

Modelo de Canal para HAPS en la Banda de 28 GHz - 40 GHz y con Perturbaciones Atmosféricas

Pablo Valenzuela Roblero, Fernando Ulloa V.

Universidad Tecnológica Metropolitana

Facultad de Ingeniería

Departamento de Electricidad

Programa HAPS

Valenzuela.p1@gmail.com, fulloa@utem.cl

Resumen.- En la presente comunicación se lleva a cabo un análisis matemático que busca determinar características de cobertura y atenuación ante un canal radioeléctrico definido entre una plataforma estratosférica tipo HAPS y una estación terrestre fija cuando ambas operan en la banda Ka, las cuales actualmente se hallan asignadas por la ITU-R para aplicaciones de radiocomunicación digital con base en estos sistemas de transmisión terrestre-aérea.

Abstract.- In the present communication, ad coverage mathematical analysis is carried out to de attenuation characteristics from an specific radioelectric channel defined between a HAPS stratospheric platform and a fixed ground station, both operating in the Ka band which have been adopted according to the up-to-date ITU-R regulations for digital radio communications systems supported on such terrestrial-aerial schemes.

1.- Introducción

Los HAPS (Estación en Plataforma a Gran Altitud) son actualmente considerados como una alternativa viable que ofrece grandes ventajas para el despliegue de nuevos sistemas de radiocomunicación terrestre y satelital. Debido a su altura de operación establecida entre los 21 y 25 Km., presenta buenas condiciones de propagación y alcance [1], son de bajo costo, comparados con un satélite, mas cobertura que un sistema terrestre y funcionan a distintas frecuencias, según su zona geográfica. Además de la banda de frecuencia de los 47/48 Ghz, se han asignados provisionalmente la utilización de dos bandas Ka, la de 27,5-28,35 GHz y la de 31,0-31,3 GHz, en países donde las lluvias, debido a su atenuación, pueden provocar interrupciones del servicio utilizado[2][3]. La atenuación por lluvia presenta diversas variaciones, desde la frecuencia de operación de la radiocomunicación hasta la altura donde la lluvia se desarrolla[4][5][6].

2.- Características del Modelo del Radio Canal Aeronáutico estratosférico

Cobertura: La gran ventaja de los sistemas no terrestres es su cobertura y son una ventaja real y competitiva sobre los sistemas terrestres en una amplia gamma de sistemas de telecomunicaciones ya que la propagación en el espacio libre se puede considerar como un modelo ideal y en un sistema terrestre pocas situaciones dan este resultado.

Consideremos la figura 1, donde la antena del HAPS (G_H) esta situada a la distancia mínima de 21 Km. de altitud, mientras que

la antena terrestre (G_A) esta situada, para un buen enlace, sobre los 50 m. El máximo radio de cobertura, $r_{(HAPS)}$, es de 100 Km, si se considera un ángulo mínimo β de 10° [1], con este mismo ángulo, el enlace terrestre tendría un máximo de 283m. Además la ganancia de la antena HAPS fluctúan entre los $G_H=30-35$ dB mientras que la ganancia de la antena terrestre es de $G_A=10-17$ dB.

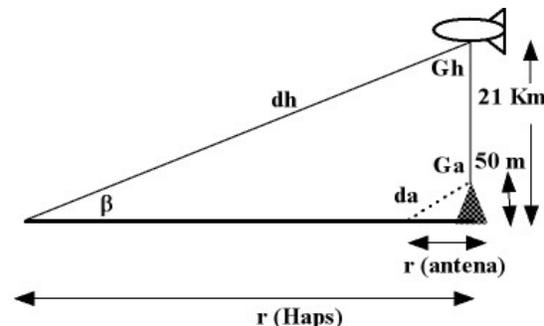


Figura 1.- Relaciones de cobertura

Sin embargo la máxima distancia al horizonte S , para un HAPS, considerando una altura de 21 Km.es de aproximadamente 488 Km., esta relación es obtenida de (1) de acuerdo a la figura 2.

$$S = r \cdot \cos\left(\frac{r}{r+h}\right)^{-1} \quad (1)$$

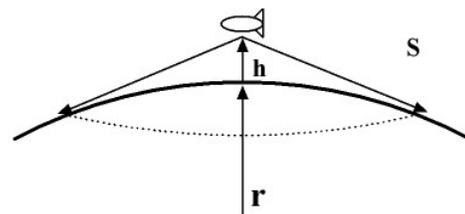


Figura 2.- Distancia al Horizonte, donde r es el radio de la tierra 6.370 Km.

Para ambos sistemas se mantendrá la misma calidad de servicio con lo que respecta a SNR (relación señal ruido). La SNR para ambos casos es aproximadamente proporcional a la potencia transmitida, P , y a la ganancia de la antena G , e inversamente proporcional a la máxima distancia, d^n , entre las antenas:

$$SNR \approx \frac{P \cdot G}{d^n} \quad (2)$$

Donde n es el path loss que ha sido determinado entre 2 y 5. Para el espacio libre $n = 2$, para ambiente suburbano $n = 3.84$ y para un ambiente altamente urbano, $n = 5$

Si comparamos un HAPS con los sistemas LEO tendremos retardos de la señal 1 o 2 veces inferior, celdas 1 orden mas pequeñas, velocidad o ancho banda 2 veces superior, mayor eficiencia de espectro, menor limitación de potencia, etc.

Path-Loss: las pérdidas por trayectoria en la propagación de las ondas electromagnéticas son la principal ventaja de los HAPS, comparados con las estaciones terrestres (fija o móvil) y satelitales, figura 3. Las pérdidas en espacio libre para sistemas no terrestres, son inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, $1/r^2$, o de 20 dB/decada, en cambio para sistemas terrestres las pérdidas son, $1/r^4$ o 40 dB/decada [1]. En el caso de los sistemas satelitales, estos compensa su gran atenuación por distancia ya que poseen una pérdida favorable path-loss: por ejemplo para un sistema satelital LEO, que orbitan entre los 600 y los 1600 Km., el path-loss en un sistema celular es equivalente al pat-loss de un sistema terrestre de 10 Km. de distancia, en el caso de un HAPS que se encuentra a 22 Km. sobre un punto en tierra, tendrá la misma pérdida que un sistema celular terrestre de aproximadamente 2 Km. de radio de cobertura.

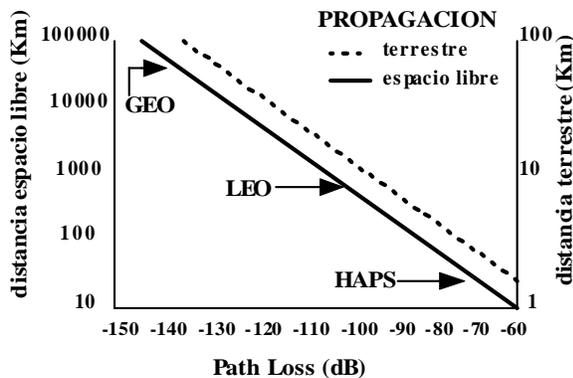


Figura 3.- Modelo comparativo de atenuación en espacio libre y terrestre

Atenuación Debido a la Lluvia (hidrometeoros): La atenuación por lluvia, es consecuencia de la absorción de potencia que se produce en un medio dieléctrico. Para analizar este factor se estudiarán dos modelos, teniendo en cuenta que este tipo de atenuación depende de factores tales como tipo de lluvia, tamaño y velocidad de las gotas de agua: El primero se puede ser caracterizado por una distribución de “Marshall-Palmer”, para el modelo de la atenuación específica debida a la lluvia, en donde esta atenuación específica γ_R (dB/Km) se obtiene por la tasa de lluvia R (mm/h) usando la relación(3):

$$\gamma_R = k \cdot R^\alpha \quad (3)$$

Los valores de k y α dependen de las zonas climáticas, la frecuencia de transmisión y la polarización [4].

Para una tasa de lluvia, por ejemplo de 20 mm/h, para la frecuencia de 28 Ghz. corresponde a una $k = 0.2051$ y un $\alpha =$

0.9679, dando así una atenuación específica de 4 dB/Km. Para la misma tasa de lluvia pero con una frecuencia de 40 Ghz. corresponde a un $k = 0.4431$ y un $\alpha = 0.8673$ que corresponde a una atenuación de 6 dB/ Km. para una polarización horizontal. Se debe tener en cuenta que las frecuencias que son aplicables a este modelo son mayores a 1 Ghz.

Con respecto a la polarización, se debe tener en cuenta que las gotas no son esféricas y por efecto de la caída (rozamiento) tienen forma de esferoides con el eje vertical menor que con el horizontal, esto implica que la polarización vertical presenta menos atenuación. Atenuaciones por lluvia del orden de 1 dB/km o superiores conducen a disminuciones apreciables en el nivel de señal

El segundo modelo toma en consideración los efectos del agua lluvia como un trayecto múltiple de la señal y las variaciones en el tiempo de la naturaleza. En condiciones de buen tiempo las medidas indican que no habría presencia de trayecto múltiple en la señal para la frecuencia de 40 Ghz. y que en tiempos con tormenta o lluvia intensa existiría un trayecto múltiple producto de los cambios en las propiedades electromagnéticas de la superficie. Durante la lluvia podría incrementarse la potencia reflejada. Las variaciones de la señal pueden describirse por una distribución del tipo Rice con un factor K inversamente proporcional a la tasa de lluvia[2][3].

Nota: La lluvia en zonas pobladas se origina aproximadamente a los 3 Km. de altitud en la atmósfera terrestre [6] y los HAPS vuelan a 21 Km, lo que implica que el 7 % del trayecto de la señal LOS es afectado por el agua lluvia. En cambio la señal del sistema terrestre es afectada en su totalidad (figura 4)

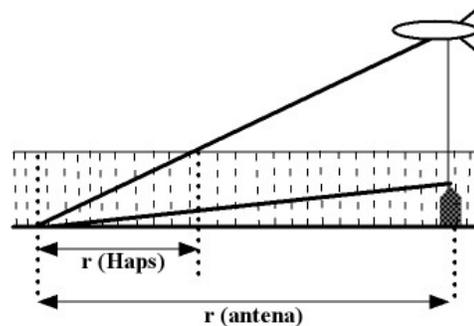


Figura 4.- Área de cobertura de lluvia.

Atenuación Debido a Obstrucciones y Vegetación: La atenuación también es producida por granizadas, los cristales de las ventanas y las hojas de los árboles. Los granizos de 0.5 –1.5 de diámetro producen una atenuación de 27.5 dB. y las hojas y el follaje de los árboles una atenuación de 17 dB, para la frecuencia de los 40 GHz. Esta atenuación está relacionada directamente con la frecuencia y la profundidad de la vegetación, figura 5 [2][6].

Debe destacarse que el viento es un factor que no debe despreciarse. La tabla 1 muestra la atenuación un ejemplo de la atenuación producido por la vegetación con respecto al viento. Las medidas indican que en zonas con viento intenso la atenuación aumenta el doble para la frecuencia de los 40 GHz.

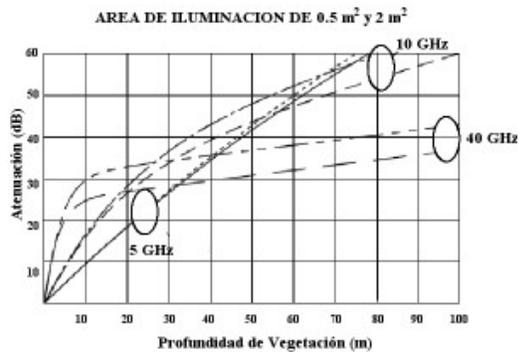


Figura 5.- Atenuación v/s Profundidad de vegetación

| Tipo de árbol | Arbusto de Escaramujo Ø 2m | Manzano Ø 2.8m | Pino Ø 1.5m |
|----------------|-------------------------------|-------------------|----------------|
| Sin Viento | 2.0 | 2.8 | 2.2 |
| Viento Intenso | 4.4 | 4.2 | 4.3 |

Tabla 1.- Atenuación por la vegetación a 40 Ghz.

3.- Características del Radio Canal para una Plataforma HAPS

Doppler: a la frecuencia de 40 Ghz y con velocidades de desplazamiento de la aeronave entre 94 y 140 Km/h. Se tiene un “fading” rápido, para el enlace tierra-aéreo y aéreo-aéreo. El ancho del haz será del orden de $\beta = 3.5^\circ$, admitiendo una dispersión distribuida uniformemente en el haz, es obvio que para los 28 Ghz se obtiene un “fading” mas lento.

Delay: Un análisis geométrico indica que $\tau \approx h / c$ para enlaces tierra-aéreo y $\tau \approx 2h / c$ para los enlaces aéreo-aéreo, en un caso desfavorable, donde “h” es la altitud de vuelo de la nave. Para una altitud de 20 Km obtendremos un delay de $\tau = 66.6 \mu s$ (tierra-aéreo) y $\tau = 133.3 \mu s$ (aéreo-aéreo). Cabe destacar que la tierra siempre será un dominante reflector de las señales. En intervalos de transmisión de símbolos menores a $T_s \leq 66.6 \mu s$ (tierra-aéreo) se puede considerar un modelo de canal con “fading” selectivo.

Tipo de “fading”: debido a la presencia de la señal directa y reflejada pueden considerarse dos modelos: uno de “fading” multiplicativo (flat fading) y otro de “fading” selectivo

4.- Resultados

La figura 6 muestra un gráfico del modelo de “Marshall-Palmer” [4], indica la atenuación con relación a la tasa de lluvia en Chile para la frecuencia de 28 GHz y 40 GHz con respecto a una precipitación máxima diaria de un análisis de 10 años.

Se aprecia claramente que desde la Serena hacia el sur de Chile, la atenuación específica por lluvia, se incrementa aproximadamente el doble para la frecuencia de 40 GHz.

La figura 7 muestra la curva del segundo modelo de la atenuación debido a la lluvia [2].

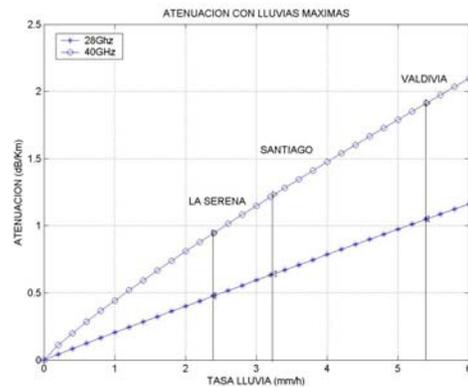


Figura 6.- Atenuación v/s tasa de lluvia en banda Ka.

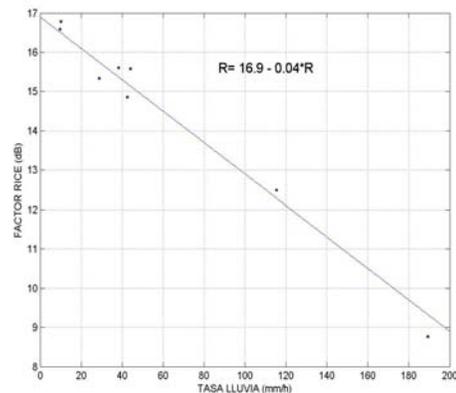


Figura 7.- Factor Rice v/s tasa de lluvia.

Se aprecia la disminución del factor Rice en zonas de alta lluvia, debido a la dispersión de la señal producido por los hidrometeoros. Cuando la tasa de lluvia es alta, la función de densidad de probabilidad del canal se puede modelar con una distribución Rayleigh y cuando el factor K es elevado, la distribución es Rice.

5.- Conclusiones

Los HAPS poseen gran cobertura (100Km aproximadamente), además tiene una favorable “Path-Loss” en relación a los sistemas terrestres.

La polarización vertical tiene menor atenuación por lluvia, conjuntamente la frecuencia de los 28 GHz presenta menos atenuación por lluvia que la de los 40 Ghz, además la frecuencia de 40 GHz, exhibe una menor atenuación con igual profundidad de vegetación.

La atenuación es proporcional a la frecuencia hasta los 100 GHz, desde ese valor se vuelve estable. A frecuencias superiores a 1 GHz, la atenuación específica en zonas de árboles con hojas es normalmente un 20% superior (dB/m) que en las zonas de árboles sin hojas.

Un sistema de telecomunicaciones estratosféricas a nivel mundial que utilice HAPS, logrará satisfacer la demanda de comunicaciones inalámbricas de alta velocidad a precios asequibles

Referencias

- [1] Goran M. Djuknic and Jonh Freidenfelds, “Establishing Wireless Communications Services via High-Altitude Aeronautical Platforms, IEEE Communications Magazine, Sep 1997, pp 128-135.
- [2] Hao Xu, Theodore S. Rappaport, “38-GHz Wide-Band Point-to-Multipoint Measurements Under Different Weather Conditions”, IEEE Communications Letters, vol4 No 1, January 2000
- [3] Fernando Ulloa V., “Modelo de canal aeronáutico en banda Ka para análisis de sistemas basados en plataformas estratosféricas tipo HAPS”, SENACITEL 2004
- [4] ITU Recommendations Assembly, “Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción”, *Recomendación ITU-R PN.838-3*, 2005.
- [5] ITU Recommendations Assembly, “Características de la precipitación para establecer modelos de propagación”, *Recomendación ITU-R PN.837-4*, 2003.
- [6] ITU Recommendations Assembly, “Atenuación por Vegetación”, *Recomendación ITU-R PN.833-5*, 2005.
- [7] ITU Recommendations Assembly, “Modelo de estimación de la altura de la lluvia para utilizar en los métodos de predicción”, *Recomendación ITU-R PN.839-4*, 2001.

Pablo R. Valenzuela Roblero, memorista Ingeniería Electrónica, integrante del Centro de Radiocomunicación Digital, proyecto FONDEF de CONICYT D031-1034 Gobierno de Chile. Titulado “Aeroplataformas Globo- Antena de Radiocomunicación Digital en Banda Ancha para redes IP”.

Fernando C. Ulloa-Vásquez Recibe el diploma de Ingeniero Electrónico en la Universidad Tecnológica Metropolitana en 1992, el grado de PhD. Ing. Telecomunicación en la Universidad Politécnica de Cataluña año 2003. Profesor Asociado en Departamento de Electricidad, UTEM. Investiga en el tema del canal aeronáutico y aplicaciones para sistemas de radiocomunicación digital terrestre en banda ancha basados en plataformas Estratosféricas HAPS.