

HUGHES
NETWORK SYSTEMS



Administración Airlink en Sistemas Punto-a-Multipunto: Un Examen de FDMA, FDDY TDD

Un Libro Blanco para Proveedores de Servicios de Telecomunicaciones utilizando el Sistema AIReach® Broadband 9000

Este Libro Blanco de Banda Ancha AIReach introduce y discute conceptos relacionados con la administración del enlace aéreo utilizado en radio sistemas punto-a-multipunto (PMP) para acceso inalámbrico en banda ancha (BWA – Broadband Wireless Access). Examina las técnicas de administración de enlace aéreo de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA - Frequency Division Multiple Access), duplexación por división de frecuencia (FDD - Frequency Division Duplexing), y duplexación por división de tiempo (TDD - Time Division Duplexing), incluyendo su utilización subyacente del acceso múltiple por división de tiempo (TDMA - Time Division Multiple Access). Su conclusión es la de que, para los segmentos del mercado hacia los cuales están enfocados los proveedores de servicios de telecomunicaciones que utilizan BWA, el FDD ofrece importantes ventajas sobre los demás enfoques. Por estas razones, el equipo de diseño de Hughes Network Systems (HNS) seleccionó FDD para el AIReach 9000.

Este documento está dirigido al staff técnico de los proveedores de servicios que aprovechan las ventajas de AIReach para redes BWA, o a aquellos que están considerando su utilización.

1.0 Antecedentes

Los sistemas PMP (también se llaman LMDS) utilizan un número de tecnologías de avanzada con el fin de que sus aplicaciones sean sencillas, confiables, efectivas y competitivas. Qué también cumple un sistema con estos objetivos depende de diversos factores, uno de los más importantes siendo el diseño básico del sistema y su ejecución por parte del fabricante.

Otro importante elemento, prerrogativa del fabricante, es la forma en que se administrará el enlace aéreo. En un sistema PMP, la administración del enlace aéreo es el método por medio del cual el espectro radial se pone a disposición de los usuarios. Los diversos enfoques tienen diversos efectos sobre el operador del sistema. Los enfoques utilizados para la administración del enlace aéreo en los sistemas PMP (FDMA, FDD y TDD) están bien establecidos, se utilizan en todo mundo, y sus méritos relativos se entienden claramente.

Este documento utiliza algunos términos de uso común dentro del entorno de acceso inalámbrico de banda ancha, pero no en otros campos.

La **Figura 1-1** presenta estos términos y sus correspondientes definiciones, incluyendo:

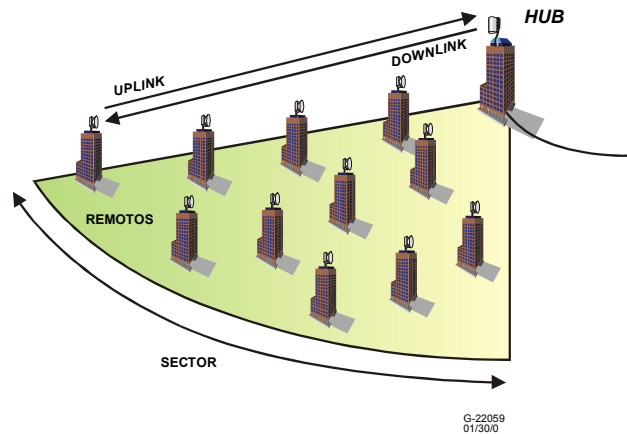


Figura 1-1. Definiciones

- Hub o Base Station: el bloque de construcción de un sistema PMP es el hub, el punto central dentro de un área de cubrimiento de radio. Todo el tráfico PMP fluye a través de hubs.
- Remotos o terminales de suscriptor: los hubs se comunican con terminales remotos, los cuales están ubicados en la localidad del cliente. El enlace aéreo existe entre los hubs y los remotos.
- Downlink y uplink: las comunicaciones desde el hub a los remotos se presentan en el downlink. El uplink representa comunicaciones en la dirección contraria.
- Canal (no mostrado): el ancho de banda global de radio está dividido en unidades llamadas canales. Un canal es el volumen de ancho de banda con una asignación conocida de frecuencia, administrado como una corriente individual de información.
- Sector: para concentrar la potencia y aumentar la cobertura, el área de 360° del hub se divide en sectores. Los sectores PMP típicamente se encuentran dentro de los 22.5° y los 90°.

2.0 Acceso múltiple por división de frecuencia - FDMA

El FDMA es un sistema fijo de asignación de espectro que se basa en principios de multiplexación de división de frecuencia (FDM – Frequency Division Multiplexing). Aunque todos los enfoques de administración del enlace aéreo subdividen el espectro disponible en canales fijos de frecuencia, la premisa fundamental de un sistema FDMA es que cada canal está asignado y dedicado a un suscriptor único o a una unidad de sitio remoto única dentro de un sector PMP. La **Figura 2-1** muestra esto. Cada canal se utiliza para transmisión en un solo sentido.

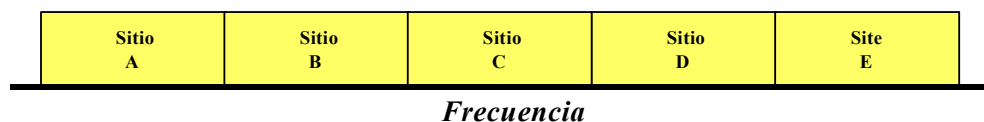


Figura 2-1. TDM con el hub controlando el canal

Los sistemas PMP descritos como FDMA utilizan FDMA para el uplink, y multiplexación por división de tiempo (TDM) sobre el downlink. Con el hub utilizando TDM sobre el downlink, el canal se divide en divisiones de tiempo. Las divisiones de tiempo pueden direccionarse flexiblemente a cualquier destinatario, como se muestra en la **Figura 2-2**.

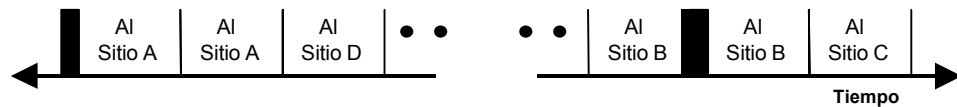


Figura 2-2. TDM con el hub controlando el canal

Debe notarse que la operación FDMA en ambas direcciones es la característica que define los radios punto-a-punto. Una variante punto-a-punto con múltiples carriers en un transmisor individual se verá sometida a interferencia de intermodulación y a rangos impredecibles. Dentro de un sistema PMP FDMA, una vez se ha asignado un canal uplink a una unidad remota, éste quedará dedicado a dicha unidad.

La utilización dedicada del canal es uno de los principales inconvenientes de un sistema FDMA. Siendo una asignación fija, ningún otro usuario tendrá acceso al canal, aun si cuenta con la capacidad necesaria. Los sistemas PMP FDMA también resultan en un gran número de enlaces radiales o canales. Esto hace que la planeación de frecuencias y la administración de la capacidad sean mucho más difíciles, y que la falta de flexibilidad general para añadir/eliminar/modificar suscriptores limite la eficiencia de la administración de cambios.

En gran parte debido a su ineficiente utilización del espectro, a aspectos complejos de planeación de frecuencia y de administración de capacidad, y a la falta de flexibilidad en la administración de cambios, los sistemas FDMA se consideran hoy día insatisfactorios para aplicaciones PMP.

3.0 Acceso múltiple por división de tiempo - TDMA

El TDMA se desarrolló originalmente en los años 60 para sistemas de comunicación satelital. Es un método utilizado para administrar la asignación de recursos de un receptor *único* (o canal de recepción) entre transmisores *múltiples* (o remotos en PMP). Como lo discutiremos más adelante, en sistemas PMP el TDMA se utiliza en el uplink de sistemas FDD, y en el uplink/downlink compartido para sistemas TDD.

El principio del TDMA es que la totalidad del canal estará disponible para todos los suscriptores, pero su control o asignación momentánea se rige por sus necesidades individuales. La asignación de canales se hace en el tiempo, siendo la división de tiempo (timeslot) interna fija la unidad básica de asignación. Por tanto, sitios múltiples transmiten sobre el canal en los momentos designados para sus divisiones de tiempo asignadas, según se muestra de la **Figura 3-1**. La captura, el control/transmisión, y la liberación del canal deben ocurrir continuamente y a través de sitios múltiples, con un alto grado de precisión, incluyendo responsabilidad por retardos de propagación. Controlar esto, no obstante, significa que algunas divisiones de tiempo, y por tanto recursos, resultarán afectados por el tráfico de administración del sistema.



Figura 3-1. TDMA con sitios alternantes que controlan y transmiten sobre el canal

Los aspectos que pueden mencionarse o inferirse en relación con la utilización de TDMA en sistemas PMP incluyen los siguientes:

- Debido a que el recurso se asigna como divisiones de tiempo, el hub y las unidades de suscriptor en un sistema PMP sobre el mismo carrier y en el mismo sector deben ser capaces de establecer y mantener sincronización.
- La sincronización debe responder por retardos de propagación (3.3 μ segundos/km), ya que dos transmisiones nunca podrán superponerse en la unidad receptora (el hub en FDD, o el hub o el suscriptor en TDD).
- El control del sistema se hace desde el hub.
- Las unidades remotas deberán contar con un medio para transmitir sus requerimientos al hub.
- Una unidad remota deberá ser capaz de filtrar el tráfico de otras unidades remotas.
- La administración TDMA añade overhead (carga) de canal, el cual afecta la capacidad de trabajo.

El verdadero valor de TDMA es su capacidad de asignar dinámicamente recursos según sea necesario, la cual una característica frecuentemente llamada *asignación dinámica de ancho de banda* (DBA - Dynamic Bandwidth Allocation). Por tanto, el recurso del canal de frecuencia (el cual se divide en tiempo) es utilizado muy eficientemente por la población de suscriptores. Esta capacidad, no obstante, viene acompañada de una mayor complejidad del sistema.

4.0 Duplexación por división de frecuencia - FDD

Los esquemas de duplexación ofrecen una forma para administrar los flujos de tráfico upstream y downstream. En FDD, estos flujos ocurren sobre dos canales de frecuencia, el uplink y el downlink. Se utiliza TDMA para asignación de recursos sobre el uplink. En PMP, solamente debe utilizarse TDM sobre el downlink. En este modo, TDM es altamente eficiente y, allí donde puede utilizarse, ofrece toda la flexibilidad y los beneficios de la asignación dinámica de ancho de banda, con muy poca de la complejidad del TDMA. Muchos sistemas satelitales y de radio utilizan variaciones de FDD.

Las autoridades regulatorias asignan el espectro para sistemas PMP en bloques. Estas asignaciones son típicamente pares de bloques (los cuales no tienen contigüidad de frecuencia). Los proveedores de sistemas PMP subdividen estos bloques en canales de igual ancho de banda. En sistemas FDD, los canales se dividen igualmente entre uplinks y downlinks. Éstos se acoplan en pares, cada uno de los cuales tiene la misma

separación de frecuencia. La **Figura 4-1** muestra este arreglo de asignaciones de frecuencia contiguas y no-contiguas.

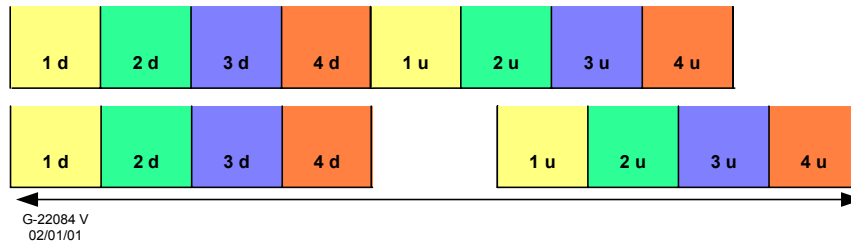


Figura 4-1. Plan de frecuencias PMP FDD para asignaciones de espectro contiguas (arriba) y no contiguas (abajo) (los pares de canales downlink (d) y uplink (u) tienen un offset constante de frecuencia).

Utilizando el Canal 1 en la figura como un ejemplo, el hub transmite a sus remotos sobre el Canal 1d utilizando TDM. Todos los remotos en el sector filtran el tráfico destinado a ellos. Todos los remotos transmiten sobre el Canal 1u utilizando TDMA, pero lo hacen según sus divisiones de tiempo asignadas, según se discutió anteriormente. Las asignaciones de divisiones de tiempo varían de acuerdo con las necesidades momentáneas de cada sitio remoto.

En un sistema FDD, la asignación de recursos sobre el uplink y el downlink es independiente. Por ejemplo, durante el mismo período de tiempo, la asignación instantánea para un sitio específico podría ser del 75% del ancho de banda del uplink (esto es, divisiones de tiempo), mientras que en el downlink podría ser de tan sólo el 10%. Adicionalmente, los *pares* de canales FDD son independientes. Por ejemplo, el par 1 de canales (1d y 1u) es independiente del par 2 de canales en términos de asignaciones y sincronización de divisiones de tiempo TDMA o TDM. Esto aplica también al sistema AIReach cuando los canales adyacentes (por ejemplo los pares de canales 1 y 2) operan en el mismo sector.

5.0 Duplexación por división de tiempo - TDD

En TDD, el tráfico uplink y downlink se transmite sobre el mismo canal. Aquí, utilizando TDMA, los recursos de canal se asignan entre todas las unidades remotas y el hub, en ambas direcciones. Los sistemas TDD se han venido utilizando durante muchos años.

La misma asignación de espectro discutida más arriba para FDD se muestra más abajo en la **Figura 5-1**, pero incluye un plan de canales para TDD. Nótese que el valor total de ancho de banda consumida entre TDD y FDD es el mismo.

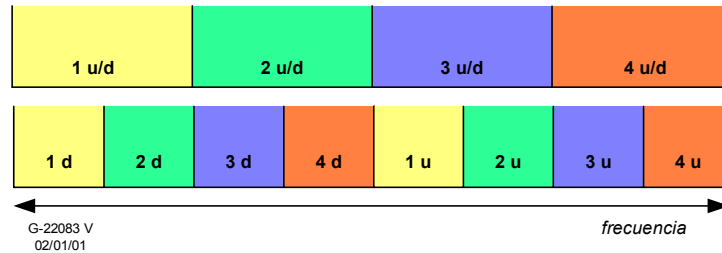


Figura 5-1. de frecuencias PMP TDD (superior), con el plan FDD correspondiente

De igual forma que FDD, TDD puede asignar recursos en forma flexible para responder a las necesidades en dos direcciones. No obstante, veremos que la flexibilidad de TDD se ve seriamente limitada por otros factores.

6.0 Comparación de enfoques de administración de enlace aéreo en sistemas PMP

Habiendo ya introducido a FDMA, FDD y TDD según habrán de utilizarse en sistemas PMP, haremos ahora una comparación de los tres enfoques.

6.1 Comparación esquemática

La **Figura 6-1** es una comparación esquemática de planes potenciales de canales para los tres enfoques. En todos los casos, el downlink se transmite a las unidades remotas en el sector. Como se indicó anteriormente, los sectores en los sistemas PMP tienen un rango típico de entre 22.5° y 90°.

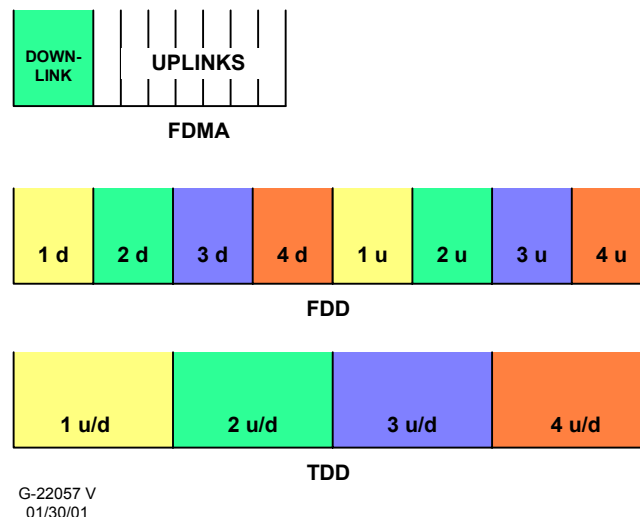


Figura 6-1. Planes de canal para sistemas PMP FDMA, FDD y TDD

Debemos recordar que en FDMA cada canal uplink tiene un ancho de banda fijo y está dedicado a una localidad remota única. El downlink FDMA utiliza TDM, siendo transmitido desde el hub y recibido por todos los sitios remotos en el sector.

En FDD, el downlink también es transmitido desde el hub a los remotos en modo TDM.

La **Figura 6-2** contiene un esquema de los canales operando para los tres enfoques. En FDMA y FDD se utilizan frecuencias separadas de transmisión y recepción en el uplink y en el downlink. Las dos frecuencias son fácilmente separadas en la antena misma por un duplexador sencillo. (El costo del duplexador es de alrededor de US \$50).

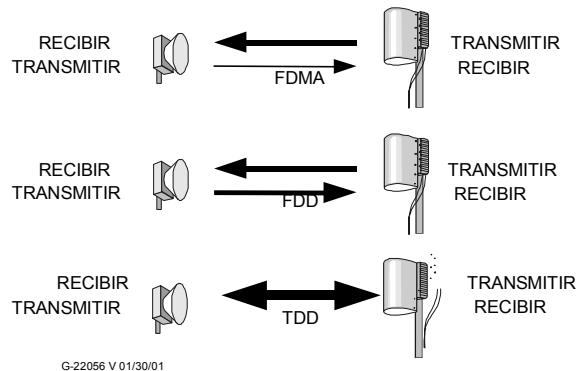


Figura 6-2. Esquema de transmisión entre el hub (derecha) y el remoto (izquierda)

Con TDD, el hub y el remoto comparten un mismo canal en el tiempo. No se requiere de separación de frecuencia; en su lugar, existe una separación en el tiempo. Las funciones de transmisión y de recepción deben ser encendidas y apagadas en forma activa. El costo de hacer esto es aproximadamente el mismo que para un duplexador.

6.2 Canales de guarda y tiempo de guarda

En cualquier sistema de radio en el cual el espectro se divida en canales, existen límites entre canales adyacentes. Estos límites se llaman "canales de guarda" (guard bands); la **Figura 6-3** muestra ejemplos para un sistema FDD y para un sistema TDD. Estos sistemas se muestran como teniendo definiciones totales de ancho de banda similares por canal dúplex (los sistemas FDMA también tienen canales de guarda).

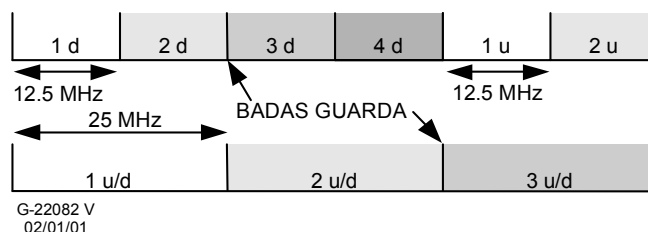


Figura 6-3. Canales de guarda y anchos de banda de canal para sistemas FDD (parte superior) y TDD (parte inferior) similares

La importancia de los canales de guarda no es que simplemente existan, como lo hacen por definición, sino la forma estrecha en que puede espaciarse la energía de espectro entre canales adyacentes antes de presentarse interferencia entre canales. El espaciamiento es una función de diversos factores, incluyendo el espectro de canales generado en el módem, la precisión de los diversos filtros, la estabilidad de fase en

las etapas de conversión, y la linealidad de los amplificadores. Estos factores juegan un papel importante en todos los sistemas PMP, y especialmente en todos los sistemas de radio.

La **Figura 6-4** presenta dos sistemas con diferentes canales de guarda. Si el ancho de banda de la energía espectral principal es la misma en ambos casos, entonces el sistema de la izquierda, con el canal de guarda más estrecho, tendría un menor espaciado de canal que el de la derecha, todo demás siendo igual. En la práctica, el espaciado de canal podría ser el mismo (el espectro de la derecha tendría que acercarse hacia el otro) pero el sistema de la izquierda, con el canal de guarda más estrecho, tendría un mayor rendimiento debido a que tendría una menor interferencia de canal adyacente. En el sistema PMP AIReach de Banda Ancha de Hughes, el canal de guarda es lo suficientemente estrecho para que los canales adyacentes puedan operar en el mismo sector, y su rendimiento o capacidad sobre un canal de 12.5 MHz es de 45 Mbps de carga (o en 25 MHz de espectro, 90 Mbps de carrera total).



Figura 6-4. Canales de guarda estrechos y amplios (el ancho del canal de guarda es una función de diversos factores de diseño y de ingeniería. Todo lo demás siendo igual, para un espaciado dado de canal, el sistema con el canal de guarda más estrecho tendrá un mayor rendimiento)

El *tiempo de guarda* es una penalización inherente en TDMA. Es el espaciado en el tiempo entre impulsos TDMA, y representa un colchón para permitir imperfecciones inherentes en características tales como sincronización, retardos de propagación, tiempo de adquisición de señal, y composición (framing) TDMA. Debido a que utiliza TDM, el tiempo de guarda es virtualmente inexistente en el downlink de sistemas FDMA y FDD. No obstante, trae consigo una penalización sobre el extremo uplink TDMA de sistemas FDD. Es en los sistemas TDD en donde el tiempo de guarda se torna importante.

En TDD, debe concederse un tiempo adicional para permitir el cambio entre modo transmisión y modo recepción, llamado *tiempo de rotación de canal*. El tiempo de rotación tiene dos componentes: el primero es el cambio actual entre las funciones de transmisión y de recepción. Esto ocurre rápidamente, no obstante, en relación con el segundo componente, que representa el retardo de propagación. La penalización resultante del retardo de propagación en sistemas TDD se presenta debido a que los sitios deben siempre responder por el retardo cuando están transmitiendo, pero enfrentan la paradoja de que nunca pueden transmitir y recibir simultáneamente. Tener que transmitir "por adelantado" pero recibir "retrasadamente" es un impedimento que sólo puede obviarse añadiendo un colchón adicional de tiempo, que representa una penalización sobre la capacidad del sistema y la eficiencia espectral. Vemos también que el tema del retardo de propagación tiene un impacto adicional sobre la interferencia intra-sistema en TDD.

6.3 Eficiencia espectral

La eficiencia espectral es una medida de la capacidad general de carga a través del espectro asignado. Se ve afectada por factores tales como el canal de guarda, el tiempo de guarda, la carga de administración de enlace, y los bits de codificación. En el lado práctico, los perfiles de tráfico para la base de clientes deben también tenerse en cuenta. Una discusión o una comparación de la eficiencia espectral debe asumir que los factores de enlace, tales como el ancho de banda de canal, la modulación, la potencia de transmisión, y la ganancia de antena, son constantes. Esto último es una buena suposición al comparar sistemas PMP FDD y TDD. Más adelante discutiremos un indicador relacionado, la reutilización de frecuencia.

Sin la carga asociada con el TDMA, y si los patrones de tráfico del sitio de alguna forma corresponden adecuadamente a las asignaciones de canal, un sistema PMP FDMA podría tener una muy buena eficiencia. No obstante, debido a que tales correspondencias no ocurren en la práctica, y ya que no existe participación de canales entre unidades remotas, los sistemas FDMA tienen una baja eficiencia espectral. Esta es la principal razón por la cual la industria se ha alejado de los sistemas PMP FDMA. En consecuencia, las siguientes comparaciones no siempre incluirán FDMA.

Haciendo una comparación de sistemas FDD y TDD utilizando el mismo ancho de banda (por ejemplo un par de canales FDD de 12.5 MHz y un canal TDD de 25 MHz), el tiempo de guarda adicional y la administración requeridos por TDD resultarán en una ventaja aproximada del 10% para FDD. En nuestro caso, en el sistema AIReach cada canal de 12.5 MHz maneja 45 Mbps de tráfico de usuario o 90 Mbps (45 Mbps full dúplex) en un par de canales de 12.5 MHz. Esto representa una eficiencia espectral de 3.6 bits de carga/Hz. Esta eficiencia espectral superior es una de las razones por las cuales los ingenieros de Hughes seleccionaron FDD sobre TDD.

Debido a que el perfil de tráfico es un factor práctico relacionado con la eficiencia, el tráfico altamente asimétrico manejado sobre un canal muy estrecho sería una ventaja para TDD. El tráfico comercial, no obstante, es altamente simétrico, especialmente cuando se promedia en varios sitios como ocurre con sistemas PMP. Esta es otra de las razones por las cuales Hughes se decidió por FDD.

6.4 Rango de operación y cobertura

Dicho simplemente, dentro del contexto de la comparación (por ejemplo, el mismo ancho de banda de canal, modulación, potencia de transmisión, ganancias de antena, sensibilidades de recepción y cifras de ruido, y disponibilidad del sistema) un sistema PMP FDD ofrecerá aproximadamente una ventaja en rango de operación del 12% sobre un sistema TDD. Esto equivale a una ventaja del 25% en áreas de cobertura para un hub PMP dado.

La razón de la ventaja del FDD es clara: debido a que se utiliza el mismo canal para uplink y para downlink, los módems TDD deben operar al doble de la velocidad de símbolo (por tanto al doble del ancho de banda) de los módems FDD para alcanzar el mismo rendimiento. Esto no solamente significa un aumento de costos en el módem TDD sino que el hecho de duplicar la velocidad de símbolos disminuye la energía por bit a la mitad (una reducción de 3 dB en E_b/N_0 en cualquier rango). Esta degradación se traduce en una reducción de aproximadamente 12% en el rango de operación en las frecuencias de 25-40 GHz utilizadas en sistemas PMP de banda ancha.

Para compensar esto, un sistema TDD podría duplicar la potencia transmitida, pero dicha potencia adicional, a frecuencias de onda en milímetros - aun de estar disponibles - es tal vez el elemento más costoso de un sistema PMP. Este castigo en rango y en cobertura fue una razón más por la cual Hughes escogió FDD sobre TDD.

6.5 Planeación y reutilización de frecuencias

La planeación de frecuencias es una de las más importantes consideraciones en la implementación de redes inalámbrica PMP. El espectro es un recurso valioso que debe administrarse para máxima reutilización dentro del área de operaciones. La reutilización de frecuencias, en particular, es función de diversos factores, incluyendo calidad del módem, agudeza de filtros, agudeza de antena, y controles de potencia dinámica. Estos factores son más función del diseño y ejecución del fabricante que del enfoque de la administración del enlace aéreo. No obstante, existe otro importante factor, la interferencia, en el cual la diferencia entre FDD y TDD es importante y favorece grandemente a FDD.

La **Figura 6-5a** ilustra la base de un plan típico de frecuencias para una región de operación. La figura muestra cuatro frecuencias: A, B, C y D (4 pares en FDD) que representan frecuencias operando desde hubs (los círculos) con cuatro sectores. Los hubs apuntan hacia afuera en los sectores; los remotos en los sectores apuntan hacia su hub. Esta discusión aplica también a un mayor número de frecuencias y de sectores.

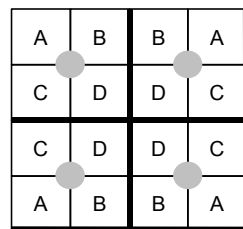


Figura 6-5a. Operación básica de cuatro hubs, cuatro frecuencias

A medida que el área de cobertura aumenta, el patrón comienza a repetirse y el potencial para interferencia en el sistema comienza a jugar un papel importante. La interferencia se presenta a medida que un remoto en un sector también puede "ver" un hub diferente al suyo propio operando en la misma frecuencia. La interferencia constituye un tipo de ruido para un receptor.

La **Figura 6-5b** muestra esta situación para FDD. Aquí, el remoto en la esquina superior izquierda de la figura también puede ver el hub en la esquina inferior derecha. La relación del carrier deseado con uno que interfiera es expresada por la relación C/I. En este caso, C/I puede determinarse basado en la relación entre las distancias del remoto y su hub primario y el que interfiere. Mostrada a lo largo de la línea, esta relación es de 5:1, lo cual equivale a una relación C/I de 14 dB. Esto significa que, para esta ubicación específica de un remoto, no existen disponibles modulaciones de nivel superior (16-QAM, 64-QAM) debido a un C/I insuficiente. En el caso de AIReach, el sistema regresará a QPSK para este sitio solamente debido a la característica de Correspondencia Dinámica de Modulación AIRmatch. Nótese que, a medida que la ubicación del remoto cambia dentro de sector, el remoto percibe menos interferencia (debido a su antena de foco estrecho y/o a su proximidad a su propio hub) y el C/I mejora en forma dramática.

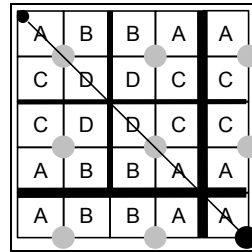


Figura 6-5b. El patrón comienza a repetirse (consideración de interferencia)

La situación de interferencia para TDD es *significativamente* peor. Debido a que las unidades transmiten y reciben sobre una frecuencia única, la distancia potencial entre unidades que interfieren es menor que en el caso FDD. Esto se muestra en la **Figura 6-5c**, en donde la relación de distancia se presenta como 4:1. Esto equivale a una relación C/I de 12 dB, lo cual comienza a limitar aun la operación QPSK. El remoto en la esquina inferior derecha podría estar actualmente más cercano a su propio hub, lo cual empeora la situación aún más.

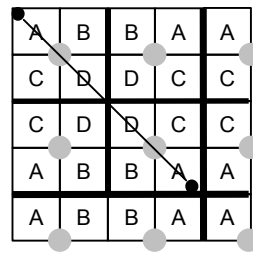


Figura 6-5c. Interferencia para TDD

Aún el plan de frecuencia menos sofisticado presentado en la **Figura 6-5d** presenta un problema de interferencia con TDD. Aquí, el problema es interferencia intra-hub. Los pétalos laterales y traseros de la antena del hub (sector 3) recogen la señal del hub detrás de la antena (sector 1). A pesar de que estos pétalos están 40 dB abajo o más, compiten con constituye otro problema de interferencia. niveles de potencia muy bajos recibidos en el hub del sector 3. Esto constituye otro problema de interferencia.

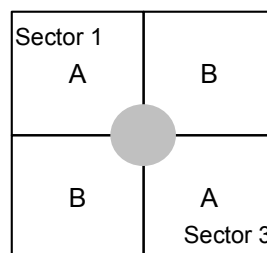


Figura 6-5d. Plan sencillo alterno de frecuencias

Aún el plan de frecuencia menos sofisticado presentado en la **Figura 6-5d** presenta un problema de interferencia con TDD. Aquí, el problema es interferencia intra-hub. Los pétalos laterales y traseros de la antena del hub (sector 3) recogen la señal del hub detrás de la antena (sector 1). A pesar de que estos pétalos están 40 dB abajo o más, compiten con niveles de potencia muy bajos de la mejor manera posible, intentando impedir que cualquier unidad remota o hub transmita cuando otro está recibiendo sobre la misma frecuencia. (Nótese que la importancia del retardo de propagación aumenta debido a que las distancias entre los elementos que interfieren son mayores). Esta

sincronización de transmisión/recepción limita en forma importante la flexibilidad de TDMA y la reasignación de ancho de banda dinámico, de hecho desvirtuando su propósito mismo. Adicionalmente, los sistemas TDD pagan un precio en reutilización de frecuencias restringida o por interferencia, lo cual se traduce en "zonas muertas" y en grandes dificultades para la planeación de frecuencias y de operaciones, y para la coordinación. No es sorprendente ver que los principales sistemas TDD en el mundo, Personal Handyphone System en el Japón y Digital European Cordless Telephone en Europa, operan con sincronización a nivel global para evitar interferencias, operando principalmente con tráfico de voz, el cual tolera altos niveles de errores de bits.

La interferencia es otra razón más por la cual los ingenieros de Hughes seleccionaron FDD al diseñar el sistema AIReach.

6.6 Tabla de resumen

La **Tabla 6-1** resume las diferencias entre FDD - según implementación de Hughes Network Systems en AIReach - y los sistemas TDD.

Table 6-1. Resumen comparativo de FDD en sistemas AIReach y TDD

Índice de comparación	Sistema AIReach FDD	Sistemas TDD
Canal de guarda. límite o espaciamiento de frecuencias entre canales; alguna pérdida de espectro.	Presente en sistemas FDD. Los canales de guarda muy estrechos de AIReach permiten aun a canales adyacentes operar en el mismo sector.	Presente en sistemas TDD. Con canales más amplios, los sistemas TDD tienen un menor número de canales de guarda. Los anchos de banda dependen del diseño y de la implementación.
Tiempo de guarda. Alguna pérdida de capacidad debido al margen de tiempo requerido entre ranuras TDMA.	Presente en AIReach, ya que utiliza TDMA para administración de canales. El tiempo de guarda es un aspecto menos importante en el downlink no compartido.	Tiempo de guarda inherente debido a la utilización de TDMA. La pérdida de capacidad del tiempo de guarda es más severa en TDD debido al tiempo de rotación de canales.
Eficiencia espectral. Todos los temas factores siendo iguales, la capacidad neta de carga a través del espectro asignado.	Menores tiempos de guarda y otros factores brindan a AIReach una excelente eficiencia a 3.6 bits de carga/Hz. Permiten 45 Mbps en canales de 12.5 MHz.	Los mayores tiempos de guarda y otros factores limitan la eficiencia espectral comparado con sistemas FDD.
Rango de operación/cobertura.	Todos los demás factores siendo iguales, los sistemas FDD tienen una ventaja del 12% en rango y del 25% en cobertura sobre TDD.	Todos los demás factores siendo iguales, los sistemas TDD tienen una penalización de 3 dB en E_b/N_0 debido a la mayor velocidad de símbolos sobre el canal. Esto constituye una penalización inherente sobre el rango.

Table 6-1. Resumen comparativo de FDD en sistemas AIReach y TDD

Índice de comparación	Sistema AIReach FDD	Sistemas TDD
<i>Planeación y reutilización de frecuencias.</i> Dependen del diseño y de la ejecución del producto por parte del fabricante, y de aspectos de C/I.	El diseño y la ejecución de AIReach permiten la mejor reutilización de frecuencia de la industria. Debido a la separación de frecuencia en el uplink y en el downlink, los sistemas FDD ofrecen inherentemente la mejor protección contra interferencia.	Los sistemas TDD son más susceptibles a interferencia, y resultan en una pobre reutilización de frecuencias, en más "zonas muertas", y en una planeación más compleja. La sincronización del sistema mejora el rendimiento, pero limita la flexibilidad.

7.0 Conclusiones

Este Libro Blanco AIReach ha introducido conceptos relacionados con la administración del enlace aéreo utilizados en sistemas PMP, y ha examinado las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Se introdujo el FDMA, pero debido a que resultó insatisfactorio para aplicaciones PMP la discusión se centró en FDD y TDD.

Según se discutió en la introducción, tanto FDD como TDD son tecnologías ampliamente establecidas, cuyos méritos relativos son bien conocidos y comprendidos. Ambos sacan provecho de TDMA para la asignación dinámica de recursos de capacidad a través del conjunto de suscriptores. A pesar de que un sistema TDD adecuadamente diseñado puede presentar ventajas en ambientes de flujo de tráfico altamente asimétrico, el tráfico comercial es altamente simétrico, especialmente cuando se promedia sobre varios sitios, como ocurre en sistemas PMP. *Esta situación favorece a FDD, el cual también tiene importantes ventajas sobre TDD en prácticamente todas las categorías que afectan a los operadores.*

Cuando Hughes Network Systems, Inc. con una experiencia inigualada en sistemas de radio, consideró los enfoques de diseño disponibles para un sistema PMP, evaluó numerosas posibilidades de diseño, su conclusión fue la de que FDD con TDMA es la decisión clara para acceso inalámbrico de banda ancha para mercados comerciales. El producto resultante, AIReach, es actualmente reconocido como el sistema PMP que permite limitar los gastos de capital y de operación, protegiendo así la inversión en el espectro y aumentando las oportunidades de ingresos.

AIReach, AIRmatch, AIRange, y WINNING BY DESIGN son marcas (™) y marcas registradas (®) de Hughes Electronics Corporation (HUGHES).