

**El servicio fijo (SF) se define en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT como “servicio de radiocomunicaciones entre puntos fijos determinados”.**

## Sistemas de gran densidad de terminales en el Servicio Fijo<sup>(1)</sup>

Las radiocomunicaciones por ondas radioeléctricas son “ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3'000 GHz, que se propagan en el espacio sin guía artificial” (RR 1.5). En la Recomendación UIT-R F.592 figura una definición de las aplicaciones de gran densidad de terminales en el servicio fijo (HDFS) como “nivel significativo de instalaciones de sistemas punto a punto (P-P) o punto a multipunto (P-MP) en una zona determinada”. El SF fue históricamente el primer servicio utilizado en radiocomunicaciones y por ello dispone de un amplio abanico de bandas de frecuencias atribuidas en el RR que abarca todo el espectro, desde frecuencias tan bajas como 14 kHz hasta 275 GHz. Las radiocomunicaciones que empezaron utilizándose en las bandas de frecuencias inferiores fueron elevándose a medida que la tecnología lo permitía. La longitud del vano o alcance

máximo entre un transmisor y su receptor radioeléctrico asociado disminuye a medida que aumenta la frecuencia de operación del sistema. En particular, se exige la visibilidad directa transmisor-receptor a partir de unos 3 GHz.

En las bandas de frecuencias centimétricas (3 – 30 GHz) y superiores, los terminales transmisor-receptor asociados deberán estar muy próximos (corto alcance) a fin de compensar las condiciones desfavorables de propagación de las ondas radioeléctricas debidas al desvanecimiento ocasionado por las precipitaciones atmosféricas y la absorción debida al vapor de agua. No obstante, la utilización de esas bandas de frecuencias presenta numerosas otras ventajas que las hace idóneas para la implantación de sistemas HDFS, como son:

- la gran anchura de banda disponible y por tanto la posibilidad de ofrecer a los usuarios

una conexión a la red INTERNET de banda ancha;

- un menor tamaño del equipo e instalaciones, en particular una gran disminución del tamaño de las antenas; y
- condiciones de propagación difíciles, pero también eficaces para minimizar la interferencia mutua entre sistemas, facilitando su despliegue flexible en cualquier parte.

### APLICACIONES HDFS DE GRAN DENSIDAD DE TERMINALES

La instalación de sistemas del SF en bandas por encima de unos 17 GHz se inició con la transferencia de aplicaciones convencionales hacia bandas de frecuencia superior desde bandas de frecuencia más bajas, que estaban cerca de la saturación debido al gran número de sistemas instalados, o a la aparición de nuevas medidas reglamentarias más restrictivas. Por ejemplo, las bandas en 18 GHz, 23 GHz, 32 GHz y 38 GHz eran y son especialmente interesantes para aplicaciones de infraestructura móvil, que se encuentran en plena expansión, y que representan varias de las aplicaciones del SF convencionales en dichas bandas.

La creación de un entorno regulador favorable en muchos países, los avances en la tecnología integrada y los progresos en la desreglamentación de las telecomunicaciones estimularon un nuevo tipo de instalaciones en particular en las bandas milimétricas (30–300 GHz), el acceso inalámbrico HDFS de ban-

<sup>(1)</sup> HDFS : High-Density applications in the Fixed Service



da ancha, que sustituye y compite con el acceso por fibra óptica y cable.

Las aplicaciones HDFS se caracterizan como sigue:

- los terminales HDFS pueden instalarse en cualquier parte de una zona determinada, en función de la demanda;
- su despliegue puede hacerse rápidamente y es muy flexible para acomodarse a las necesidades;
- funcionamiento diverso como radiocomunicaciones punto a punto (P-P) o punto a multipunto (P-MP), o una combinación de ambas;
- ofrecen un elevado grado de reutilización de frecuencias debido a las condiciones de propagación;
- permiten la disminución del tamaño de la antena y dimensiones del terminal, a medida que se incrementa la frecuencia;
- menor coste por no tener necesidad de utilizar técnicas de mitigación de la interferencia producida por otros servicios, debido a las severas condiciones de propagación y su menor utilización actualmente respecto a otras bandas inferiores.

### Tecnologías y técnicas de comunicación para HDFS

Existen y siguen desarrollándose tecnologías para utilizar en las radiocomunicaciones en las bandas por encima de 20 GHz. Los últimos diseños, tal como el denominado MMIC (*Monolithic Microwave Integrated Circuits*, circuitos integrados monolíticos para microondas), han permitido utilizar las bandas, en particular entre 20 y 60 GHz, para

aplicaciones del tipo HDFS en el servicio fijo. Pueden encontrarse ya en el mercado componentes y dispositivos destinados a la producción masiva de equipos compactos a precios asequibles. Se espera que, para aumentar aún más la eficacia espectral y la flexibilidad de despliegue, los sistemas HDFS avanzados, empleen diversas técnicas que puedan incorporar distintas tecnologías dúplex (por ejemplo, FDD o TDD) y una "asignación dinámica" tanto de la velocidad binaria de transmisión, como del tipo de modulación, e incluso de la anchura del haz de la antena, en función de la demanda.

En un futuro próximo, algunos sistemas HDFS tendrán la capacidad funcional de canalización variable o flexible. Ésta es distinta de la solución tradicional para los sistemas de radiocomunicaciones de microondas, en los que se utiliza la separación fija entre radiocanales y la asignación previa de las frecuencias centrales de estos radiocanales. La canalización variable permitirá la transmisión de velocidades de datos variables, y hará posible la prestación de una diversidad de servicios simétricos y asimétricos a través de INTERNET, en función de las necesidades existentes; lo que constituye un importante factor en el crecimiento de los servicios radioeléctricos o inalámbricos.

### HDFS en bandas milimétricas (30 – 300 GHz)

Las bandas por encima de 30 GHz permiten un alto grado de reutilización de frecuencias gracias a las condiciones de propagación que las caracterizan. El número de sistemas del SF en

una determinada zona en estas bandas de frecuencia puede llegar a ser importante. Por ello los sistemas que operen en dichas bandas son idóneos para ampliar las infraestructuras de las zonas con gran densidad de población. Se prevén velocidades binarias de transmisión de hasta 310 Mbit/s e incluso mayores. Entre las aplicaciones más importantes en las bandas milimétricas cabe citar:

- el acceso inalámbrico fijo (FWA - *Fixed Wireless Access*), en particular;
- dar cabida a nuevos operadores de telecomunicaciones en mercados competitivos;
- ofrecer tecnologías alternativas para mejorar la actual infraestructura telefónica;
- ofrecer un mejor acceso y alternativas de servicio a usuarios particulares, residenciales y comerciales en servicios de telefonía, datos y multimedia;
- la implantación de infraestructura de red móvil para los sistemas actuales y los de nueva generación;
- otras aplicaciones que posiblemente no requieran atribuciones de frecuencias individuales en las bandas por encima de unos 60 GHz.

### DECISIONES DE LA CMR-2000 RELATIVAS A LOS HDFS

La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones cele-

brada en Estambul (Turquía) del 8 de mayo al 2 de junio del año 2000 (CMR-2000) identificó varios GHz de espectro para las aplicaciones HDFS por encima de 30 GHz, con el fin de aportar una solución para su desarrollo a escala mundial. Las decisiones adoptadas figuran en el RR de la UIT en forma de notas del artículo 5, y en las Resoluciones correspondientes las cuales incluyen las disposiciones reglamentarias que han de observarse en el despliegue de los HDFS en estas bandas. Además, en el cuadro 21-4 del RR se añaden límites provisionales de densidad de flujo de potencia (dfp) aplicables a los servicios espaciales que funcionan en dichas bandas, para proteger los sistemas HDFS. En particular, los resultados principales relativos a las aplicaciones HDFS figuran en: a) dos notas al pie de página (5.547 y la nueva 5.551AA), b) dos Resoluciones (Res. 75 y 84) sobre estudios de compartición, y c) en adiciones de límites provisionales de dfp para los servicios espaciales (cuadro 21-4) en las bandas de frecuencia compartidas con los sistemas HDFS.

La Nota 5.547 (MOD CMR-2000) establece que las siguientes 6 bandas de frecuencia por encima de 30 GHz estén disponibles para aplicaciones HDFS:

| Bandas de frecuencia (GHz) | Anchura de banda disponible (MHz) |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 31.8 – 33.4                | 1 600                             |
| 37 – 40                    | 3 000                             |
| 40.5 – 43.5                | 3 000                             |
| 51.4 – 52.6                | 1 200                             |
| 55.78 – 59                 | 3 220                             |
| 64 – 66                    | 2 000                             |

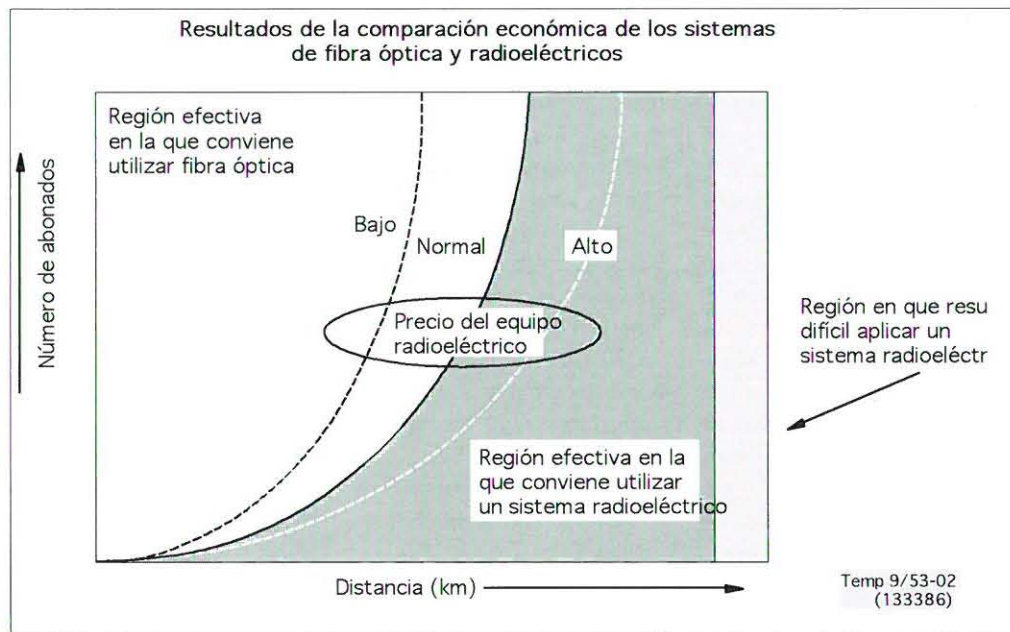


Fig. 2

## COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS HDFS Y LAS CONEXIONES DE FIBRA ÓPTICA EN LAS REDES DE ACCESO LOCAL

Un sistema de fibra óptica requiere trabajos de construcción a todo lo largo de la ruta de cable. En cambio, los sistemas radioeléctricos sólo requieren tales trabajos en las estaciones transmisora y receptora. Por esta razón, el coste de un sistema de fibra óptica es tanto mayor cuanto mayor es la distancia entre emplazamientos.

En la Fig. 2 puede verse el resultado de la comparación de costes. Según esta figura, para un mismo número de abonados, al aumentar la distancia disminuye el coste del sistema radioeléctrico con respecto a uno de fibra óptica. Asimismo, siendo la distancia la misma, los sistemas radioeléctricos resultan ventajosos cuando el número de abonados es reducido. Además, la zona aplicable en el caso de

los sistemas radioeléctricos se amplía considerablemente cuando aumenta la distancia.

Si sólo se toman en consideración los costes, cuanto mayor sea la distancia más se ampliará la zona aplicable del sistema radioeléctrico. No obstante, hay que tener en cuenta el hecho de que la distancia de propagación de los sistemas radioeléctricos que utilizan bandas de frecuencias por encima de unos 17 GHz queda limitada por la atenuación ocasionada por la lluvia. La necesidad de utilizar enlaces de múltiples saltos y corto alcance haría que resultasen más interesantes los sistemas de fibra, pero generalmente los sistemas de múltiples saltos son poco frecuentes en la zona de acceso local. En la práctica podría utilizarse una combinación de fibra óptica y transmisión radioeléctrica, según cuál sea el sistema más económico, eficaz y práctico para cada rama de la aplicación.

## Rapidez de establecimiento

Una de las características de los sistemas radioeléctricos es la rapidez con la cual pueden entrar en servicio. Los sistemas de fibra óptica exigen la instalación de cables de fibras entre los lugares donde deben suministrarse servicios de comunicación, lo cual conlleva largos periodos de construcción hasta que las líneas pueden entrar en servicio. En particular, si el tendido de la fibra óptica es subterráneo, el periodo de construcción aumenta considerablemente en comparación con su tendido en postes. Además en algunos casos no podrá instalarse fibra óptica debido a la imposibilidad de obtener derechos de paso.

Por el contrario, el plazo de puesta en servicio de los sistemas radioeléctricos es muy breve, ya que basta efectuar instalaciones en los emplazamientos donde hay que suministrar servicios de comunicación. Esto permite establecer circuitos incluso en unas

cuantas horas teóricamente. La planificación del enlace, la concesión de licencias y los procedimientos de autorización para disponer de emplazamientos aumentan en la práctica el plazo de conexión, no obstante, éste es bastante más corto que el de un enlace de fibra óptica.

La relativa facilidad de redistribución del equipo radioeléctrico es una de sus características interesantes. Los sistemas radioeléctricos transportables son más adecuados para establecer comunicaciones rápidas de emergencia en situaciones de catástrofe, de fallo de enlaces y cortes de los cables de fibra óptica.

## DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS HDFS

Los sistemas HDFS se utilizan para lograr conexiones directas a la red pública, en particular para usuarios con necesidades de una gran velocidad binaria, el denominado acceso local de banda ancha. A continuación incluyo dos ejemplos típicos de sistemas HDFS, respectivamente en las bandas en 39 GHz y 32 GHz.

### HDFS en la banda 38,6 a 40 GHz (1'400 MHz de anchura de banda)

Una red HDFS existente que proporciona acceso local de banda ancha a los usuarios en la banda 38,6 a 40 GHz se muestra en la Fig. 3. Esta red HDFS fue instalada hace ya varios años con un gran éxito en varias ciudades de EE.UU. para la conexión a la red pública de telecomunicaciones de abonados con necesidad de transmisiones de gran velocidad, es decir: a) red de conexión radioeléctrica.

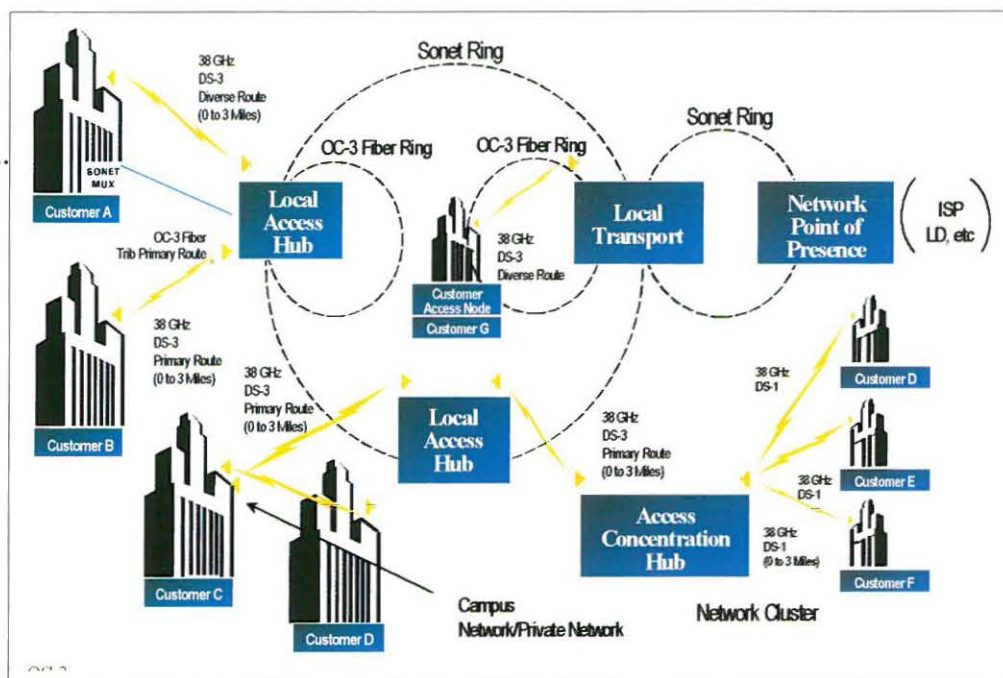


Fig. 3. Ejemplo representativo de despliegue de HDFS en zonas urbanas de EE.UU

trica directa, que a su vez se interconecta con la red de fibra óptica existente, o b) radioenlaces de diversidad para el caso de avería en la fibra óptica, en paralelo con la red existente de fibra óptica ya instalada.

Velocidades binarias:  
DS-1 = 1,544 Mbit/s;  
OC-3 = 155 Mbit/s;  
DS-3 = 44,736 Mbit/s

Hub Station: Estación central o de concentración de tráfico  
SONET: Red óptica síncrona (*Synchronous Optical Network*)  
ISP: proveedor de servicios INTERNET (*Internet Service Provider*)  
LD: conexión de larga distancia (*Long Distance*)

#### HDFS en la banda 31,8 a 33,4 GHz (1'600 MHz de anchura de banda)

La banda 31,8-33,4 GHz recientemente identificada para aplicaciones HDFS por la CMR-2000, ofrece ventajas de propagación cuando se trata de sistemas HDFS en otras bandas por encima de 30 GHz: pueden conseguirse tramos de mayor longitud que abaratan la implementación en las zonas de mercados dispersos y, por otra parte, utilizar enlaces troncales de gran capacidad en

las zonas densas. Estas características son más pronunciadas en las regiones tropicales del mundo, que presentan elevados índices de pluviosidad, tales como las zonas hidrometeorológicas N y P del UIT-R. En dichas regiones, los sistemas HDFS que funcionen por encima de 40 GHz tendrían fuertes limitaciones en las longitudes de tramos admisibles, haciendo muy difícil su instalación para muchas de las aplicaciones previstas. Además esta banda proporciona 1 600 MHz de espectro contiguo, que resulta idóneo para la prestación de servicios de banda ancha mediante sistemas P-P y P-MP. La Recomendación F.758 contiene las características de los sistemas HDFS, punto a punto y punto a multipunto que utilizan la banda de frecuencias 31,8-33,4 GHz. Las longitudes de los tramos pueden alcanzar valores de 14 km con sistemas P-P y de hasta 7 km con sistemas P-MP dependiendo de los criterios de disponibilidad, de la zona hidrometeorológica y de la capacidad de transmisión.

La banda en 32 GHz ha sido objeto de estudios de compar-

tación de frecuencias con otros servicios radioeléctricos, en particular con el servicio de radionavegación aeronáutica, que figuran en la Recomendación UIT-R F.1570.

#### RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los sistemas HDFS constituyen actualmente una aplicación preferente del SF, relativamente nuevas y en constante crecimiento para cubrir las necesidades de los usuarios en materia de fiabilidad y rapidez de instalación de banda ancha con conexión a INTERNET. Tras definir el concepto HDFS, se han descrito temas tales como sus posibles aplicaciones, tecnologías a utilizar para su implementación, nuevas bandas de frecuencias designadas para HDFS por la CMR-2000 y se ha descrito también un estudio comparativo de costes con respecto a los cables de fibra óptica. Dos ejemplos concretos de funcionamiento en las bandas en 32 GHz y 39 GHz han sido también incluidos.

Las interrupciones por causa de la lluvia son la principal causa de indisponibilidad en las bandas por encima de unos 20 GHz. Las aplicaciones radioeléctricas,

incluidas las HDFS, tienen que satisfacer unas exigencias de disponibilidad cuyos valores típicos se encuentran entre el 99,99% y el 99,999% anual. Cada operador definirá individualmente los criterios en función de la importancia del tráfico transmitido, el servicio en cuestión y la clasificación dentro del trayecto de referencia según las Recomendaciones UIT-T y UIT-R pertinentes.

El término "gran densidad de terminales" no se refiere a una aplicación, servicio o banda particulares del SF, sino que describe el fenómeno de maximizar la densidad de despliegue, la eficacia espectral y la reutilización de frecuencias en el SF. A menudo, los factores de densidad concentrada de despliegue, reutilización del espectro y eficacia espectral son más acusados en las bandas superiores, debido a las condiciones de propagación más favorable. La utilización del término "gran densidad" puede también aplicarse de la misma manera a cualquier otro servicio radioeléctrico, y en particular también se prevé en el servicio fijo por satélite (SFS). Estudios de compartición cofrecuencia entre el SF y el SFS se han efectuado en el Grupo Mixto de Trabajo 4-9S de conformidad con la Resolución 84 (CMR-2000) titulada "Límites de densidad de flujo de potencia en la banda 37,5 a 42,5 GHz para el servicio fijo por satélite, el servicio de radiodifusión por satélite y el servicio móvil por satélite".

**Lorenzo Casado Tarancón**

- Ingeniero Superior de Telecomunicaciones
- Consejero del UIT-R, Comisión de Estudio 9