

Unión Internacional de Telecomunicaciones

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R F.1332-1**  
(05/1999)

**Transporte de señales radioeléctricas  
por fibras ópticas**

**Serie F**  
**Servicio fijo**



Unión  
Internacional de  
Telecomunicaciones

## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	<b>Servicio fijo</b>
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## RECOMENDACIÓN UIT-R F.1332-1\*,\*\*

**TRANSPORTE DE SEÑALES RADIOELÉCTRICAS POR FIBRAS ÓPTICAS**

(Cuestión UIT-R 204/9)

(1997-1999)

**Cometido**

La presente Recomendación versa sobre el transporte de señales radioeléctricas por fibras ópticas. El texto se ha ampliado considerablemente con la incorporación del concepto de sistema híbrido radioeléctrico-óptico (HFR). Se ha añadido información sobre el HFR, la configuración del sistema, la aplicación de servicio y la tecnología de transmisión a frecuencia intermedia. Además, se ha introducido la técnica de compresión del nivel de la señal para mejorar la gama dinámica del enlace óptico.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que las fibras ópticas se utilizan ampliamente en las redes de abonado o en el cableado de los edificios;
- b) que el transporte de las señales radioeléctricas por medio de fibras ópticas se puede utilizar en los enlaces de acceso a las estaciones radioeléctricas de base en muchas aplicaciones inalámbricas;
- c) que se espera que la utilización de sistemas radioeléctricos de fibra híbridos (HFR) presente las siguientes ventajas:
  - la instalación intensiva de moduladores y demoduladores y otros equipos funcionales en una terminación de línea óptica en frente de un sistema de línea de alimentación óptica contribuye a simplificar el equipo en las unidades de antenas distantes, así como a reducir los costos de mantenimiento y explotación;
  - la utilización eficaz de la anchura de banda espectral disponible en el radioenlace;
- d) que la técnica mencionada permite la reducción del equipo en la estación radioeléctrica de base;
- e) que la técnica mencionada presenta ventajas en lo que se refiere al mantenimiento y la explotación,

*recomienda*

- 1** que para la configuración básica de un sistema HFR en el que las señales radioeléctricas se transportan directamente por fibras ópticas se tome como referencia la Fig. 1;
- 2** que para las posibles aplicaciones en el servicio fijo que utilizan un sistema HFR se tome como referencia el Cuadro 1;
- 3** que cuando se utilizan bandas de alta frecuencia por encima de unos 10 GHz, la frecuencia central de un modulador puede seleccionarse en las bandas de frecuencia intermedia;
- 4** que para la configuración de referencia de un sistema HFR entre nodos de servicio y redes en los locales del cliente se tome como referencia la Fig. 2. Ésta concuerda con la configuración de referencia para redes de acceso ópticas de la Recomendación UIT-T G.983. Para la interoperabilidad del sistema se define el radioenlace de acceso óptico híbrido entre los puntos de referencia V y T o entre la interfaz de nodo de servicio y la interfaz de red de usuario, y comprende los siguientes bloques funcionales:
  - terminación de línea óptica, red de distribución óptica y unidad de antena distante (Parte 1) en el segmento de distribución óptica; y
  - unidad de antena distante (Parte 2), medio de derivación por radioenlace y unidad de antena de terminación;

---

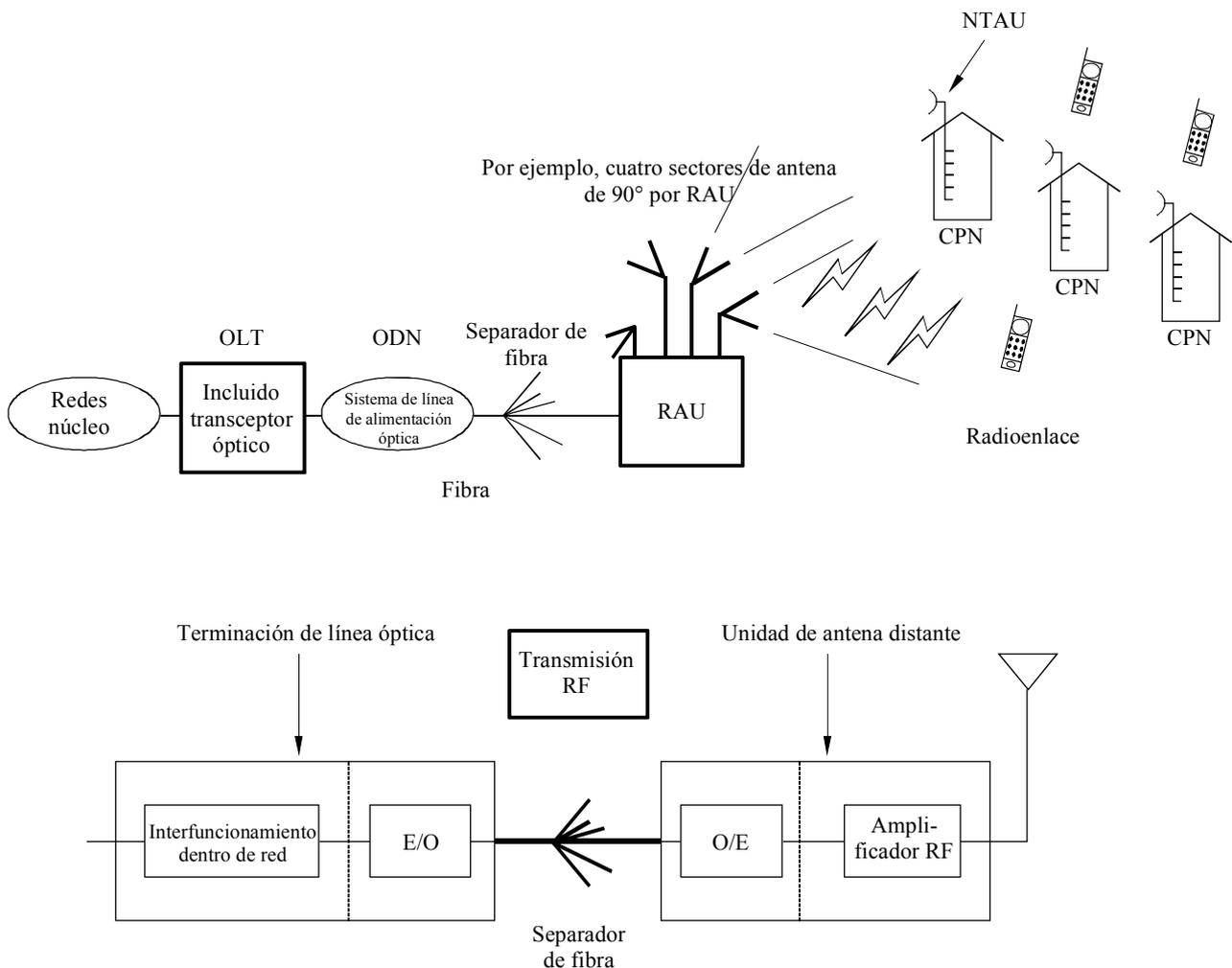
\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 15 de Normalización de las Telecomunicaciones (Grupo de Trabajo 4/15).

\*\* La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones introdujo cambios de edición en la presente Recomendación en diciembre de 2009, con arreglo a lo dispuesto en la Resolución UIT-R 1.

Para permitir la compatibilidad de sistema transversal (punto medio del tramo), se recomiendan puntos de referencia adicionales (interfaces) dentro del radioenlace de acceso de fibra híbrido:

- Puntos de referencia ópticos:  $O_1$  entre la terminación de línea y la red de distribución óptica,  $O_T$  entre la red de distribución óptica y la unidad de antena distante (de acuerdo con la Recomendación UIT-T G.982),
  - Puntos de referencia radioeléctricos:  $R_1$  entre la unidad de antena distante y el radioenlace del medio de derivación,  $R_2$  entre el radioenlace del medio de derivación y la unidad de antena de terminación de red; unidad de antena distante y el radioenlace medio de derivación,  $R_2$  entre el radioenlace del medio de derivación y la unidad de antena de terminación de red;
- 5 que para el diseño de sistemas HFR se debe hacer referencia a la información técnica recogida en el Anexo 1 para orientación adicional en la aplicación de esta Recomendación.

FIGURA 1  
Configuración básica del sistema HFR



Véanse las abreviaturas en el § 2 del Anexo 1.

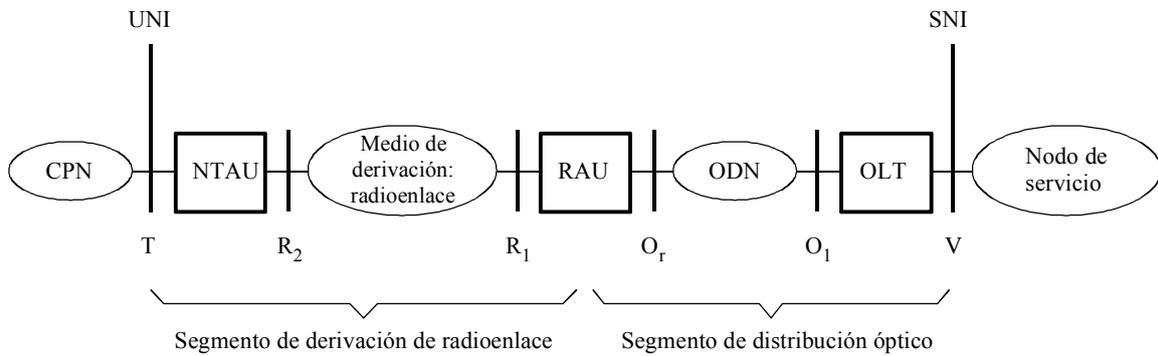
CUADRO 1  
Posibles aplicaciones en el servicio fijo de sistemas HFR

Área de servicio	Interiores	Exteriores	
Aplicación	RRAL	FWA	Servicio transportable
Terminal de usuario	Módulo RAL	Terminal de sistema celular para utilización fija punto-a-punto/punto-a-multipunto	Terminal vídeo/datos/voz transportable
Radiofrecuencia posible <sup>(1)</sup>	Ondas decimétricas/centimétricas/milimétricas	Ondas decimétricas/centimétricas/milimétricas	Ondas centimétricas/milimétricas
Plan de acceso en el enlace radioeléctrico	AMDT/AMDC/AMDF	AMDT/AMDC/AMDF	AMDT/AMDC/AMDF

(1) Ondas decimétricas: 300-3 000 MHz.  
 Ondas centimétricas: 3-30 GHz.  
 Ondas milimétricas: por encima de 30 GHz.

Véanse las abreviaturas en el § 2 del Anexo 1.

FIGURA 2  
Configuración de referencia de enlace de acceso HFR



Véanse las abreviaturas en el § 2 del Anexo 1.

## ANEXO 1

## 1 Introducción

En los futuros servicios (interactivos) de banda ancha, las fibras ópticas se introducirán ampliamente en las redes de abonado, llevando a la práctica el concepto de fibra hasta el reborde (FTTC), fibra hasta la oficina (FTTO) o fibra hasta el hogar (FTTH). Por otra parte, los clientes pueden desear utilizar varios servicios proporcionados por diferentes redes de núcleo también en aplicaciones inalámbricas debido a la creciente demanda y competencia, la falta de anchura de banda disponible o a un despliegue rápido y rentable. Estas aplicaciones incluyen los terminales de datos/vídeo/voz transportables FWA o los computadores personales transportables empleados en los módulos de la red radioeléctrica de área local (RRAL). Con el fin de hacer frente a esta demanda, convendría introducir sistemas HFR en los que las señales radioeléctricas se transmitan directamente a través de fibras ópticas.

En este Anexo se aborda el concepto básico y sus fundamentos técnicos de sistemas HFR.

## 2 Abreviaturas

AMDC	Acceso múltiple por división de código
AMDF	Acceso múltiple por división de frecuencia
AMDT	Acceso múltiple por división de tiempo
C/N	Relación portadora/ruido
CAG	Control automático de ganancia
CPN	Red en locales de clientes ( <i>customer premises network</i> )
DDT	Dúplex por división de tiempo
E/O	Conversión eléctrica a óptica
FI	Frecuencia intermedia
FTTC	Fibra hasta el reborde ( <i>fibre to the curb</i> )
FTTH	Fibra hasta el hogar ( <i>fibre to the home</i> )
FTTO	Fibra hasta la oficina ( <i>fibre to the office</i> )
FWA	Acceso inalámbrico fijo ( <i>fixed wireless access</i> )
HFR	Sistema radioeléctrico de fibra híbrido ( <i>hybrid fibre-radio</i> )
IM	Intermodulación
LD	Diodo láser ( <i>laser diode</i> )
MF	Modulación de frecuencia
NTAU	Unidad de antena de terminación de red ( <i>network termination antenna unit</i> )
ODN	Red de distribución óptica ( <i>optical distribution network</i> )
O/E	Conversión óptica a eléctrica
OLT	Terminación de línea óptica ( <i>optical line termination</i> )
RAL	red de área local
RAU	Unidad de antena distante ( <i>remote antenna unit</i> )
RF	Radiofrecuencia
RRAL	red radioeléctrica de área local
SEFA	Extracción de señal y disposición de frecuencias ( <i>signal extraction and frequency arrangement</i> )
SLC	Compresión del nivel de la señal ( <i>signal level compression</i> )
SNI	Interfaz de nodo de servicio ( <i>service node interface</i> )
UNI	Interfaz de red de usuario ( <i>user network interface</i> ).

### 3 Configuración básica de los sistemas HFR

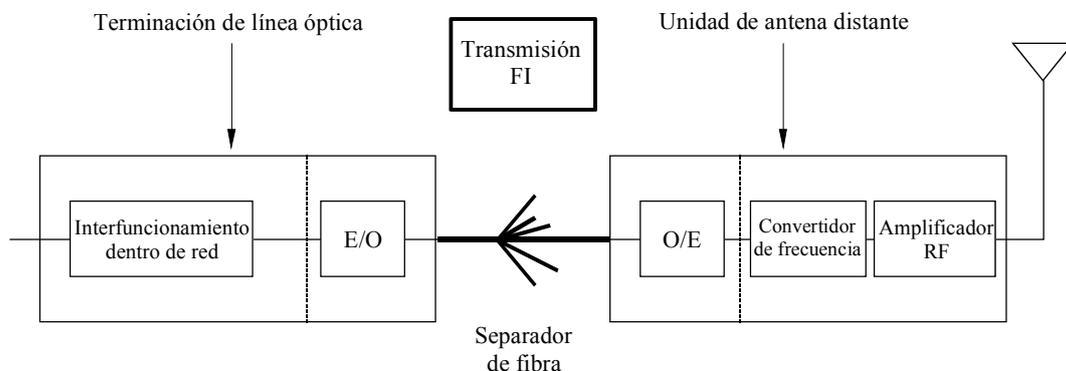
Como se muestra en las Figs. 1 y 2, un sistema HFR se compone de OLT, ODN, RAU, NTAU y de enlaces de fibra/radioeléctricos que conectan estas estaciones. Puede constituir una infraestructura para redes de acceso que proporcionan servicios inalámbricos a la red en el local del cliente que puede incluir muchos terminales diferentes.

En los equipos radioeléctricos digitales convencionales, generalmente se instala en la misma estación un modulador/demodulador y un amplificador de potencia. Sin embargo, en los sistemas HFR, la OLT y la RAU comprenden muchas funciones de interfuncionamiento dentro de la red que suelen utilizarse para más de una RAU (véase la Fig. 1) dependiendo del factor de separación de la ODN. Como ejemplos de estas funciones de interfuncionamiento dentro de la red cabe citar: modulación/demodulación, multiplexación/demultiplexación, funciones de control y funciones de corrección de errores, éstas últimas son necesarias principalmente debido a la peor calidad de transmisión del radioenlace (comparada con la transmisión por fibra óptica). El sistema presentado en la Fig. 1 requiere una técnica de acceso múltiple para hacer frente a la demanda de tráfico hacia el origen procedente de muchos terminales de clientes. La OLT dispone asimismo de una función para controlar eficazmente la técnica de acceso utilizando el espectro de frecuencias. En estos casos, la relación entre la OLT y la RAU corresponde a la de los sistemas radioeléctricos punto a multipunto de las redes de abonado. Si las señales de radiofrecuencia ya son transportadas ópticamente por ODN, todas estas funciones están situadas en la OLT y las RAU conectadas a una OLT se mantienen pequeñas y simples (véase la parte inferior de la Fig. 1).

No obstante, existe un límite técnico superior para la radiofrecuencia transmitida por fibra óptica, debido a la velocidad de funcionamiento del convertidor E/O (y el O/E). Cuando se necesite un convertidor E/O (y un O/E) económico para utilizar los sistemas HFR, podría convenir una transmisión por FI ya que el convertidor E/O (y el O/E) económico funciona en las bandas FI. Tras haber sido transmitidas a través del enlace de fibra óptica, las portadoras FI se convierten en radiofrecuencias en la RAU (véase la Fig. 3).

FIGURA 3

#### Transmisión FI en un sistema HFR



1332-03

Otra razón para utilizar FI es que el filtrado de radiocanales de transmisión (anchura de banda de varias decenas de MHz) es mucho más fácil y menos costoso en la gama FI que permite seleccionar los canales en cada RAU. En este caso, sólo se enviarán los datos pertinentes de una RAU específica incluso si la línea de alimentación óptica incluye una red de distribución óptica pasiva. En los demás casos, se desperdiciaría la anchura de banda limitada del medio de transmisión compartido «aire». Si no es posible el filtrado de los canales FI/RF, cada RAU podría ser direccionada mediante funciones de encaminamiento ópticas en el sistema de alimentación óptico junto con las funciones de filtro óptico dentro de la RAU o mediante una línea de alimentación de fibra punto a punto para mantener la RAU menos compleja. El encaminamiento óptico o la conexión de fibra punto a punto se pueden necesitar también debido a tasas de tráfico elevadas, pues una RAU tiene que servir a más de 10 000 abonados con un número cada vez mayor de servicios de banda ancha en el futuro lejano.

#### 4 Aplicación de los sistemas HFR

En la Fig. 4 se ilustran dos aplicaciones específicas de los sistemas HFR. En la Fig. 4a) una RAU funciona como módulo central de una RLAN que funciona en las distintas oficinas, mientras que la OLT controla la asignación de los canales radioeléctricos utilizados por todas las RAU. Como se muestra en esta figura, los sistemas HFR presentan las siguientes ventajas:

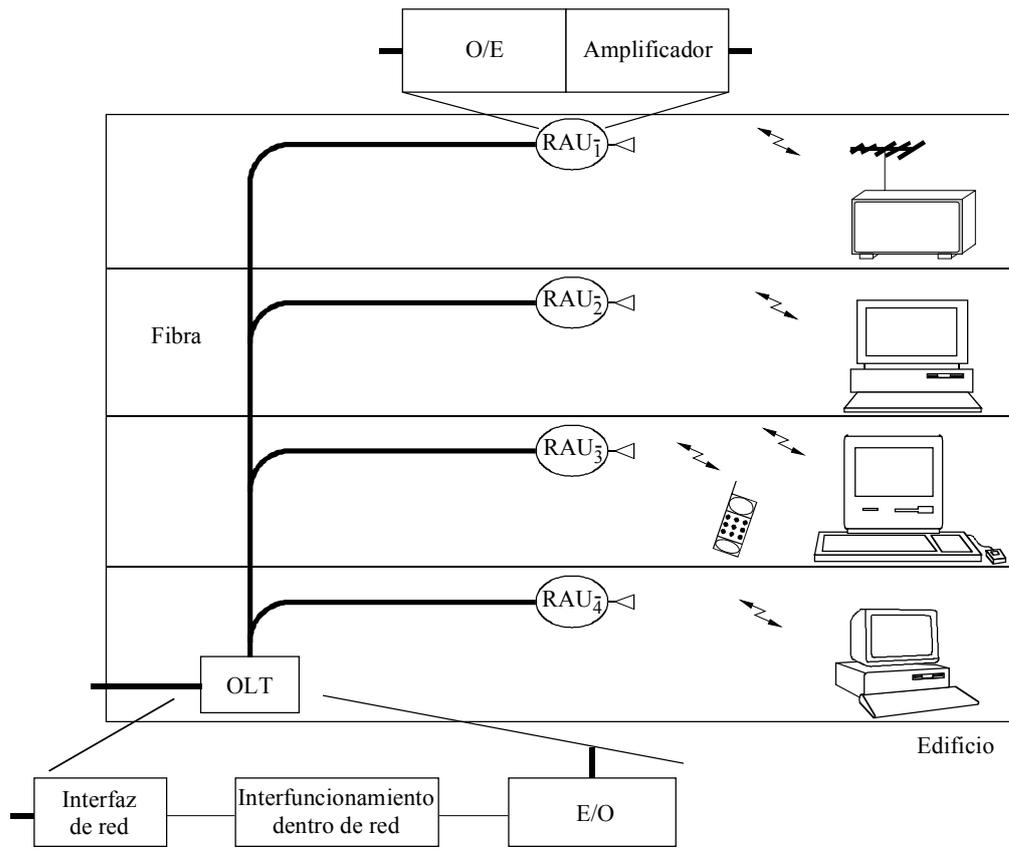
- como el modulador/demodulador está separado del amplificador de potencia en este sistema, el equipo de la RAU es más pequeño. Por consiguiente, pueden reducirse los esfuerzos de selección de la ubicación de las RAU;
- los equipos de la OLT, como las interfaces de red y las unidades de servicios que proporcionan servicio vocal, servicio paquetes digital, etc. se encuentran todos en una sola oficina. Por ello, la labor de mantenimiento y sustitución del equipo se realiza eficazmente en poco tiempo.

La Fig. 4b) ofrece un ejemplo de aplicaciones en exterior. Una RAU proporciona enlace de acceso inalámbrico a las distintas viviendas que cubre el servicio. La función de la OLT es casi la misma que en los sistemas de interiores y también cabe esperar en esta aplicación las ventajas anteriormente mencionadas. En los sistemas convencionales, habida cuenta de que el equipo radioeléctrico se instala normalmente en un poste alto, es inevitable que exista cierto peligro en los trabajos de mantenimiento. Sin embargo, en los sistemas HFR, pueden reducirse en gran medida dichos trabajos.

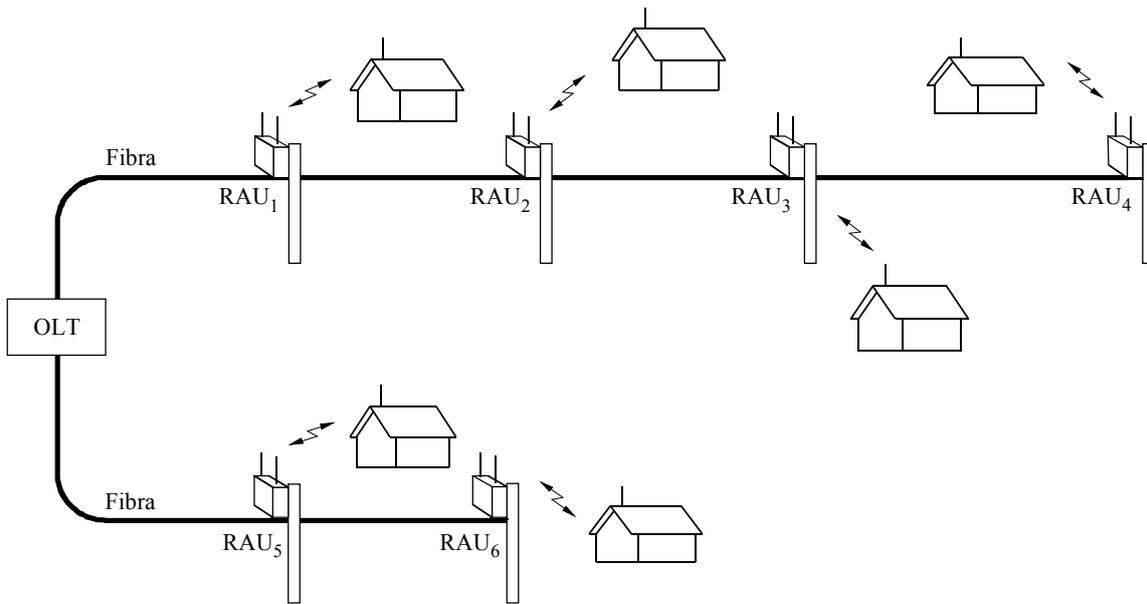
Se considera que esta aplicación exterior sea una extensión inalámbrica de los últimos 100 m (o en algunos casos los últimos 10 m) de FTTH. Si es posible explotar las bandas de ondas milimétricas por encima de 30 GHz para este uso, el sistema HFR podrá tener una capacidad de hasta 150 a 600 Mbit/s por portadora. Se supone que cada RAU tiene un radio de zona del orden de 300 m para mejorar la eficacia de utilización de la frecuencia y para reducir la potencia del transmisor.

Cuando se utilizan ondas milimétricas, hay que tener en cuenta la atenuación debida a la lluvia. El CAG en la estación de base (RAU) funciona como una medida preventiva efectiva, en particular para el sentido del enlace ascendente (NTAU a RAU), pues el ruido en la sección de fibra óptica puede ser suprimido por la señal RF de entrada con nivel constante.

FIGURA 4  
Ejemplos de aplicaciones que utilizan sistemas HFR



a) Aplicación en interiores



b) Aplicación en exteriores

## 5 Ejemplos de realización

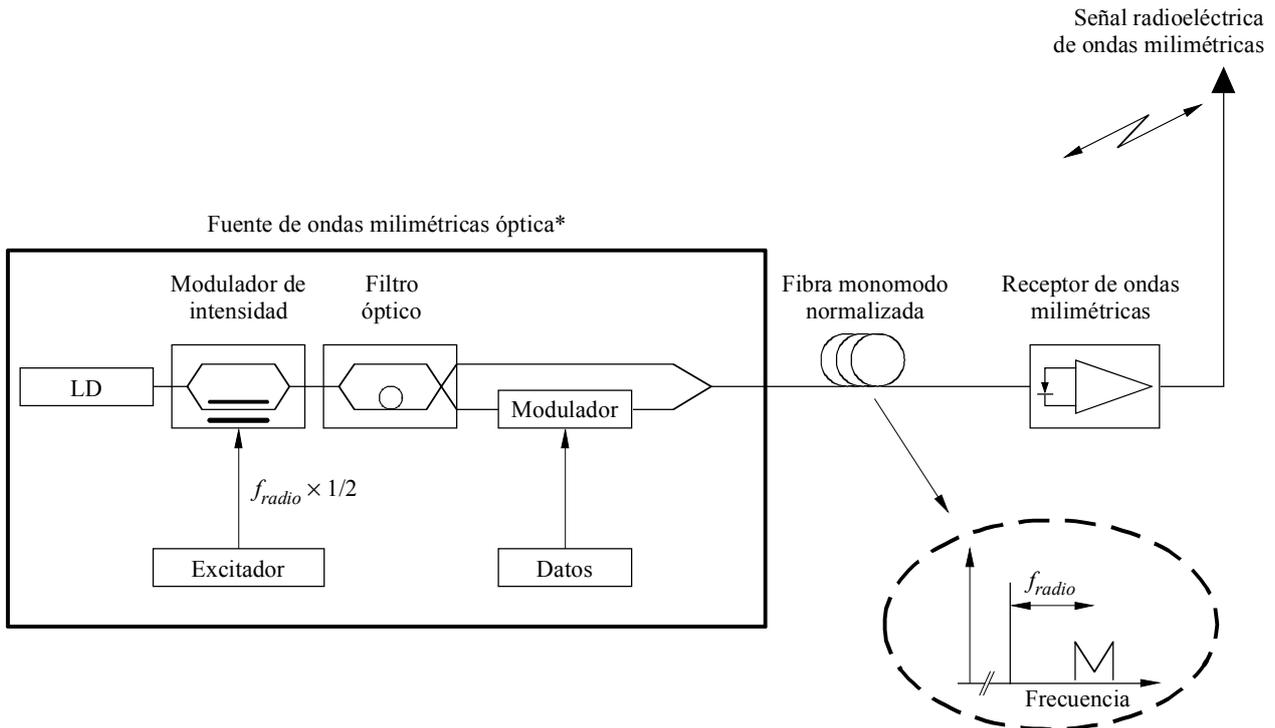
Los sistemas HFR suelen utilizar una técnica de multiplexación de subportadoras. En la parte del convertidor E/O, varias salidas de los moduladores con diferentes frecuencias se multiplexan en el combinador. A continuación, la señal combinada compuesta de varias subportadoras modula directamente el diodo de láser (LD). Así, las subportadoras pueden transmitir simultáneamente a través de la fibra óptica. El diodo de láser produce una señal óptica modulada cuya intensidad es proporcional a la corriente eléctrica de entrada. La frecuencia máxima está limitada por las características del LD.

En el sentido opuesto, un fotodiodo situado en el convertidor O/E convierte la potencia óptica recibida en potencia eléctrica, con una respuesta lineal. Cada canal radioeléctrico deseado es separado tras la fotodetección.

La modulación directa del diodo láser con la señal de radiofrecuencia combinada sólo permite longitudes limitadas de la línea de alimentación de fibra, debido a la pérdida óptica y a la dispersión cromática. Este último factor puede ser compensado suficientemente por la utilización de un amplificador óptico. El problema causado por este factor puede ser eliminado por medio del heterodino, donde dos portadoras ópticas separadas por la radiofrecuencia son transportadas por fibra (véase la Fig. 5). En este caso una portadora óptica se utiliza como oscilador local para la aplicación de la técnica heterodina en la RAU y la otra portadora lleva el tren de información. Con este método se puede lograr longitudes de la línea de alimentación de hasta 100 km, dependiendo de las velocidades de datos y de la calidad de transmisión. Asimismo, la radiofrecuencia no está limitada por la anchura de banda de modulación del LD en este caso. Sin embargo, la utilidad de esta técnica heterodina de la fuente de ondas milimétricas depende de las características del filtro óptico.

FIGURA 5

**Fuente de ondas milimétricas de heterodino (fuente de frecuencia doble, modulación de doble banda lateral)**



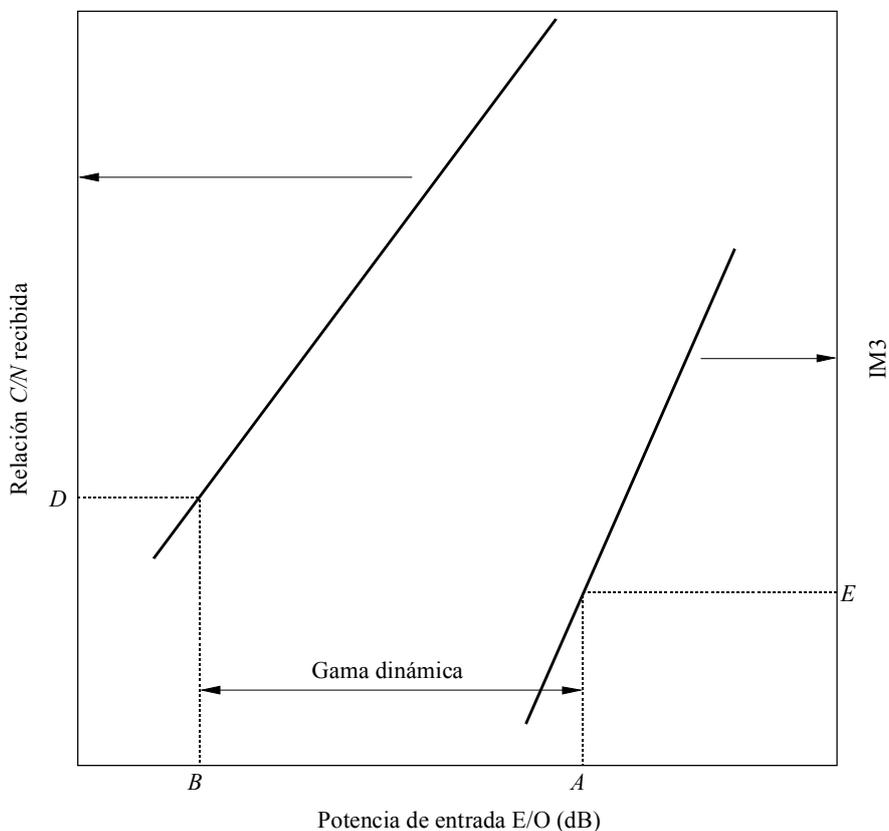
\* Éste es un ejemplo de realización de una fuente de ondas milimétricas. Existen diseños alternativos, por ejemplo, técnicas de bloqueo por inyección láser.

Para las aplicaciones microcelulares exteriores, la potencia de señal recibida es objeto de un desvanecimiento lento y disminuye de acuerdo con la conocida ley de la cuarta potencia inversa entre una RAU y un terminal inalámbrico. Cuando un terminal móvil pierde la condición de línea de visibilidad directa, la señal recibida decae bruscamente debido a la pérdida por difracción.

Habida cuenta de que en el receptor de la RAU se reciben normalmente dos o más señales con niveles bastante diferentes, resulta difícil seleccionar una ganancia adecuada para todas las señales. Por tanto, para el enlace ascendente (de la RAU a la OLT) un sistema HFR precisa una amplia gama dinámica. Este aspecto se denomina problema cercanía/lejanía. La gama dinámica viene limitada por el ruido y la no linealidad del enlace en su conjunto. Es importante mejorar la no linealidad de los dispositivos ópticos, así como el equipo radioeléctrico.

La no linealidad del convertidor E/O determina principalmente el límite superior del nivel de entrada del convertidor E/O. En la Fig. 6 el nivel de entrada de *A* produce el máximo nivel IM3 admisible de *E*. Por otra parte, el límite inferior del nivel de entrada del convertidor E/O viene definido por la relación *C/N*, *D* necesaria correspondiente al nivel de *B*. En este caso, la gama dinámica del convertidor E/O viene definida por (*A - B*) dB.

FIGURA 6  
Gama dinámica del enlace de fibra

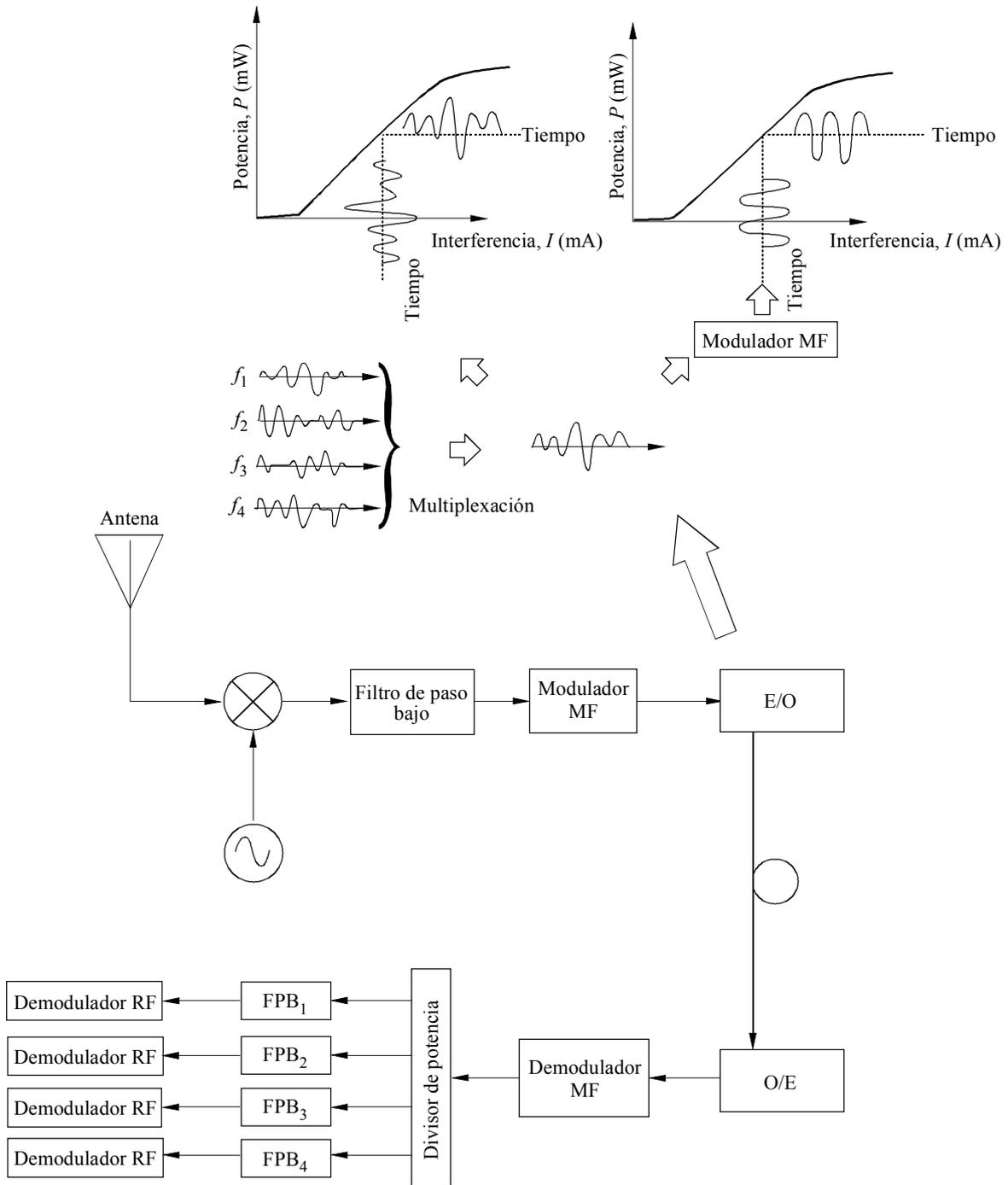


*D*: *C/N* requerida (nivel de umbral)  
*E*: máximo nivel IM3 admisible

1332-06

Se ha propuesto una técnica de mejora que utiliza un modulador MF para incrementar la gama dinámica. En la Fig. 7 se ilustra esquemáticamente este método. Al utilizar el método convencional, es probable que la portadora de bajo nivel se vea afectada por la interferencia IM3 debida a la no linealidad. En cambio, el nivel de señal de entrada al convertidor E/O se mantiene constante utilizando un modulador MF. Aunque la anchura de banda de la señal MF varía en función de la frecuencia más alta y la tensión de cresta de la señal de modulación, la corriente inyección de cresta del LD es casi fija.

FIGURA 7  
Esquema de la técnica MF para el enlace ascendente

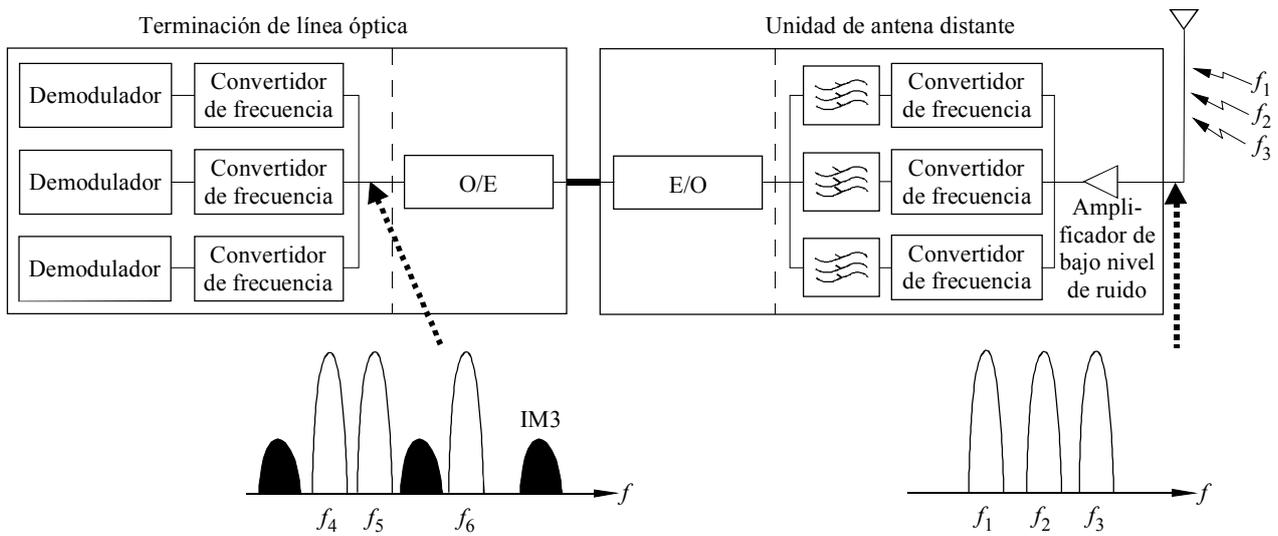


FPB: filtro paso banda.

1332-07

También se ha propuesto la extracción de la señal y la disposición de frecuencias (SEFA) en la fibra como modo de incrementar la gama dinámica, como se muestra en la Fig. 8. En esta técnica, las señales no deseadas procedentes de otras células son eliminadas antes de la modulación óptica. Extrayendo las señales deseadas cuyas frecuencias son  $f_1, f_2$  y  $f_3$  en la RAU, y convirtiendo a continuación sus frecuencias en  $f_4, f_5$  y  $f_6$  respectivamente, la señal de tipo bitonal de IM3,  $2f_2 - f_1$ , no puede interferir con la señal de  $f_3$ . Las señales con conversión de frecuencia modulan el LD. Por supuesto, cada potencia de señal extraída puede ajustarse mediante un CAG o un limitador. Habida cuenta de que puede no tenerse en cuenta la no linealidad del LD, la SEFA puede aumentar el índice de modulación para mejorar la  $C/N$ .

FIGURA 8  
Principio de la técnica de SEFA

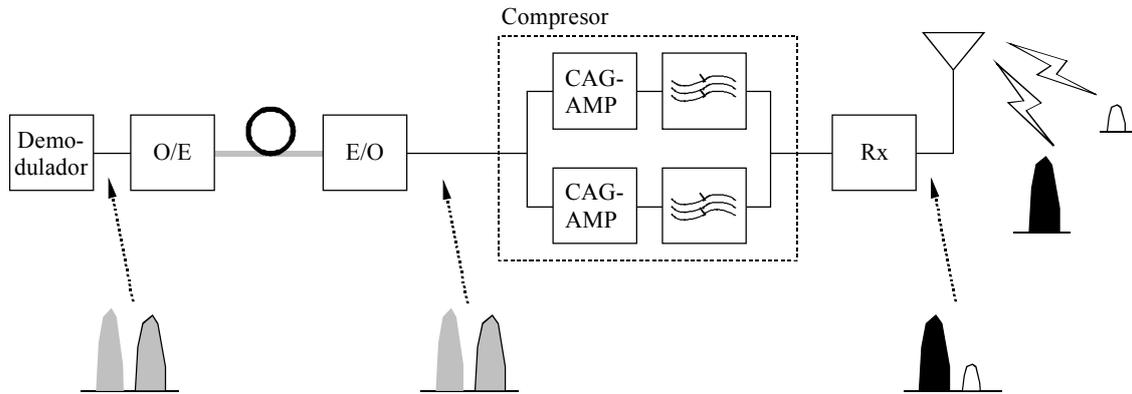


1332-08

La pérdida óptica admisible debe determinarse teniendo en cuenta la pérdida de los conectores ópticos de manera que pueda cumplirse la característica de la relación  $C/N$  total de acuerdo con los diferentes esquemas de modulación radioeléctrica. El retardo de la fibra entre una OLT y las RAU es uno de los parámetros clave, en particular en el caso de los sistemas AMDT-DDT (dúplex por división en tiempo). Una señal radioeléctrica es retardada por la transmisión por fibra aproximadamente unos  $5 \mu\text{s}/\text{km}$  en el caso de una fibra monomodo compatible con las Recomendaciones UIT-T G.652, UIT-T G.653 o UIT-T G.655. Este retardo en el enlace bidireccional puede superar el intervalo de guarda entre el tiempo de transmisión y recepción.

Como se muestra en la Fig. 9, se ha propuesto la técnica de compresión del nivel de la señal (SLC) para mejorar la gama dinámica del enlace óptico. En esta técnica, el compresor, que está compuesto de amplificadores de control automático de ganancia (CAG-AMP) o limitadores y filtros paso banda, se coloca en frente de E/O. El valor de ganancia más alto del compresor podría ser ajustado si se recibe una señal de nivel más bajo en la antena. La relación  $C/N$  recibida en la O/E depende principalmente del nivel de entrada de E/O que es equivalente a la ganancia del compresor. La alta ganancia del compresor mitiga el factor de ruido del enlace óptico causado por influencia de la pérdida óptica y del factor de ruido en el receptor óptico. Por consiguiente, el uso de la técnica SLC mejora la relación  $C/N$  recibida en la O/E para las señales de bajo nivel recibidas en las antenas. Disminuye también el nivel E/O de entrada mínimo para la relación  $C/N$  requerida y mejora la gama dinámica. Además, cabe esperar que mejore la gama dinámica de SLC combinada con SEFA porque el nivel IM3 admisible máximo causado por la intermodulación es insignificante, como se examina anteriormente.

FIGURA 9  
Técnica de SLC para el enlace ascendente



- Señal recibida en la antena (nivel más bajo)
- Señal recibida en la antena (nivel más alto)
- Señales recibidas a través de la fibra óptica