inversión de recursos económicos. Realizando una serie de consultas con algunas empresas proveedoras de repetidoras de radiocomunicaciones se escogieron varios posibles modelos los cuales cumplen con las especificaciones necesarias de niveles de potencia y sensibilidad en base a las cuales se hicieron los cálculos. A continuación se muestran algunos de ellos con su costo en dólares.

| Equipo | Nº de canales | Costo(US\$) |
|-----------------|---------------|-------------|
| Kenwood TKR-750 | 16 | 1550 |
| Vertex VXR-7000 | 16 | 1716 |
| MTR2000 | 32 | 4560 |

Tabla 4.5 Precios de equipos

En los anexos se pueden observar las especificaciones técnicas de algunos de los equipos.

4.5 Canalización de frecuencias

El problema al escoger las frecuencias adecuadas para realizar el radio enlace es básicamente que estas no interfieran con las comunicaciones ya existentes en las zonas aledañas por donde se desarrolla el enlace, y que no interfieran entre ellas en la repetidora. Dado que las frecuencias utilizadas para los canales ya existentes fueron escogidas para no interferir entre ellas, y evaluadas según los organismos reguladores (CONATEL en este caso, siguiendo las recomendaciones de la UIT-R para el uso

adecuado de las frecuencias en esta banda), nuestro problema se limita a buscar frecuencias ya usadas en el sistema que; bien sea por la distancia, bien sea por la orografía, no interfieran en los sistemas ya establecidos.

Para resolver el problema se escogieron los canales que son utilizados en los repetidores de el sistema Litoral, numero 1 y 4 de el sistema de HIDROCAPITAL, cuyas frecuencias, por razones de seguridad de la empresa no serán reveladas en este trabajo. Esta escogencia se debe a que la cordillera de la costa cumple la función de separar el sistema de repetidoras del Litoral y nuestro enlace, evitando la interferencia entre ellas. Además tenemos el hecho que, siendo un enlace punto a punto, se usaran antenas directivas que reducen la posibilidad de interferencia, dado su reducido ángulo de apertura.

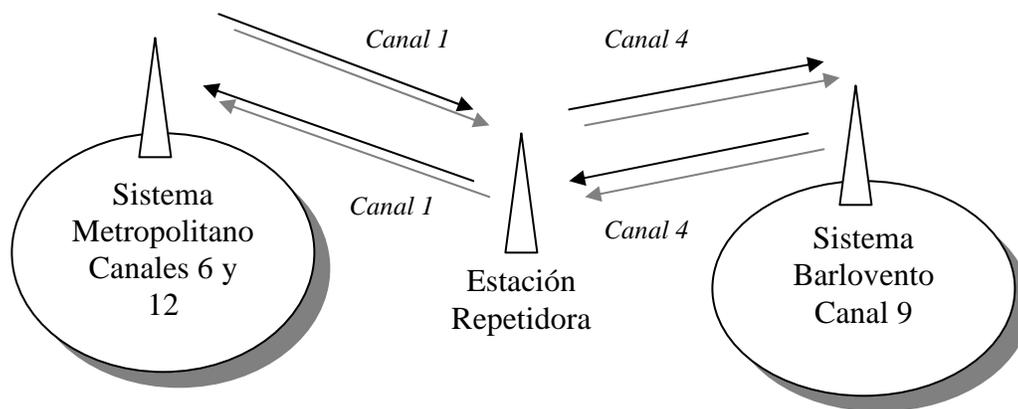


Figura 4.1 Esquema de Sistemas a interconectar

Dado que cada uno de los canales posee una frecuencia de transmisión y una de recepción, se deben configurar los canales de forma tal que la frecuencia de transmisión de la estación Terminal corresponda con la frecuencia de recepción de la estación repetidora y viceversa. Aun cuando no se puede dar el valor de frecuencia de transmisión y recepción de cada uno de los canales, se puede decir que el espaciamiento entre los dos canales es de 5.03 Mhz, y el ancho de banda es de 12.5 Khz.

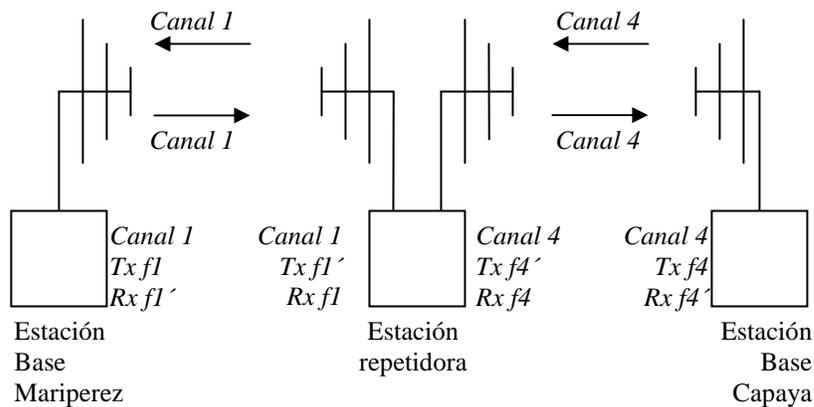


Figura 4.2 Esquema de frecuencias

4.6 Sistema de comunicaciones alternos

Se planteo la necesidad de un diseño que permitiera la conectividad por medio de otros sistemas de comunicación alternativos al desarrollado en radio comunicaciones. Como respuesta a esta necesidad, se propone como solución un enlace de microondas entre la sede de Barlovento, ubicada en Higuero, y la sede corporativa ubicada en Mariperez. Y se propone utilizar la ruta Mariperez-Lagunita-Capaya-Higuero como ruta para el enlace. Se observa que el trayecto es idéntico al realizado en radio comunicaciones con la diferencia que se agregara un tramo mas a la ruta, la que va desde Capaya hasta la sede del Sistema Barlovento, en Higuero. Los cálculos de

perfiles para esta ruta en microondas se pueden observar en los anexos correspondientes.

4.6.1 Datos para los cálculos

A continuación se muestra la ubicación geográfica de cada una de las estaciones que conforman el sistema. La data fue proporcionada por la Coordinación de Telecomunicaciones de HIDROCAPITAL.

| Sitio | Latitud | Longitud | Altura |
|-----------|---------------|-------------|--------|
| Mariperez | 10°30'35"N | 66°53'12"O | 960 |
| Lagunita | 10°25'56.51"N | 66°44'1,7"O | 1380 |
| Capaya | 10°26'06"N | 66°16'07"O | 580 |
| Higuerote | 10°29'38"N | 66°6'35"O | 5 |

Tabla 4.6 Datos de las estaciones

A continuación se muestra la imagen donde aparecen las estaciones y los saltos del enlace.



Imagen 4.3 Imagen de los saltos y estaciones que componen la ruta Higerote – Capaya – Lagunita – Mariperez.

4.6.2 Parámetros de los equipos

Para realizar los cálculos se tomaron los siguientes parámetros.

Frecuencia: Se tomo como frecuencia de trabajo 7.55 Ghz, la cual se encuentra en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CUNABAF) seleccionada para servicio fijo.

Ganancia de Antena: Se usara como valor de ganancia de antena 40.2 dB.

Equipo de radiocomunicaciones Se tomo como potencia de salida 28 dBm

Perdidas de transmisión: Se uso como perdidas típicas de transmisión, entre guía de onda y conectores, 5 dB.

Sensibilidad: Se tomo una sensibilidad de -69 dBm para un BER de 10E-6 y -72 dBm para BER de 10E-3

Los valores anteriores de sensibilidad y potencia son valores para transmisión SDH, por lo que es de esperar que equipos con velocidades de transmisión menores tengan valores de sensibilidad menores.

4.6.3 Resumen de Cálculos

Los resultados de confiabilidad, según el procedimiento expuesto en el punto 3.3 fueron los siguientes:

| Salto | Distancia (Km) | Pw. (%) | Confiab. (%) 10^{-6} |
|--------------------|----------------|--------------|------------------------|
| Higuerote-Lagunita | 18.9 | 6,66906E-07 | 99,99999933 |
| Capaya-Lagunita | 59.25 | 0,000140619 | 99,99985938 |
| Lagunita-Mariperez | 11.56 | 1,0404E-08 | 99,99999999 |
| Total | 89.71 | 0,0001412963 | 99,9998587 |

Tabla 4.7 Resumen de cálculos para propuesta de enlace de microondas

Según lo estipulado por la recomendación UIT-R, se dispone de un trayecto ficticio de referencia (TFR) para los sistemas de relevadores radioeléctricos, con longitudes entre 280 y 2500 km. En aquellos casos en el que la longitud sea inferior a la estipulada se usara el valor de 280 km.

Los objetivos de calidad y disponibilidad indican que la tasa de error (BER) no debe ser mayor que:

10^{-3} Durante mas del $\left(\frac{L}{2500}\right)*0.54\%$ del tiempo total de cualquier mes, con tiempo de integración de 1 s

10^{-6} Durante mas del $\left(\frac{L}{2500}\right)*0.4\%$ del tiempo total de cualquier mes, con tiempo de integración de 1 s

Sustituyendo $L=280$ km tenemos que

para $10^{-6}=99.9552\%<99,9998587$

Por lo que cumple con el objetivo de calidad estipulado.

Es importante acotar que para el enlace Capaya-Lagunita no se obtiene la condición de espacio libre, debido a obstrucciones del primer elipsoide de fresnel por la topografía del terreno, por lo que para poder establecer el enlace es necesario aumentar la altura de las antenas. El incremento de altura necesario en el rayo directo entre las antenas, en el lugar del mayor obstáculo es.

Obstrucción del obstáculo = 42 metros

0.6 de la primera zona de fresnel = 10.8 metros

Incremento total = 52.8 metros

Por lo que para establecer el enlace es necesario aumentar la altura de las antenas de forma tal que sobrepase este obstáculo.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en los cálculos efectuados en este trabajo, se desprenden dos posibles rutas a seguir para el establecimiento del enlace. La identificada como Propuesta 1 (Capaya – Turgua - Mariperez) la cual tiene una mayor confiabilidad que la Propuesta 2 (Capaya – Lagunita - Mariperez). Adicionalmente en la propuesta 1 todas las estaciones repetidoras son del sistema de radio comunicaciones, por lo que no será necesario realizar una inversión para adecuar la estación a los equipo de radio comunicaciones. Sin embargo la propuesta 2 posee como atractivo el que su estación repetidora esta en una zona mucho mas accesible, con el consiguiente ahorro en tiempo en el mantenimiento correctivo y preventivo.

También se planteo como solución de conectividad alternativa un enlace de microondas entre las sedes de los sistemas Metropolitano y Barlovento, el cual proveería mejoras en la transmisión de datos y voz entre dichas sedes, teniendo como valor agregado la independencia que esta otorgaría a HIDROCAPITAL con respecto a sus comunicaciones internas, así como el consiguiente ahorro en pago de servicios a empresas de comunicaciones.

Se debe indicar que en este trabajo se sigue las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), organismo que ofrece una serie de recomendaciones técnicas, basándose en el trabajo de gran cantidad de investigadores y de organizaciones dedicadas al desarrollo de las telecomunicaciones en el mundo. Además, en este trabajo, se usa como herramienta la aplicación Google Earth para un análisis preliminar de los posibles enlaces entre las estaciones repetidoras, siendo de gran utilidad para la escogencia de los enlaces más óptimos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Martínez, Franklin. *Guía de propagación*. Universidad Central de Venezuela
- [2] UIT. *Recomendaciones de UIT-R*. P-530-10
- [3] Wikipedia. Antena Yagi. <http://en.wikipedia.org/wiki/Near_field>
[Consulta:2006]
- [4] Martínez, Franklin. *Guía de propagación*. Universidad Central de Venezuela
- [5] UIT. *Recomendaciones de UIT-R*. P-530-10
- [6] Martínez, Franklin. *Guía de propagación*. Universidad Central de Venezuela

BIBLIOGRAFIA

Bruzual, Zeldivar. Apuntes de la cátedra Sistema de Telecomunicaciones III. Universidad Central de Venezuela, 2005

Colmenares, Javier. Desarrollo de un sistema de transmisión SDH vía microondas entre Caracas y Pto. La Cruz para Comunicaciones Móviles EDC C.A / Colmenares R., Javier E. —Caracas, Universidad Central de Venezuela, 2006

CONATEL. Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CUNABAF) Comisión Nacional de Telecomunicaciones, 11 de junio de 2002

Martínez, Franklin. *Guía de propagación*. Universidad Central de Venezuela

Motorola.<http://www.motorola.com/governmentandenterprise/au/en-sg/public/functions/browsesolution/Browsesolution.aspx?navigationpath=id_801i/id_953i/id_1043i/id_1152i> [Consulta: 2006]

Safecomprogram. < www.safecomprogram.gov/NR/rdonlyres/86C6C3BD-600E-4096-AB8A-B056A5A75971/0/Managing_Wireless_Networks_Primer.pdf> [Consulta: 2006]

UIT. Recomendaciones de UIT-R. 526-8, P-530-10, P-453-9, PN.525-2

Wikipedia. Antena Yagi. <http://en.wikipedia.org/wiki/Near_field> [Consulta:2006]