

Análisis y Simulación de Modelos de Canal de Banda Ancha aplicables en HAPS

Cristina GÓMEZ

Maestría en Ingeniería con énfasis en Telecomunicaciones, GIDATI, Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Antioquia, Colombia. gomez@upb.edu.co

Luis D. EMILIANI

Maestría en Ingeniería con énfasis en Telecomunicaciones, GIDATI, Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Antioquia, Colombia. ldemiliani@internexa.com

y

Roberto C. HINCAPIÉ

Maestría en Ingeniería con énfasis en Telecomunicaciones, GIDATI, Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Antioquia, Colombia. roberto@upb.edu.co

RESUMEN

Los Sistemas de Plataformas Estratosféricas HAPS (*High Altitude Platform System*) presentan una creciente acogida gracias a la asignación las Bandas Ka/V que les hizo la ITU para servicios fijos de banda ancha. Sin embargo los enlaces de comunicaciones en estas bandas de frecuencia presentan un significativo incremento en las pérdidas por efectos atmosféricos. Adicionalmente se debe tener cuidado con el efecto multitrayectorias por tratarse de un canal de banda ancha. Es entonces necesario analizar los modelos de canal que pueden ser aplicados en los HAPS para este tipo de servicios con el fin de aplicar las técnicas contra desvanecimientos adecuadas que permitan contrarrestar los efectos del canal. En este artículo se presenta una breve reseña de los principales modelos de canal existentes enfocados en el efecto de Multitrayectorias para canales de banda ancha y se identifican algunos modelos que podrían ser aplicados en los HAPS. Adicionalmente se presenta el proceso de desarrollo de una herramienta de simulación basada en uno de los modelos de canal antes presentados la cual servirá para futuros trabajos.

Palabras Claves: Propagación, Modelo de Canal, HAPS, Plataformas Estratosféricas, Banda Ancha.

1. ANTECEDENTES

En la actualidad las necesidades de los usuarios de un Sistema de Comunicaciones se enfocan en servicios de muy alta velocidad. Para satisfacer estos requerimientos se han diseñado sistemas de banda ancha tanto terrestres como satelitales, cada uno de los cuales presenta ciertos inconvenientes que se pretendieron solucionar a través de los Sistemas de Plataformas Estratosféricas HAPS (*High Altitude Platform Systems*). Los HAPS se definen como un conjunto de plataformas estratosféricas, un conjunto de usuarios móviles y fijos, y varias estaciones terrestres de Control y Conmutación. Las plataformas a las que se hace referencia son artefactos ubicados entre 17 y 25 km de altura (zona correspondiente a la Estratosfera terrestre) que permanecen cuasi-estacionarios en órbita. La Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU

(*International Telecommunication Union*) ha tenido la tendencia de adjudicar las frecuencias más altas y menos ocupadas para los servicios emergentes. De esta manera asignó la banda de 2 Ghz para ofrecer servicios móviles en los HAPS, y las Banda Ka/V para los servicios fijos de banda ancha.

El Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e Informática, GIDATI, de la Universidad Pontificia Bolivariana, identificó la importancia que estos sistemas pueden llegar a tener por lo que decidió investigar al respecto. Para esto se creó un proyecto de investigación el cual se enfoca en técnicas contra desvanecimientos que podrían ser aplicadas en estos innovadores sistemas. En la fase inicial se buscaba identificar un modelo de canal apropiado para ser adaptado y aplicado a los HAPS, enfocándose en los servicios fijos de banda ancha que como se mencionó anteriormente tienen adjudicada una frecuencia de operación en Bandas Ka/V (28/48 GHz). La segunda y última etapa del proyecto pretende aplicar sobre el modelo de canal obtenido la modulación y codificación adaptativas como técnicas contra desvanecimientos.

Este artículo se enfoca en los resultados de la etapa inicial. Cabe aclarar que un modelo de canal pretende entender el fenómeno de propagación de la señal por el medio de transmisión así como derivar reglas y expresiones que describan la dependencia de la señal recibida de acuerdo con determinados parámetros. Para el análisis de los modelos de canal de banda ancha aplicables a HAPS se partió del estudio de los utilizados en los sistemas terrestres inalámbrico y satelital, aprovechando la similitud de la arquitectura entre estos sistemas. Se encontró que para estos sistemas los modelos de banda ancha se basan en su mayoría en modelos más simples diseñados para canales de banda angosta, por lo cual se hace necesario introducirlos para luego tratar los modelos de interés.

De esta forma el artículo se encuentra organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se resumen los principales Modelos de Banda Angosta establecidos para el efecto de Multitrayectorias a partir de estudios previamente realizados en redes Satelitales y Terrestres Inalámbricas. En la sección 3 se presenta el esquema general planteado para los modelos de banda ancha en estos mismos sistemas. La sección 4 ilustra un modelo encontrado para el caso de Plataformas Estratosféricas

(para el cual se desarrolló la herramienta de simulación) así como su aplicación al caso de estudio. La sección 5 presenta la herramienta de simulación diseñada para el análisis de la propuesta presentada, la sección 6 presenta algunos de sus resultados así como algunas recomendaciones para su mejoramiento. Finalmente en la sección 7 se presentan las conclusiones de este trabajo.

2. MODELOS MULTITRAYECTORIA DE BANDA ANGOSTA

De forma general un modelo de canal analiza los fenómenos de propagación que afectan la señal mediante tres componentes [1]:

Componente Directa

Es la recibida a través de una trayectoria con línea de vista. Es objeto de atenuación por pérdidas de espacio libre, rotación de Faraday, centelleo ionosférico (presentados en la Ionosfera), atenuación por gases y lluvia, centelleo troposférico y despolarización (presentados en la Troposfera).

Componente Especular

Hace referencia a una serie de señales reflejadas en la tierra que alcanzan al receptor con un retardo y cuya potencia depende de la rugosidad del terreno. Esta puede ser despreciada o al menos altamente atenuada con el uso de antenas directivas en recepción [1].

Componente Difusa

Se presenta cuando la señal recorre múltiples trayectorias debidas a reflexiones y dispersiones ocasionadas por el ambiente que rodea al usuario, fenómeno denominado Multitrayectorias. Es la responsable de las variaciones rápidas en la señal (*Small Scale Variations*).

En este artículo se hace énfasis en la Componente Difusa debido a que se han encontrado pocos modelos que caractericen el fenómeno para un canal de banda ancha, que es el de interés. Para analizar dicha componente el primer paso fue determinar si el canal era de banda ancha o de banda angosta.

Un canal de banda angosta es aquél donde todas las componentes en frecuencia se ven igualmente afectadas por las multitrayectorias. El efecto de la multitrayectoria en canales de banda angosta es producido por la recepción de rayos con variaciones de fase. Los cambios de fase son provocados por objetos dispersores vecinos (cercanos) al receptor los cuales generan una variación en la longitud recorrida por cada rayo. Sin embargo puede considerarse que los rayos llegan al receptor esencialmente en el mismo tiempo, así que todas las componentes en frecuencia del ancho de banda de la señal transmitida se ven afectadas de igual manera por el efecto multitrayectoria. La expresión para una señal recibida en este tipo de canales estaría dada por [2]:

$$r = e^{jw\tau} (a_1 e^{j\theta_1} + a_2 e^{j\theta_2} + \dots) \text{ Ec. (1)}$$

De esta forma un modelo banda angosta podría ser modelado como un simple proceso multiplicativo:

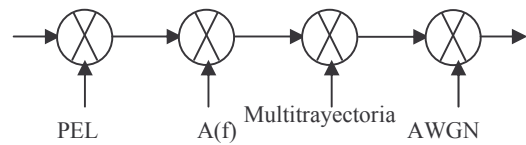


Figura 1. Diagrama en Bloques Modelo de Canal Banda Angosta.

Donde PEL representa las pérdidas de espacio libre implícitas al canal, $A(f)$ son las atenuaciones producidas por efectos atmosféricos que son dependientes de la frecuencia entre otros parámetros, AWGN es el ruido blanco gaussiano adicionado al final del modelo para tener en cuenta posibles efectos no incluidos, y Multitrayectoria es la distribución que caracteriza la atenuación, cambio de fase y retardos producidos por el efecto multitrayectoria sobre la señal. Para los sistemas satelitales las distribuciones más utilizadas en un canal de banda angosta son:

La Distribución de Rayleigh: Asume que existen infinitos obstáculos entre el transmisor y el receptor los cuales impiden la existencia de línea de vista entre ellos. Se basa en el Teorema Central del Límite el cual establece que la suma de suficientes variables aleatorias independientes se aproxima a una distribución normal.

La Distribución de Rice: Tiene en cuenta la existencia de línea directa de vista entre el transmisor y el receptor. Se modela con base en la distribución de Rayleigh para las componentes aleatorias de la señal que llegan al receptor por múltiples trayectorias, adicionando la componente coherente de línea directa de vista la cual tiene esencialmente potencia constante con un valor determinado por los modelos de pérdidas de trayectoria.

Estas distribuciones entregan como resultado la probabilidad de que una señal se encuentre por encima o por debajo de determinado nivel. Otro fenómeno que debe analizarse en la mayoría de los sistemas de comunicaciones es el Efecto Doppler. La forma más común de estudiar el Efecto Doppler se hace en términos de la frecuencia. Sin embargo también puede analizarse desde el dominio del tiempo.

Para ello se recurre al Tiempo de Coherencia del Canal según el cual una señal que tenga un tiempo de duración de bit menor al tiempo de coherencia del canal, se puede recibir con muy baja distorsión producida por los efectos de la dispersión Doppler, es decir de la velocidad del móvil (ya sea el transmisor o el receptor). Este parámetro se analiza para el caso en cuestión en la sección 4.

3. MODELOS MULTITRAYECTORIA DE BANDA ANCHA

Este caso se presenta cuando existen grandes dispersores en un área grande que rodea al transmisor y al receptor, generando diferencias de tiempo que pueden producir la destrucción de la señal recibida. Cuando los retardos de tiempo entre los rayos recibidos son muy grandes comparados con la unidad básica transmitida por el canal, que corresponde al tiempo de

transmisión de un símbolo o de un bit, la señal experimenta una significativa dispersión que varía a través del ancho de banda de la señal. En este caso cada componente en frecuencia de la señal transmitida puede verse afectada de manera diferente. Se dice entonces que el canal es Banda Ancha y requiere una caracterización especial.

Adicionalmente si el retardo relativo del rayo es τ , el desvanecimiento de banda ancha será experimentado cuando el sistema transmite señales en unidades de tiempo comparables a τ o de menor duración. De esta manera la definición de un canal de banda ancha debe tener en cuenta tanto las características del canal como de la señal por él transmitida.

Cada uno de los rayos dispersados por obstáculos ubicados en un área grande alrededor del transmisor y el receptor está compuesto por múltiples ondas dependiendo específicamente de sus características de rugosidad. Un conjunto de estas ondas que tienen esencialmente el mismo retardo, pueden ser modeladas mediante los modelos de canal de banda angosta descritos anteriormente. Si se modela entonces el sistema como si fuera de dos dimensiones se puede hablar de ciertas áreas con el mismo retardo (τ_i). Estas áreas corresponden a elipses con focos en el transmisor (TX) y el receptor (RX) como se ilustra en la Figura 2:

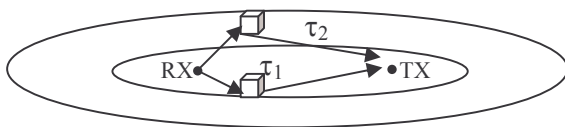


Figura 2. Modelo en dos dimensiones para un canal de banda ancha.

En el modelo se considera τ_0 el retardo sufrido por la señal que recorre la línea directa entre el transmisor y el receptor, como 0 segundos. Los obstáculos ubicados en la primera elipse tienen el mismo retardo máximo τ_1 . Los que estén en la siguiente elipse tendrán un retardo máximo τ_2 y así sucesivamente. La señal recibida entonces estará compuesta por la suma de las ondas provenientes de todos los dispersores con una fase θ y amplitud a dependientes de las características de cada dispersor y que como se mencionó anteriormente pueden ser caracterizados mediante los modelos de canal de banda angosta. La expresión para una señal recibida en este tipo de canales estaría dada por [2]:

$$r = a_1 e^{j(w\tau_1 + \theta_1)} + a_2 e^{j(w\tau_2 + \theta_2)} + \dots \text{ Ec. (2)}$$

Se concluye entonces que el canal banda ancha puede resultar de una combinación de varias trayectorias modeladas como canales de banda angosta con los tiempos de retardo apropiados. Las características específicas del canal dependen del ambiente en el cual se esté realizando la transmisión.

El efecto del esparcimiento en el tiempo sufrido por las señales transmitidas sobre un canal banda ancha se puede entender como Interferencia Intersimbólica (*ISI, Intersymbolic Interference*). Debido a la dispersión en el tiempo un símbolo con determinado retardo puede estar aún alcanzando al receptor cuando un nuevo símbolo con mínimo retardo llegue a recepción. De esta manera se presenta confusión al momento de tomar decisiones sobre ambos símbolos y por lo tanto se

incrementa la probabilidad de error en el sistema, es decir, se deteriora su desempeño.

El modelo clásico aplicado a los canales de banda ancha se basa en una línea de saltos de retardos (*tap delay line*). Cada salto representa un rayo con un retardo τ_i y tiene una amplitud variable a_i con el tiempo de acuerdo con el modelo de canal banda angosta aplicado a cada rama. Los saltos se consideran no correlacionados entre sí teniendo en cuenta que cada uno proviene de obstáculos independientes. La Figura 3 ilustra el modelo basado en una línea de saltos de retardos:

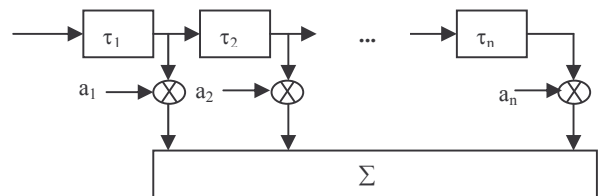


Figura 3. Diagrama en Bloques de un Modelo Multitrayectoria para un Canal de Banda Ancha.

La potencia media de cada salto se especifica mediante el llamado Perfil de Retardo-Potencia del canal. Este perfil se define como la variación de la potencia media en el canal respecto al retardo. Este se discretiza para generar n saltos de potencias P_1, P_2, \dots, P_n . Usualmente cada ganancia es modelada mediante las Distribuciones de Rice o Rayleigh. El perfil puede ser caracterizado mediante:

- 1) Retardo de Exceso: retardo de cada salto tomando como tiempo de referencia el retardo de la línea directa (primer salto).
- 2) Retardo de Exceso Total: la diferencia en tiempo entre la llegada del primer y el último salto. Corresponde a la cantidad de tiempo que se dispersa el símbolo por el canal.
- 3) Retardo Promedio: corresponde al centro de gravedad del perfil.
- 4) Retardo de Dispersión RMS: toma en cuenta la potencia relativa de las ganancias así como sus retardos así que es un buen indicador del desempeño del sistema.

Algunos modelos de banda ancha son el DLR (del Centro Aeroespacial Alemán [3], el CCSR-ESTEC propuesto por el Centro Europeo de Investigaciones Espaciales y Tecnológicas [1] y el modelo de Saunders et al [4].

4. MODELOS MULTITRAYECTORIA DE BANDA ANCHA APLICABLE A HAPS

Este modelo propuesto por Dovic y Fantini [5] se encuentra enfocado en el fenómeno de Multitrayectorias para un Sistema de Plataformas Estratosféricas que ofrece servicios móviles en la Banda de 2 GHz. El análisis se basa en el espectro Doppler del canal y en la obtención del Perfil de Retardo-Potencia. Sus autores partieron de un modelo geométrico en dos dimensiones similar al presentado en la Figura 2 [6] el cual generalizaron a tres dimensiones para aplicar a un sistema HAP. De esta forma asumieron el receptor ubicado en el punto $(x_0, 0, 0)$ y al transmisor en $(0, 0, z_0)$. La distancia entre transmisor y receptor estaría dada entonces por:

$$r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2} \text{ Ec. (3)}$$

El trayecto de línea directa con retardo τ_0 tendría una distancia dada por:

$$\tau_0 = \frac{r_0}{c} \text{ Ec. (4)}$$

Así se puede calcular la distancia recorrida por las componentes difusas que alcancen al receptor con un exceso de retardo τ :

$$k(\tau) = r_0 + c\tau \text{ Ec. (5)}$$

El modelo geométrico extendido para el caso HAPS establece que una elipsoide cuyos focos son el Transmisor y el Receptor define los puntos donde la suma de la distancia de el transmisor al receptor es igual a $k(\tau)$. Adicionalmente, se estima que los obstáculos que producen las dispersiones se encuentran por debajo de cierta altura h , asumiendo que se encuentran distribuidos uniformemente en una capa delgada cercana al suelo. Como consecuencia, el volumen $V(\tau)$ que contiene los obstáculos causantes de las dispersiones con un retardo de exceso menor o igual a τ , es obtenido de la intersección entre la elipsoide y el plano $z=h$. Esto es ilustrado en la Figura 4 a continuación:

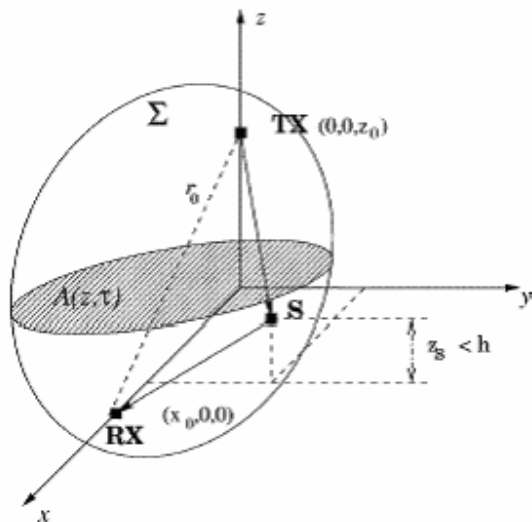


Figura 4. Modelo de Multitrayectorias para un Sistema de Plataformas Estratosféricas.

El volumen $V(\tau)$ que corresponde a la intersección del plano $z=h$ y la elipsoide, permite encontrar la Función de Distribución Acumulada definida como la relación entre el volumen $V(\tau)$ y el volumen correspondiente al retardo máximo del sistema τ_m .

$$F_c(\tau) = \frac{V(\tau)}{V(\tau_m)} \text{ Ec. (6)}$$

De esta forma la Función de Densidad de Probabilidad puede obtenerse diferenciando la Ec.(6). Es necesario entonces conocer el valor de τ_m que se asumirá de 150 ns escalando mediciones hechas con aviones normales. La Función de Distribución Acumulada del retardo adicional τ que se presenta tomando como base el retardo básico de la línea directa de vista, τ_0 , permite evaluar el número promedio de ecos $n(\tau)$ que

tienen un retardo τ , evaluando la potencia de cada eco $P_s(\tau)$ mediante el modelo de espacio libre con longitudes modificadas según el caso. De esta manera se obtiene el Perfil de Retardo-Potencia para HAPS a partir de $n(\tau)$ y $P_s(\tau)$ según la Ec. (7):

$$P(\tau) = n(\tau)P_s(\tau) \text{ Ec. (7)}$$

La Figura 5 muestra el resultado encontrado por los autores:

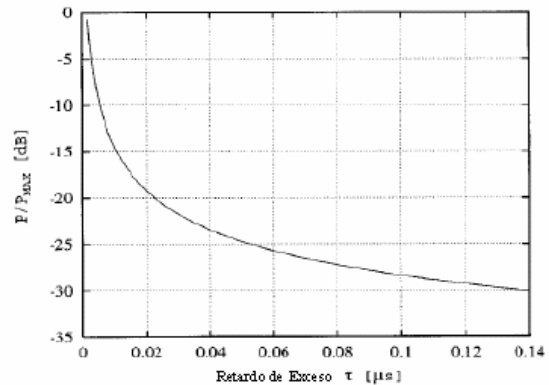


Figura 5. Perfil de Retardo-Potencia para modelo multitrayectoria en HAPS.

Una vez obtenida esta gráfica es posible encontrar el ancho de banda de coherencia del canal, B_c , el cual determina el rango de frecuencias en el cual el canal presenta un desvanecimiento plano. Este parámetro es la interpretación en la frecuencia de la definición de un canal de banda ancha. El canal se considera entonces de banda ancha cuando el ancho de banda de la señal es muy grande en comparación con el ancho de banda coherente del canal. B_c puede ser calculado de manera aproximada por la Ec.(8):

$$B_c = \frac{1}{50\sigma_\tau} \text{ Ec. (8)}$$

σ_τ es el ancho RMS del retardo el cual se obtiene directamente del Perfil de Retardo-Potencia y en este caso se calculó de 21 ns. Cabe anotar que existen también otras aproximaciones para B_c [5]. De esta forma $B_c=952$ KHz.

Para un caso típico de servicios de banda ancha en HAPS, se tiene una señal transmitida con QPSK @ 10 Mbps (asumiendo que no hay codificación ni filtros de coseno alzado) [7]. En este caso el ancho de banda de la señal correspondería a 5 MHz. Al comparar este ancho de banda de la señal con el ancho de banda de coherencia del canal, se puede concluir que el canal se comportará de forma selectiva y por lo tanto queda demostrado que el canal es de banda ancha.

Como se mencionó en la sección 2 también es necesario analizar el Efecto Doppler. El caso bajo consideración en este trabajo de grado se enfoca hacia servicios fijos de banda ancha sobre un sistema HAPS. Para este caso se podría pensar que dado que no hay entes móviles se pueden despreciar las consecuencias del efecto Doppler. Esto es cierto si se considera que la plataforma es perfectamente estable. Caso

ideal ya que en la práctica los sistemas trabajan con plataformas cuasiestáticas (ya que se ven afectadas por los vientos de la estratosfera) o con aviones circulando (con órbitas de aproximadamente 5 km de radio) [8]. Es necesario entonces analizar el impacto del efecto Doppler sobre el sistema.

En el caso de interés los sistemas de plataformas estratosféricas trabajan con una frecuencia de operación alrededor de los 28 GHz o de los 48GHz. Se considera el caso de aviones orbitando alrededor de un círculo con 5 km de radio a una velocidad de 150Km/h (caso típico del sistema HALO [7]). Para $f_c=48\text{GHz}$ la máxima frecuencia Doppler f_m obtenida corresponde a:

$$f_m = f_v \frac{v}{c} = 6666.66\text{Hz} \text{ Ec. (9)}$$

Utilizando la aproximación clásica para el Tiempo de Coherencia [9] se tiene que:

$$T_c = \frac{9}{16\pi f_m} = 26.857\mu\text{s} \text{ Ec. (10)}$$

Lo cual quiere decir que la mínima velocidad que debe tener una señal transmitida sobre HAPS operando a 48GHz para que no sea notoria la dispersión ocasionada por el Efecto Doppler debe ser al menos el recíproco del tiempo de coherencia que corresponde a 37234 símbolos por segundo. Análogamente para $f_c=28\text{GHz}$ se tendrá $f_m=3888.88\text{ Hz}$ que equivale a un tiempo de coherencia $T_c=46.0413\mu\text{s}$ y a una correspondiente velocidad mínima de 21720 símbolos por segundo.

Los HAPS han sido planeados para ofrecer servicios de banda ancha a una velocidad estimada de 4 a 12Mbps. Para la mínima velocidad con una modulación altamente eficiente como 256PSK se tendría una velocidad efectiva transmitida de 500kbaudios que resulta bastante alta en comparación con el límite anteriormente estimado. Se concluye entonces que se pueden despreciar las consecuencias del Efecto Doppler sobre la señal transmitida para el caso de interés.

Hasta este momento se ha concluido que el modelo presentado por Dovis-Fantini puede ser aplicado de igual manera a los HAPS con servicios de banda ancha, ya que el modelo permitirá reproducir los efectos de Interferencia Intersimbólica generados como consecuencia de la selectividad del canal que es de banda ancha. Con esta premisa se pasó a realizar una simulación que permitiera evaluar el comportamiento del canal y compararlo con otros modelos de banda angosta.

El análisis anterior se centraba en la componente difusa de la señal. En cuanto a la Componente Directa para el caso HAPS solo se deben tener en cuenta los efectos producidos en la Troposfera debido a la altura en la que se ubican las plataformas (que está por debajo de la Ionosfera) y respecto a los fenómenos producidos en esta capa atmosférica se tiene que las pérdidas por polarización pueden ser eliminadas asumiendo una polarización circular en las señales (que es efectivamente la regla para sistemas de comunicaciones de tercera generación). Adicionalmente estudios realizados [10] han concluido que el centelleo troposférico no es significativo en sistemas con alto ángulo de elevación (como los HAPS que en la mayoría de sus aplicaciones buscan garantizar línea de vista directa con el usuario) y por lo tanto no es un efecto de gran

importancia. Se concluye entonces que para los servicios de banda ancha sobre HAPS los principales fenómenos a estudiar en su componente de línea directa son la atenuación por gases y lluvia. En cuanto a la Componente Especular, según la arquitectura de los HAPS [8] el receptor fijo debe apuntar a la plataforma y tener un buen patrón de directividad, por lo cual esta componente es eliminada por la antena receptora en sí y no se tiene en cuenta.

5. SIMULACIÓN DEL MODELO DE MULTITRAYECTORIA DE BANDA ANCHA APLICABLE A HAPS

La simulación que se presentará a continuación, pretende estudiar el caso considerado más crítico del proceso completo, correspondiente al modelo para multitrayectorias adaptado al sistema. Las simulaciones fueron diseñadas con base en el modelo presentado en la Figura 6:

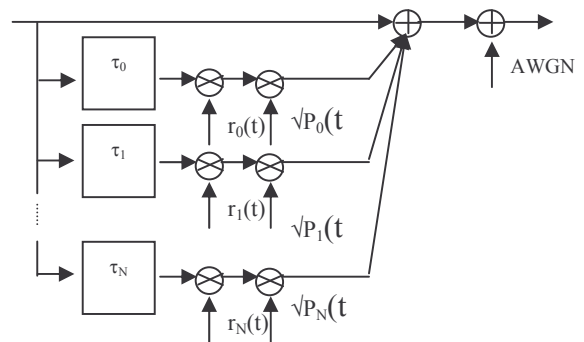


Figura 6. Diagrama en Bloques simulado para un Modelo de Multitrayectorias de banda ancha aplicable a HAPS.

Los valores de los retardos τ_i son extraídos directamente del Perfil de Retardos de Potencias, así como sus potencias correspondientes P_i . Se introdujo además un proceso de Distribución Gaussiana con un ancho de banda correspondiente a la máxima frecuencia Doppler f_m que busca representar naturaleza cambiante del canal. Posteriormente se adiciona Ruido Blanco Gaussiano para simular posibles efectos del canal aún no tenidos en cuenta. Adicionalmente, se simuló un sistema con características similares, con un modelo de canal de Ruido Blanco Gaussiano, con el fin de hacer algunas comparaciones. La Figura 7 ilustra de manera general el sistema simulado, el bloque del canal cambia de acuerdo al canal simulado:

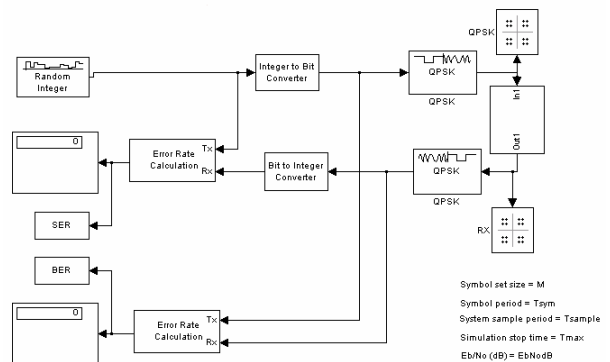


Figura 7. Esquema del sistema de comunicaciones general simulado.

6. RESULTADOS DE SIMULACIÓN Y RECOMENDACIONES

Al comparar las gráficas de la Figura 9 entregadas por las simulaciones del modelo multitrayectoria expuesto y el modelo de ruido blanco gaussiano habitual, es posible verificar que el modelo sencillo AWGN es optimista y no tiene suficientemente en cuenta el efecto de multitrayectorias. El modelo expuesto en la sección 4 aplicado a este caso particular demuestra el gran deterioro que sufre el sistema por tratarse de un canal selectivo.

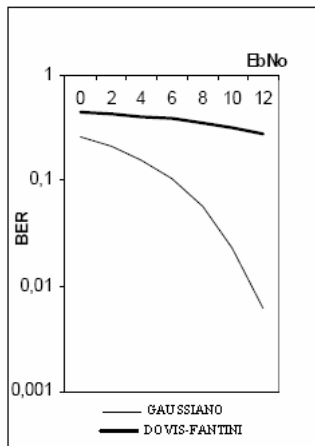


Figura 9. Comparación resultados del canal multitrayectorias para banda ancha y canal AWGN clásico.

Las Figuras 10, 11, 12 y 13 presentan otro importante resultado que se observó al variar los esquemas de modulación en el sistema de comunicaciones. Las gráficas 10 y 11 resultaron al aplicar modulaciones QPSK y 128PSK con el canal de multitrayectorias, las gráficas 12 y 13 se realizaron con las mismas condiciones pero sobre un canal AWGN. Como se puede observar, en el canal de banda ancha a pesar de incrementar mucho la relación E_b/N_0 existe un piso de ruido constante que no desaparece. En cambio en el canal AWGN se llega al límite ideal de error 0 cuando la potencia es muy alta.

El análisis realizado con base en estos resultados permitió concluir que el piso de ruido se debe a que el canal de banda ancha produce Interferencia Intersimbólica, fenómeno que se hace evidente en modulaciones con constelaciones muy saturadas. Para mitigar este efecto sería necesario utilizar Ecuilibradores en el Sistema de Comunicaciones.

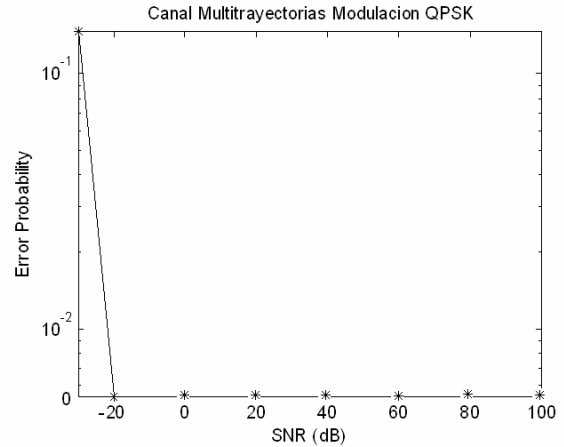


Figura 10. Resultado Canal Multitrayectorias con Modulación QPSK.

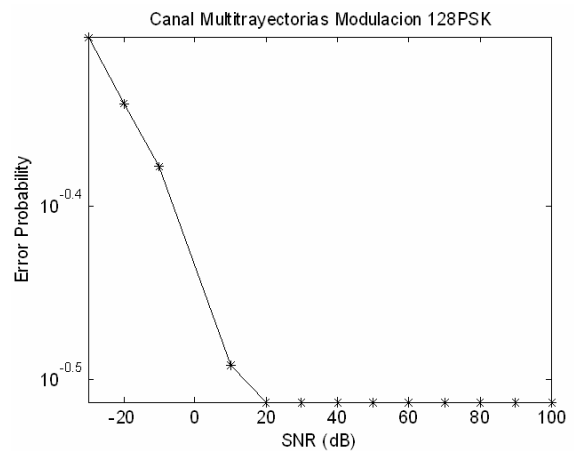


Figura 11. Resultado Canal Multitrayectorias con Modulación 128PSK.

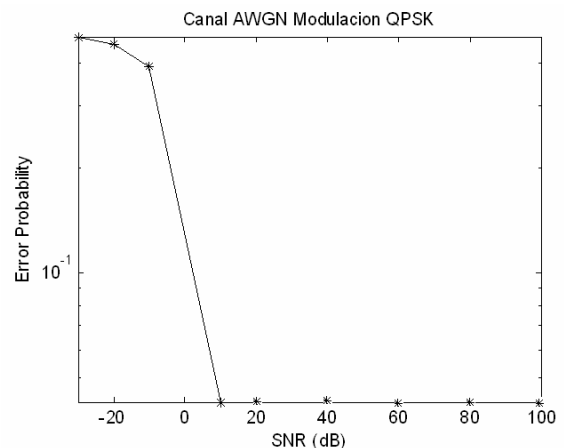


Figura 12. Resultado Canal AWGN con Modulación QPSK.

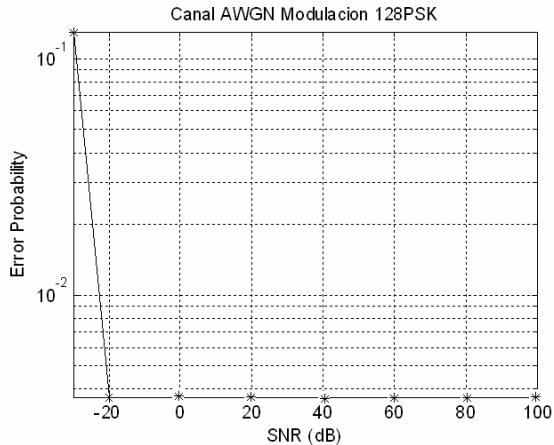


Figura 13. Resultado Canal AWGN con Modulación 128PSK.

7. CONCLUSIONES

Se confirmó que el modelo de canal no puede ser trabajado directamente con una distribución de Rice a pesar de que existe una alta componente de línea directa de vista, o con un modelo clásico AWGN, ya que existen obstáculos rodeando al receptor que pueden generar multitrayectorias deteriorando el funcionamiento del sistema y la selectividad del canal debe ser apropiadamente modelada.

Los sistemas de plataformas estratosféricas en sus servicios fijos de banda ancha presentan gran susceptibilidad ante efectos atmosféricos como atenuación por lluvia y absorción de gases, debido a las elevadas frecuencias de trabajo.

Es necesario continuar con el análisis de los modelos que mejor se ajustan para el caso de lluvias y atenuación por gases con el fin de completar el modelo de canal apropiado para un sistema HAPS, cubriendo así los fenómenos presentados en todas las componentes de la señal (difusa y directa).

8. REFERENCIAS

- [1] M.S. Karaliopoulos, F.N. Pavlidou, "Modelling the land mobile satellite channel: a review", *Electronics & Communication Engineering Journal*, Octubre 1999, pp. 235 – 249.
- [2] Simon R. Saunders, *Antennas and propagation for Wireless Communication Systems*, Cap 5, pp. 2.
- [3] H. Bischl, A. Jahn, E. Lutz, "Wideband channel model for UMTS satellite communications", DLR, ETSI/SMG 5 16, Paper No. ETSI SMG5(96) TD 006/96, 10 pp.
- [4] C. Tzaras, S.R. Saunders, B.G.Evans, "A tap-gain process for wideband mobile-satellite PCN channels". COST 252 TD (97).
- [5] F. Dosis, R. Fantini, M. Mondin, P. Savi, "Small-Scale Fading for High-Altitude Platform (HAP) Propagation Channels", *IEEE Journal on Selected areas in Communications*, Vol. 20, No. 3, Abril 2002.
- [6] T.S. Rappaport, "*Wireless Communications Principles and Practice*", Prentice Hall, 1996.
- [7] N. Collela, J. Martin, I. Akyildiz, "The Halo Network", *IEEE Communications Magazine*, Junio 2000, pp. 142 – 147.

- [8] C. Gómez, J. Restrepo, "Los Sistemas de Plataformas Estratosféricas como soporte a la Infraestructura Global de la Información GII", II Congreso Internacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Bogotá, Marzo 2002.
- [9] R.Steele & L.Hanzo ed., "Mobile Radio Communications", John Wiley, Chichester, ISBN 0471-97806-X, 1998.
- [10] A. Bolea Alamañac, M. Bousquet, "Millimetre-Wave Radio Systems: Guidelines on Propagation Modelling and Impairments Mitigation Techniques Research Needs", COST 280 Action 1st International Workshop, Julio 2002.