



---

# INFRAESTRUCTURAS DE TELECOMUNICACIONES PARA LA MILLA DIGITAL DE ZARAGOZA

---

Zaragoza, octubre de 2005

Autor/es: Ignacio Alastruey Benedé  
Juan Chóliz Muniesa  
Ignacio Garcés Gregorio  
José Antonio Lázaro Villa  
Antonio Valdovinos Bardají

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón  
Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones y  
Grupo de Tecnologías Fotónicas  
Universidad de Zaragoza

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Red Troncal</b>	<b>3</b>
2.1	Consideraciones iniciales	3
2.1.1	Consideraciones sobre la red	3
2.1.2	Consideraciones sobre el tráfico	4
2.1.3	Consideraciones sobre la oportunidad	4
2.1.4	Consideraciones sobre la capacidad	4
2.1.5	Consideraciones sobre la titularidad de la red	5
2.2	Tecnologías de red troncal en entornos ‘Metro’	6
2.3	Infraestructura de comunicaciones de la red troncal	9
2.3.1	Edificio de Telecomunicaciones Milla Digital	9
2.3.2	Red troncal de fibra óptica	10
<b>3</b>	<b>Red de acceso</b>	<b>14</b>
3.1	Red de acceso basada en cable	14
3.1.1	Tecnologías de red de acceso basadas en cable	14
3.1.2	Infraestructura de comunicaciones de la red de acceso	19
3.1.3	Redes PLC	20
3.2	Red de acceso basada en tecnologías inalámbricas	24
3.2.1	Tecnologías inalámbricas para la red de acceso	24
3.2.2	Infraestructuras de comunicaciones móviles celulares	26
3.2.3	Radio sobre fibra	34
3.2.4	Infraestructuras para el despliegue de redes WIMAX	41
3.2.5	Infraestructuras para el despliegue de redes WiFi	45
3.3	Conclusiones relativas a la red de acceso	51
<b>4</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>53</b>

## 1 Introducción.

En lo que respecta a la infraestructura de comunicaciones, ésta estará basada en una red de fibra óptica con dos partes diferenciadas: la red troncal y la red de acceso. Ambas estarán basadas en sistemas ópticos de comunicaciones, si bien la red troncal será únicamente óptica, mientras que la red de acceso podrá convivir con otro tipo de tecnologías, como pueden ser las inalámbricas o las xDSL. En cualquier caso la red de acceso deberá llevar fibra hasta el hogar y hasta las empresas instaladas en la zona, proporcionando un mínimo de 100 Mbps para el caso de los hogares y un ancho de banda estimado de 50 Mbps por empleado para las empresas.. La red troncal deberá soportar todo el tráfico que se vaya a generar tanto en viviendas como en empresas en el entorno de la zona denominada 'Milla Digital'. Previamente a exponer las tecnologías presentes y sus posibilidades, es conveniente hacer algún tipo de consideración.

## 2 Red Troncal

### 2.1 Consideraciones iniciales

#### 2.1.1 Consideraciones sobre la red

La red de la que estamos considerando su infraestructura es una red de las denominadas 'metro', lo que implica que las distancias no serán muy largas, que el volumen de tráfico será medio-intenso y que deberemos tener conexiones con la red de larga distancia y con la red de acceso. El tráfico será mayormente de datos y los costes no podrán ser tan elevados como los que se puede permitir la red de transporte a larga distancia. Se deberán tomar dos grandes decisiones en cuanto a la tecnología de la red de transporte y en cuanto a la tecnología de la red de acceso. Ambas decisiones deberán sobre todo tomarse teniendo en cuenta:

- a) La madurez y posibilidades técnicas, de forma que la infraestructura de comunicaciones no sea una red experimental, ya que todos los servicios dependen de ella.
- b) Las posibilidades que ofrecen las tecnologías más modernas, que permiten ofrecer nuevos servicios a un menor coste, de forma que la red evite la problemática de las redes más antiguas.

### 2.1.2 Consideraciones sobre el tráfico

Hoy en día el tráfico de datos sobrepasa ya al de voz, y esta tendencia se irá acentuando con el tiempo, ya que todos los nuevos servicios que se están ofertando hoy en día tienden a remarcar esta orientación. Este hecho ha sido el que ha originado que las nuevas redes de comunicaciones no estén tan orientadas hacia la voz como las antiguas, sino que incluyan nuevas funcionalidades y estén preparadas para recibir tráfico a ráfagas más que a multiplexar canales de voz que, aunque no se esté hablando (no transmitan datos), necesitan reservar un ancho de banda fijo mientras dura la conexión. Aplicaciones de transmisión de datos que requieren más ancho de banda de bajada que de subida, asimétricas, como las puras aplicaciones web o el vídeo bajo demanda se han desarrollado al amparo de tecnologías del tipo xDSL o cable. Estas tecnologías están paulatinamente perdiendo interés debido a la aparición de nuevas aplicaciones como voz sobre IP (VoIP), comunicaciones "peer to peer" (P2P) o redes de archivo masivo (SAN) que no son tan asimétricas (precisan más o menos el mismo ancho de banda de bajada que de subida). El desarrollo y uso de estas nuevas aplicaciones hace que tecnologías del tipo Ethernet se estén barajando como muy interesantes a la hora de construir nuevas redes dada su gran flexibilidad. Adicionalmente, como veremos, esto también tiene ciertas implicaciones en la red de transporte.

### 2.1.3 Consideraciones sobre la oportunidad

Disponer de redes previas que han debido dar servicio de telefonía fija es una ventaja inicial, pero limita en gran medida la búsqueda de soluciones más modernas donde las redes se pueden diseñar y desplegar desde un principio. Por otra parte, el hecho de que la zona a estudiar no se haya empezado a urbanizar todavía aporta una ventaja adicional, pues es posible diseñar la forma óptima de cómo queremos la red y no depender de la estructura urbana disponible para amoldarse a ella. Ambas ventajas deberían aprovecharse para realizar una red moderna, con alta capacidad y de coste medio-bajo.

### 2.1.4 Consideraciones sobre la capacidad

La Ordenanza Municipal para la Milla Digital establece en su artículo 3.1.10 sobre Instalaciones Domóticas y de Telecomunicaciones apartado 2 que "La red de acceso mediante fibra óptica debe proporcionar un ancho de banda mínimo de 100 Megabits por segundo por vivienda." y en el artículo 3.2.6 sobre Instalaciones de Telecomunicaciones en su apartado 4 que "La red de acceso debe proporcionar un ancho de banda mínimo de 50 Megabits por segundo por empleado con requisitos de conectividad". Por otra parte, el Plan Director de la Milla Digital, calcula, a partir de varias fuentes citadas (PGOU, Urbanismo, MIT), una evolución con un nivel de construcción final en 2015 de

2842 viviendas ocupando una superficie de 307.672 m<sup>2</sup> y una superficie dedicada a oficinas de 115.000 m<sup>2</sup> con una previsible ocupación de unos 4.000 empleados. Las tecnologías y equipamientos empleadas en la Milla Digital deben ser capaces de crecer con nivel de ocupación de la Milla Digital y ser capaces de ofrecer el ancho de banda requerido. De todas formas no se debería hacer directamente la cuenta de multiplicar ancho de banda disponible por número de usuarios, porque ni ese número reflejará la realidad de necesidades de transporte, ni será económicamente viable. Por ejemplo, si multiplicáramos la necesidad global de tráfico asegurando el ancho de banda para todo usuario en todo momento necesitaríamos dimensionar la red de transporte para manejar 500 Gb/s. Esto no es económicamente viable y por tanto habrá de tomarse una determinación acerca del ancho de banda real que se va a asegurar a empresas y hogares. Sirva como referencia la Campus Party 2005, celebrada en Valencia, donde simultáneamente se están conectando unas 5500 personas, a tasas del orden del Mb/s, y la infraestructura de salida aportada por Telefónica es de 3 líneas SDH de 622 Mb/s. Parece razonable escalar la red en un factor 10, al menos en lo que respecta a hogares. Podría hacerse también para empresas, aunque en este caso la calidad de servicio debería asegurarse al máximo. En cualquier caso la red deberá ser capaz de crecer en el tiempo según vayan instalándose empresas y hogares, lo que se asegura con la infraestructura propuesta.

### 2.1.5 Consideraciones sobre la titularidad de la red

En algunas regiones del mundo, sobre todo en algunos estados y ciudades de los Estados Unidos, se está adoptando la política de instalar, operar y mantener la infraestructura de comunicaciones bajo titularidad pública, y posteriormente alquilarla a los operadores para que proporcionen los servicios. Un ejemplo interesante de este tipo de idea es la red UTOPIA que conecta diversas ciudades del estado de Utah (<http://www.utopianet.org>).

La idea es que las instalaciones fueran públicas y las compañías operaran utilizando esa infraestructura, como en un aeropuerto, intentando ofrecer mejores prestaciones que las que las compañías privadas pudieran ofertar debido al coste, ya que en otro caso no tendría sentido de cara al ciudadano.

Sin embargo, esto no es posible actualmente en España dada la legislación vigente, en concreto lo dispuesto por el artículo 5 de la Ley 32/2003, Ley General de Telecomunicaciones, por el que se establece que *“la explotación de las redes y la prestación de los servicios de comunicaciones electrónicas se realizará en régimen de libre competencia sin más limitaciones que las establecidas en esta ley y su normativa de desarrollo”*.

Por tanto, la explotación de las redes y la prestación de los servicios de comunicaciones electrónicas en el entorno de la Milla Digital se realizará en régimen de libre competencia, respetando los procedimientos establecidos en la legislación vigente al respecto.

## 2.2 Tecnologías de red troncal en entornos ‘Metro’

Las tecnologías de red troncal en entornos metropolitanos han ido evolucionando en los últimos años de acuerdo a los cambios que se producen, de forma rápida, en los entornos de red. Hace unos años, la tecnología preferida para red troncal tanto para largas distancias como para entornos metropolitanos era la Jerarquía Digital Síncrona, más conocida en sus siglas en inglés como SDH. Sus ventajas son:

- Interoperabilidad entre fabricantes.
- Tecnología madura y flexible.
- Permite escalar los anchos de banda de forma progresiva.
- Permite multiplexar y demultiplexar contenedores virtuales (líneas de ancho de banda menor del transportado) de forma sencilla.
- Dispone de un sistema de gestión, alertas y mantenimiento de la red (OA&M).
- Es compatible con los sistemas más antiguos conocidos como PDH.

Las redes en entornos metropolitanos se realizaban en topologías en anillo, que confieren a la red algunas ventajas adicionales:

- Proporcionan un sistema de protección de red.
- Permiten encadenar anillos de igual o menores tasas de transmisión.
- Permiten aprovechar al máximo el ancho de banda disponible en el anillo.

Por tanto, a la hora de plantear una red troncal de transporte, pensar en sistemas SDH debe ser la primera opción. Pero también tienen algunas desventajas:

- Son sistemas caros, comparados con otras tecnologías.
- El sistema de gestión de red es poco flexible.
- No están preparados para soportar de forma directa tráfico de paquetes.

Adicionalmente, hay un último escollo: los sistemas SDH se han ligado históricamente para la gestión del tráfico de datos para dar calidad de servicio con una tecnología como ATM que, si bien es técnicamente buena para las aplicaciones de transmisión de voz o vídeo paquetizadas, es muy cara.

Hoy en día existen otros tipos de alternativas que proporcionan más flexibilidad por un costo menor, aunque está por ver que las prestaciones sean tan buenas como las proporcionadas por la combinación de tecnologías SDH+ATM. Algunas de estas alternativas no descartan SDH como tecnología de transporte, pero tratan de que ésta no sea la única alternativa. Además, se trata de aprovechar al máximo las posibilidades de la fibra óptica.

De forma histórica, el crecimiento en ancho de banda desde las tecnologías SDH se hizo a través de introducir nuevos láseres en la misma fibra, esto es, multiplexar cada canal con una portadora óptica diferente. Esto, en el dominio eléctrico, es bien conocido, y se denomina FDM (Frequency Division Multiplexing). De la misma forma, en el dominio óptico se le denominó WDM (Wavelength Division Multiplexing). La ventaja de utilizar WDM es clara: aumentamos el ancho de banda sin instalar nueva fibra, aprovechando al máximo las posibilidades que nos ofrece una fibra óptica en cuanto a capacidad. Pero hay algo más: la flexibilidad que aporta a una red, porque disponemos de un grado de libertad adicional: la longitud de onda. Para ver esto, utilicemos un ejemplo: Imaginemos que existe un enlace a 155 Mbps entre dos puntos con tecnología SDH, evidentemente a una longitud de onda digamos  $\lambda_1$ . Imaginemos que queremos aumentar la capacidad del enlace. Tendríamos, en la visión no-WDM, dos alternativas: utilizar otro par de fibras, lo que es carísimo, o cambiar el equipo de 155 Mbps por otro de mayor capacidad, lo cual es dilapidar recursos. Usando un par de elementos pasivos podemos multiplexar otro canal en la misma fibra óptica a una longitud de onda  $\lambda_2$ , pero además, al hacerlo, podemos decidir (y esto es lo importante) que el nuevo canal no sea SDH, sino por ejemplo GbEthernet. Ambas tecnologías pueden convivir perfectamente y permite flexibilizar la red, a costa de un menor control sobre la misma.

Hay básicamente dos tipos de tecnologías WDM que se están aplicando hoy en día: si pretendemos introducir muchas longitudes de onda en una fibra (hasta 80) deberemos ir a la tecnología DWDM (Dense WDM), que es la principal en entornos de red troncal de larga distancia. En entornos metropolitanos es más normal encontrar soluciones más baratas (por tener menores tolerancias) con menos longitudes de onda: CWDM (Coarse WDM), que tiene hasta 8 longitudes de onda. Los sistemas WDM permiten comenzar utilizando uno o unos pocos canales e ir aumentando en número de longitudes de onda (o 'colores') según se precise por necesidades de ancho de banda. Esto es importante si se desea hacer una gestión económica adecuada de la red, ya que introducir anchos de banda muy altos al principio en una red nueva es un gasto elevado que no generará retornos hasta que ese ancho de banda esté 'lleno'. En un sistema WDM se puede crecer a la vez que llegan los retornos y permite flexibilizar la gestión.

Las desventajas de las tecnologías WDM son:

- Al final, el sistema WDM debe estar soportando otra tecnología de red, por lo que si queremos sistemas de gestión de red e ingeniería de tráfico deberemos seguir utilizando otro tipo de tecnologías.
- Se pierde granularidad (la posibilidad de extraer un canal de bajo ancho de banda).
- La red debe ser más exigente desde el punto de vista físico (sobre todo con DWDM).

Por otra parte, el avance de las redes basadas en servicios Ethernet es ya imparable, si bien no avanza todo lo que debiera debido a las inversiones ya efectuadas en redes tipo ATM. Ethernet, como tecnología de LAN, es ya el estándar de facto cuya principal ventaja es el coste de los equipos terminales, sin olvidar la penetración hasta el usuario, que su escalado multiplica el ancho de banda por 10 cada vez que aumenta un orden en la jerarquía y que puede finalmente utilizarse también en el transporte de datos, sobre todo en redes Metro. Como hemos dicho este tipo de redes soporta cada vez más flujos de datos para los que Ethernet está concebida. Por tanto, en breve tiempo Ethernet colonizará también las tecnologías WAN e incluso el acceso a través de nuevas propuestas como por ejemplo las redes EPON. Hasta que llegue ese momento, se están barajando nuevas alternativas en las que se tiene en cuenta el carácter 'a ráfagas' de las comunicaciones de datos, que no es muy compatible con tecnologías de tipo TDM como SDH si no se trabaja con ATM. Para ello se están planteando tecnologías denominadas POS (Packet Over SDH), en la que se optimiza la entrada de tráfico a ráfagas en sistemas TDM como SDH, e incluso están apareciendo sistemas Ethernet para transporte puro como 10GbE PHY.

De todas formas, y en un entorno 'metro', tenemos alternativas para el transporte, basadas puramente en tecnología Ethernet. El problema con que nos podemos encontrar en entornos con calidad de servicio exigente, como puede ser el entorno empresarial, es la ingeniería de tráfico. Los sistemas basados en ATM permiten realizar redes privadas virtuales (VPNs), aportar calidad de servicio a los clientes y priorizar paquetes a los que les resulte negativo un pequeño retraso o 'delay', como aplicaciones de Voz sobre IP (VoIP). Afortunadamente se han desarrollado nuevas tecnologías de ingeniería de tráfico basadas en el etiquetado de paquetes, lo que denominamos MPLS (Multi Protocol Label Switching). Uniendo esta tecnología con Ethernet encontramos realmente una alternativa a la combinación entre SDH y ATM, que compite sobre todo en precio, pero también en flexibilidad, preparación para servicios más modernos e incluso permite la integración de redes ATM en las propias basadas en MPLS. Aunque no está todavía tan implantada y desarrollada como los sistemas SDH, ni tiene tantas empresas fabricantes, es una opción interesante para nuevas redes como será la que se instalará en la Milla Digital. En entornos menos exigentes, como pueden ser los entornos residenciales, las tecnologías Ethernet pueden aportar suficiente calidad de servicio con un costo menor sin tener que implementar MPLS.

Para resumir, vemos que existen dos tipos de tecnologías de transporte en entornos 'metro' con filosofías diferentes pero que pueden convivir, sobre todo si se combinan con tecnologías CWDM o DWDM para las cuales la transparencia de protocolos y tecnologías de red es una de sus virtudes. La elección de estas tecnologías, no obstante, no debe ser escogida en el corto plazo, ya que desde un punto de vista inicial lo que se precisa es disponer de una red de fibra óptica que no limite ninguna de ellas, como veremos en los siguientes puntos.

Las empresas que ofrecen soluciones de red de transporte en entornos metro basadas en SDH y WDM son las primeras empresas de telecomunicaciones del mundo: Lucent, Alcatel, Cisco, Nortel, etc. En cuanto a soluciones CWDM hay más empresas, aunque generalmente no se dedican a la red en sí sino a integrar equipos de otros fabricantes en entornos WDM. Cabría aquí destacar a Telnet Redes Inteligentes S.L. como fabricante de la propia ciudad de Zaragoza.

En cuanto a los sistemas basados en Ethernet con MPLS, existen empresas con equipos instalados ya en varios entornos metro (MAN) y superiores (WAN) como, principalmente, River Stone Networks (<http://www.riverstonenet.com/>) o Juniper Networks (<http://www.juniper.net>).

### **2.3 Infraestructura de comunicaciones de la red troncal**

Los elementos constitutivos de la red troncal son:

- A. Edificio de Telecomunicaciones Milla Digital.
- B. Red troncal de fibra óptica.

#### **2.3.1 Edificio de Telecomunicaciones Milla Digital**

Se plantea la necesidad de disponer de un edificio que actúe como central de gestión y conmutación de red y proporcione conectividad a las redes externas de otros operadores. Este edificio podría disponer de varias plantas, de modo que en una de ellas (nunca en el sótano) se instalasen las funciones relacionadas con la gestión de la red de telecomunicaciones. El resto de plantas podrán ser alquiladas por empresas proveedoras de servicios (seguridad, teleasistencia, servicios domóticos, gestión de la red, etc.) o por empresas interesadas en utilizar la red como laboratorio avanzado o plataforma de desarrollo y pruebas de servicios de red inteligente, protocolos de señalización de red para servicios multimedia, estrategias de gestión de recursos radio, mecanismos de tarificación y facturación, garantía de seguridad en el acceso a las redes y en las comunicaciones, etc.

Algunas especificaciones del Edificio de Telecomunicaciones Milla Digital son:

- Ubicación cercana a la estación del AVE por la disponibilidad de conectividad con las redes troncales de las principales operadoras.
- Disponibilidad de sistemas de alimentación permanente, sistemas de climatización, seguridad, etc.
- Disponibilidad de espacios e infraestructuras técnicas adecuadas para los diferentes usos (patinillos accesibles, cuartos de

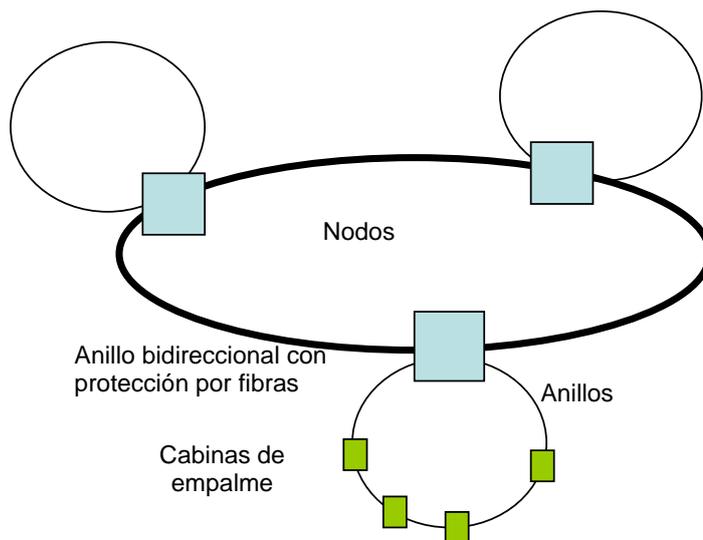
comunicaciones amplios y ubicados convenientemente, suelo técnico, etc.)

- Conectividad de alta capacidad a redes de otros operadores (incluyendo posible backup mediante radioenlaces digitales o enlaces satelitales).

### 2.3.2 Red troncal de fibra óptica

La estructura idónea para la red troncal es una configuración en anillo con duplicidad en nodos de acceso de modo que se garantice la máxima disponibilidad de la red. Dicha red troncal debe ser capaz de proporcionar una capacidad adecuada y disponer de tecnologías de red adecuadas para gestión y protección. La tecnología SDH sería la más adecuada para este caso. El tipo de red de acceso no se vería limitado por la elección de la tecnología ni de la configuración de la red troncal, lo que permite tomar decisiones más adelante en ese sentido. En cualquier caso, una tecnología de red óptica pasiva (PON) podría ser ideal para el acceso desde la red troncal.

El esquema topológico de la red troncal podría ser:



**Figura 1.- Topología de la red troncal**

En el primer esquema propuesto existirían tres nodos principales, situados respectivamente en la estación del AVE, uno de los edificios del otro lado de la A68 (por ejemplo, el Edificio de Telecomunicaciones Milla Digital) y algún edificio de la zona más alejada, cubriendo así las tres zonas más importantes. Los dos primeros nodos nombrados serían los adecuados para

conectarse a redes de las operadoras. Dentro de cada edificio se debe disponer de un cuarto de telecomunicaciones de al menos 50m<sup>2</sup>, dotado de suelo y techos practicables, climatización adecuada para trabajar a temperaturas fijas, instalación eléctrica y fuerza, sistemas de seguridad y entradas y salidas practicadas para los diferentes cables al cuarto. Los tres nodos deberían estar unidos por cables de fibra óptica de 256 fibras, lo que permitirá en su momento hacer llegar una fibra óptica desde cualquiera de los nodos a los múltiples terminales que podrían existir en el futuro. De cada uno de los nodos principales saldrán anillos que contarán, a su vez, con cabinas de empalme, al menos una por cada parcela del barrio de la milla digital. Dichas cabinas deberán estar preparadas para planta externa, en principio no deberían contar con fuerza eléctrica y, caso de ser armarios exteriores, se podrán mimetizar con el entorno. Cualquier elemento (edificio, antena, empresa, etc.) que precise una fibra óptica dentro de una parcela necesitará de una canalización hasta la cabina de empalme para tomar alguna de las fibras ópticas disponibles. Desde este punto de vista, el cable de 256 fibras representa un sobrecoste sobre el de 128, pero que no es significativo para las distancias que se manejan y permite más flexibilidad y capacidad de la red. Topologías del tipo PON para red de acceso como las propuestas más adelante, permiten reducir el número de fibras en red troncal para colocar divisores de haz o splitters y producir la granularidad en las cabinas de empalme. No obstante la topología de red propuesta no limita esta posibilidad y utilizar cables con más fibras posibilita tomar otras opciones en el futuro que no utilicen estas tecnologías.

Las cabinas de empalme podrán ser de dos tipos: cajas de empalme de exterior (soterradas o colgadas sobre algún elemento urbano) o armarios de exterior. Los armarios de empalme exteriores tienen la ventaja del fácil acceso a los empalmes o divisores que eventualmente pudieran instalarse, lo cual reduce los costes de mantenimiento. Por el contrario, los armarios de exterior ocupan un espacio en la vía pública y son más sensibles a actos de vandalismo o accidentes, por lo que habrá que valorar si es mejor utilizar cajas de empalme soterradas (torpedos) cuyo coste es menor, pero son más complicadas de instalar y mantener. Otra posibilidad es utilizar el mobiliario urbano ya existente para mimetizar las cabinas de empalme. Las cabinas de empalme, ya sean cajas o armarios, deberán poder soportar el empalme de todas las fibras que tengan los cables, deberán poder instalar divisores o splitters y tener al menos dos entradas grandes para los cables y varias salidas para la distribución de las fibras.

En la figura 2 se observan los dos tipos de cabinas de empalme. Se aprecia la facilidad de instalación y mantenimiento del armario y la forma más compacta de la caja de empalme para exterior.



**Figura 2.- Cabinas de empalme**

La topología mostrada en la figura 1 se explicitaría sobre el terreno utilizando diferentes tramos de fibra y cabinas como se muestra de forma orientativa en la figura 3:



**Figura 3.- Esquema de la red troncal**

Esta figura debe entenderse únicamente como un esquema aproximado y orientativo de las ubicaciones de los nodos y de la conectividad entre ellos. Los caminos físicos más convenientes para la realización de las canalizaciones deberán ser determinados una vez se disponga de toda la información

detallada de las características urbanísticas. Tales canalizaciones deberán ser realizadas a lo largo de calles y carreteras, y aprovechando siempre que sea posible la existencia de canalizaciones preexistentes o galerías de servicio. Asimismo, el número de cabinas de empalme podrá ser disminuido de acuerdo a las necesidades reales que se deriven de posteriores estudios más detallados. Este hecho no afectará ni a la topología ni a los caminos de canalización previstos.

De esta forma, usando las canalizaciones citadas y el cable de fibra se pueden realizar topologías tan complejas como se desee, utilizar tecnologías PON o no, y existirá una capilaridad adecuada para el número de fibras que sea necesaria en cada parcela. Un aspecto interesante es que un cuarto nodo se podría poner de forma sencilla en el Meandro de Ranillas, formando una red con 4 nodos con anillo perfectamente cerrado uniendo los nodos 2 y 3 con el eventual cuarto. Adicionalmente, existiría la posibilidad de ampliación de la red troncal hasta el entorno del Portillo, donde podría instalarse un nuevo nodo y de forma que se pudieran compartir los recursos. Este esquema debe ser tomado a modo de orientación, ya que desconocemos cómo será y quedarán los accesos realmente y no estamos dando ninguna indicación de por dónde deberán ir físicamente los tramos de cable. Independientemente de la implementación final de los caminos físicos de canalización, se debe garantizar que los tramos que unen los diferentes nodos principales vayan por caminos físicamente diferentes para conseguir una protección de caminos 1+1 completa.

Algunas especificaciones de la red troncal podrían ser:

- Capacidad de transporte de información a velocidades no inferiores a 2,5 Gigabits/segundo en red troncal. Si el ancho de banda no es suficiente en el futuro, se podrán utilizar equipos CWDM o DWDM para el incremento de nuevas líneas, bien sean SDH o Ethernet. En este punto la idea inicial podría ser empezar con una línea SDH a 2,5 Gbps sobre una longitud de onda CWDM e ir creciendo a nuevas líneas SDH sobre la misma fibra según se fuera necesitando. Los enlaces de 10Gb/s también pueden ser contemplados, pero habrá de asegurarse una correcta granularidad de los flujos de datos de orden superior, lo que probablemente lleve a unos multiplexadores ADM más complejos y costosos.
- Anillo bidireccional de 4 fibras con protección 1+1.
- Cable de fibra óptica monomodo estándar de 256 fibras. Si está previsto utilizar DWDM, no estaría de más valorar el coste de utilizar un número pequeño de fibras (4-8) del tipo Allwave (OFS), que eliminan el pico central de absorción y permiten utilizar entornos CWDM más completos para la red troncal, o del tipo MetroCor (Corning) con características mejoradas en cuanto a dispersión (fibras NZDSF).

- Topología de red troncal en anillo con canalización de al menos cuatro tubos de 110 mm, si la gestión de red es pública o por una única empresa a la que se le subcontrate tal actividad. En el caso de que se desee que cualquier operadora acceda con su propia red hasta la toma de usuario, se deberían contemplar al menos dos tubos de 110 mm por operadora.

La red troncal propuesta no limita en algún modo las diferentes opciones que se pudieran barajar para el acceso o inclusión de otro tipo de tecnologías, ahora o en el futuro.

Incluso podría valorarse la posibilidad de introducir dos redes de transporte diferentes descansando sobre el mismo cable. Una de ellas, la residencial, podría tener menores prestaciones en cuanto a calidad de servicio, podría hacerse utilizando tecnologías puramente Ethernet, lo que permitiría obtener por el mismo precio mayor ancho de banda, garantizando así buena parte del máximo ancho de banda ofrecido. La otra, destinada a empresas y usuarios con recursos, tendría mejores prestaciones en cuanto a calidad de servicio y gestión y podría basarse en SDH ó tecnología Ethernet de transporte más una tecnología de ingeniería de tráfico como MPLS.

## **3 Red de acceso**

### **3.1 Red de acceso basada en cable**

#### **3.1.1 Tecnologías de red de acceso basadas en cable**

Las tecnologías de acceso de banda ancha por cable que están funcionando hoy en día en nuestras ciudades son básicamente dos: la tecnología ADSL (operada por Telefónica, pero también por el resto de operadoras) y la tecnología cable-modem (operada en exclusiva por AUNA en nuestra región). Ambas tecnologías, si bien son diferentes, se parecen en que proporcionan un servicio asimétrico, que comparten un ancho de banda fijo para un número elevado de usuarios, y que las velocidades máximas que pueden aportar están en el rango de unos pocos Mbps. En cambio, en sus diferencias, hay una fundamental: la red ADSL está instalada ya en las ciudades, ya que emplea el par de cobre telefónico para la transmisión, mientras que la cable-modem ha de instalar toda la red nueva, pues el medio de transmisión no está disponible en la red de acceso telefónica básica. A la hora de plantear una nueva red, como sería la Milla Digital, hay que pensar qué tipo de servicios y ancho de banda se quiere aportar a los usuarios y ver qué tecnologías se quieren implantar, ya que se va a hacer desde cero. Los servicios, cada vez más tienden a una simetrización del flujo de datos, esto es, ya no son tan asimétricos (videoconferencia, 'gaming', SAN (Storage Area Networks), VoIP, etc...). Adicionalmente, se pretende que la red de la Milla Digital posea un ancho de banda elevado por usuario, del orden de 100 Mbps.

Ambos hechos imponen buscar nuevas tecnologías de acceso por cable, ya que ni ADSL ni la tecnología cable-modem son capaces de aportar ese ancho de banda, al menos de forma sencilla o con la tecnología actual.

Para ofrecer el ancho de banda requerido se pueden utilizar diversas soluciones tecnológicas. En estos momentos se está desarrollando muy rápidamente la industria productora de estas soluciones, por lo que se ofrece a continuación una relación de las actuales tecnologías, sus características más importantes y las empresas que ofrecen equipamiento de cada una de las tecnologías apuntadas. Dada la gran actividad industrial en este campo, pueden surgir nuevas soluciones en poco tiempo, lo que supone que en el momento de ejecutar la obra será necesaria una revisión de las tecnologías y los fabricantes. El momento lógico para dicha revisión sería cuando se presente el proyecto de Infraestructuras Comunes de Telecomunicación para la Milla Digital tal y como indica el apartado 1 del artículo 3.1.10 sobre Instalaciones Domóticas y de Telecomunicaciones de la Ordenanza Municipal.

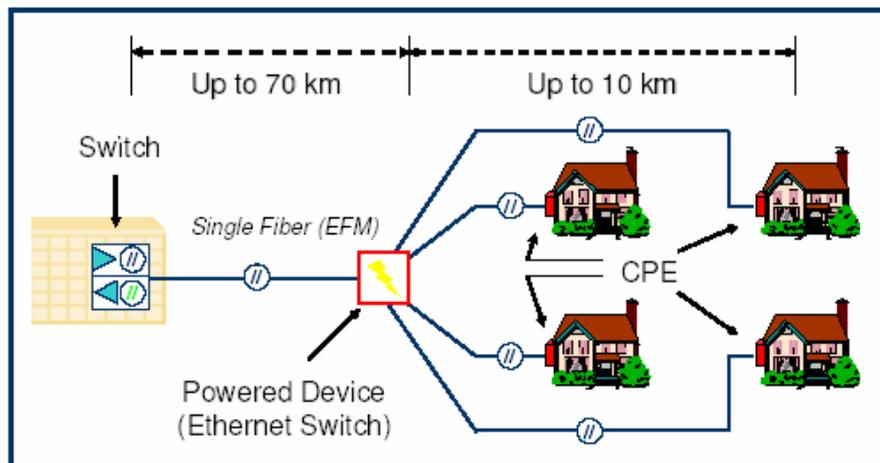
De entre las actuales alternativas tecnológicas para dar servicio de comunicaciones de banda ancha por fibra óptica hasta el hogar (FTTH) o hasta el edificio (FTTB) se presentan a continuación aquellas con un desarrollo suficiente como para que ya exista un estándar. Las soluciones más interesantes son:

- Fiber Optic Gigabit Ethernet, estándar IEEE 802.3z.
- EPON (Ethernet Passive Optical Network) con estándar IEEE 802.3ah.
- BPON (Broadband Passive Optical Network), estándar ITU G.983.
- GPON (Gigabit Passive Optical Network), estándar ITU G.984.

Las dos primeras utilizan Ethernet como tecnología de red, lo cual es una ventaja dado que los 100 Mbps que ofrece Fast Ethernet son exactamente los que queremos aportar a cada hogar, además de que todos los ordenadores personales vienen con tarjetas que usan Ethernet como tecnología de red primaria. Todas estas tecnologías pueden utilizarse para llevar la fibra hasta el hogar, pero sería más lógico plantear la llegada de una fibra hasta el edificio, donde en el cuarto de comunicaciones estuviera el equipamiento de pasarela, y desde allí una distribución a los hogares bien de fibra multimodo o por cable de cobre (par trenzado, categoría 5 o superior). Desde este punto de vista, es muy barata y flexible la utilización de tecnologías Ethernet de los nodos hasta los edificios, y posteriormente su distribución a los hogares mediante switches o routers.

La tecnología basada en Fiber Optic Gigabit Ethernet consiste en la instalación de una red Ethernet Punto a Punto con conexiones por fibra óptica.

La arquitectura de red es la misma que la de una red Ethernet punto a punto convencional en la que los diversos elementos activos de la red, switches, distribuyen el ancho de banda entre los usuarios, pero utilizando una fibra óptica como medio de transmisión.



**Figura 4.- Arquitectura de red basada en Fiber Optic Gigabit Ethernet**

Esta arquitectura de red requiere que cada uno de los usuarios disponga de una conexión directa mediante una fibra óptica con el Switch Ethernet que distribuye el ancho de banda entre los usuarios. Dadas las distancias implicadas en la Milla Digital, una red de acceso basada en esta arquitectura puede llevarse a cabo mediante la instalación de un conjunto de Switches Ethernet en los tres nodos primarios de la red troncal de la Milla Digital. De esa manera, como se comenta en el apartado anterior, puede establecerse una protección 1+1 entre ellos.

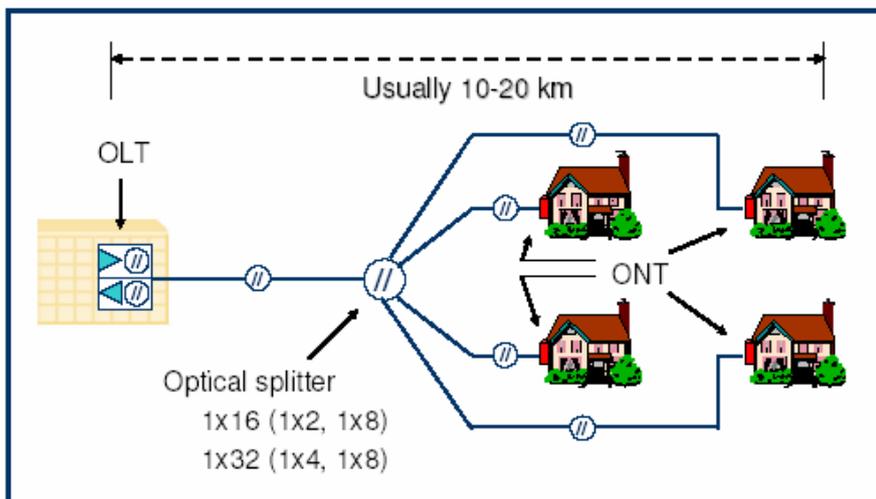
Desde los nodos principales se establecerán conexiones por fibra óptica desde cada una de las viviendas o grupo de oficinas hasta el nodo primario más cercano mediante el cable de 256 fibras. Dado el número de viviendas que se espera construir en la Milla Digital puede haber limitaciones en el cable de 256 fibras y que en determinadas zonas no sea posible realizar una conexión 1 a 1 entre cada vivienda y el nodo primario más cercano. Una solución puede ser la instalación de Switches Ethernet en las Cabinas de Empalme, pero se requiere entonces de suministro eléctrico y adecuadas condiciones de temperatura y humedad. Otra solución puede ser la utilización de técnicas CWDM para compartir una misma fibra en algunos de los tramos. En cualquier caso ambas soluciones encarecerían el proyecto.

Además, esta tecnología es la más cara de las cuatro mencionadas, por lo que cabría su aplicación para la zona de oficinas de la Milla, ya que esta arquitectura aporta un nivel de privacidad de las conexiones vía hardware, seguramente muy apreciada por las empresas. Por otra parte es la tecnología

que, a priori, es capaz de generar un mayor ancho de banda, presenta una mayor fiabilidad y ha sido contrastada en el mundo entero.

Un gran número de empresas ofertan en este momento equipamiento para este tipo de redes: 3Com, Alcatel, Allied Telesis, Alteon Networks, Bay Networks, Cabletron Systems, Cisco, Extreme Networks, Foundry Networks, HP, Intel y Nortel además de empresas aragonesas, como es el caso de TELNET Redes Inteligentes S.A.

Las otras 3 tecnologías citadas (EPON, BPON y GPON) se basan en la compartición de una red de fibra óptica en estructura de árbol. El nombre PON proviene de Passive Optical Network, y quiere enfatizar el hecho de que se pueden utilizar elementos pasivos de fibra óptica para la distribución de las señales, lo cual representa a priori un abaratamiento de los costes y de las infraestructuras. En una red EPON, una unidad denominada cabecera del operador (OLT) realiza las funciones de conexión entre la red de acceso y la red troncal. Dichas unidades OLT deberán estar situadas en los nodos primarios y conectadas con la red de las operadoras mediante la protección ofrecida por el anillo bidireccional de la red troncal de la Milla Digital.



**Figura 5.- Arquitectura de red basada en xPON**

La conexión entre los terminales de usuario (ONT) y la cabecera se realiza mediante la conexión de todas las fibras que llegan a cada uno de los usuarios a un divisor de potencia que es el que está directamente unido por fibra óptica a la cabecera. El divisor de potencia es un componente óptico pasivo que no requiere de ningún tipo de alimentación y que soporta habitualmente temperaturas de entre  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+80^{\circ}\text{C}$  sin variación en sus prestaciones, por lo que dicho componente puede ser instalado en las cabinas de empalme.

Cada una de las tecnologías apuntadas posee diversas peculiaridades que se muestran de forma resumida en la siguiente tabla.

	<b>EPON</b>	<b>BPON</b>	<b>GPON</b>
<b>Standard</b>	IEEE 802.3ah	ITU G.983	ITU G.984
<b>Ancho de Banda Máximo</b>	1000 Mbps	622 Mbps	2488 Mbps
<b>Usuarios conectados por cabecera</b>	16	32	64
<b>Ancho de Banda promedio por usuario</b>	60 Mbps	20 Mbps	40 Mbps
<b>Coste relativo.*</b>	Bajo	Medio	Alto

\* Según el "Photonics and Networking Research Laboratory, Universidad de Stanford"

**Tabla 1.- Características de las tecnologías xPON**

La tecnología BPON resulta ya hoy día obsoleta y ha sido sustituida por la GPON en Estados Unidos donde se inició la implantación es este tipo de redes. La tecnología GPON ha sido la última de la tres en ser estandarizada. Actualmente este tipo de equipamiento es ofrecido por: Alcatel, Flexlight, Optical Solutions y Terawave, principalmente al mercado Americano donde operadoras como Verizon, SBC o Bellsouth están usando esta tecnología.

Por último, la tecnología EPON es una tecnología que desde el primer momento se desarrolló con la intención de hacer uso del amplio número de diseños ya existentes de componentes Ethernet. Por ello se trata de la tecnología más barata. En estos momentos empresas como: Alloptic, Centillum, Passavé y Teknovus ofrecen los componentes necesarios para instalar redes EPON, principalmente al mercado asiático, donde empresas como NTT y KDDI están ofreciendo ya conexiones de 100 Mbps mediante esta tecnología. En Aragón, la empresa TELNET Redes Inteligentes también tiene disponible en la actualidad equipamiento para este tipo de redes, lo cual abriría la puerta a disponer de equipos con tecnología zaragozana en la Milla Digital.

Gracias al cable de 256 fibras instalado, la distribución concreta de viviendas conectadas a una misma cabecera (16 a 64) puede llevarse a cabo de una forma flexible en función de la tecnología empleada. Adicionalmente, no hay ningún problema para que los elementos divisores pasivos se encuentren en las cabinas de empalme, ya que no precisan de fuerza eléctrica para su operación y son de tamaño reducido.

En resumen, las tecnologías más interesantes a la hora de plantear la red de acceso son la red Ethernet de alta velocidad o alguna de las soluciones PON, siendo la EPON posiblemente la más prometedora. Además, cabe destacar las posibilidades de sinergia que podría tener disponer de una red

'core' o de transporte basada en Ethernet con ingeniería de tráfico MPLS y red de acceso basada asimismo en tecnologías Ethernet.

### 3.1.2 Infraestructura de comunicaciones de la red de acceso

- Las viviendas edificadas en Milla Digital deberán permitir la instalación en sus zonas comunes de los equipos de telecomunicaciones necesarios para cumplir con los requisitos de conectividad total en la zona (estaciones base de telefonía celular, antenas mimetizadas, cámaras de vídeo, puntos de acceso inalámbricos, etc.), todo ello de acuerdo a la normativa legal vigente y minimizando el impacto ambiental y visual.
- Asimismo, las viviendas edificadas en Milla Digital deberán disponer del espacio necesario para ubicar los equipos requeridos para la conexión con la red troncal y para la distribución y gestión de las redes internas del edificio. Espacio que debe contar con las condiciones de accesibilidad adecuadas.
- A todas las viviendas y oficinas de la milla digital debe llegar una acometida de fibra óptica. Configuración conocida como FTTH (Fiber To The Home). Esto se hará de forma sencilla a través de la configuración de red troncal propuesta y la inclusión de equipos FTTH en los edificios y las ONUs (Unidades de red óptica) en las casas
- Deben implantarse canalización desde las cabinas de empalme hasta todos los semáforos, farolas, paradas de autobús, paneles publicitarios y otros elementos del mobiliario urbano que puedan ser susceptibles de telecomando, teleactuación o uso como interfaz de comunicaciones.
- Cada edificio deberá disponer de un espacio empotrado en pared, convenientemente equipado y accesible desde el exterior para la concentración/multiplexación de las conexiones de fibra óptica procedentes de los elementos de la arquitectura urbana común.
- Todos los edificios deben ser diseñados (cálculo estructural, accesibilidad y disponibilidad de instalaciones, etc.) de modo que puedan albergar estaciones base de telefonía celular.
- Todos los edificios, públicos y privados, deben cumplir como mínimo los requisitos exigidos para la normativa vigente en materia de Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones (ICTs). En cualquier caso, estos requisitos pueden ser insuficientes para la provisión de todos los servicios planteados para Milla Digital. En

estos casos, la Infraestructura Común de Telecomunicaciones será diseñada de manera que garantice el adecuado cumplimiento de las especificaciones planteadas por Milla Digital.

- Los elementos constitutivos de las diferentes redes de acceso inalámbrico podrán estar situados en edificios, mobiliario urbano o nodos de la propia red troncal de fibra óptica. El esquema propuesto permite alcanzar mediante técnicas de radio sobre fibra cualquier punto en el que se ubiquen las antenas.

### 3.1.3 Redes PLC

La idea de transportar datos sobre las redes eléctricas no es algo que haya surgido en los últimos años. De hecho, las líneas de electricidad hace tiempo que se utilizan para transmitir información que no requería gran ancho de banda, como la monitorización y lectura de los contadores. PLC (*Power Line Communications*) es una tecnología que posibilita la transmisión de voz, vídeo y datos sobre las redes eléctricas. Es decir, transporta todos los servicios de una red IP (Internet) hasta la toma de corriente de los hogares u oficinas. Para ello hay que conectar la red de telecomunicaciones a la estación de transformación y desde ahí emplear la red eléctrica para llegar al cliente final.

Al usuario le basta un módem PLC conectado a cualquier enchufe para recibir la conexión de banda ancha. Este módem recibe la señal de un repetidor situado en el cuarto de contadores del edificio (que puede atender hasta 256 equipos), conectado a su vez a un centro de distribución del que recibe los datos a una velocidad de hasta 200 Mbps.

Uno de los problemas de esta tecnología proviene del hecho de que los datos viajan por la red eléctrica a una frecuencia (de 1 a 34 MHz), en la banda utilizada por los radioaficionados. Por ello, el débil aislamiento de los cables eléctricos, unido al mal estado de algunas redes, hacen que la instalación eléctrica de un hogar se pueda convertir en una antena que, por un lado, recibe toda clase de 'ruidos' electromagnéticos del exterior y, por otro, deja escapar señales que pueden interferir en otras comunicaciones.

Las empresas dedicadas a la tecnología PLC esperan que los avances en la tecnología, los estándares de comunicación y el reciente apoyo de la Unión Europea den un nuevo impulso al PLC, que puede aprovechar el imparable avance de Internet y la proliferación de servicios de (voz y datos) que requieren banda ancha. Para ellas, el despliegue sin necesidad de obra civil en las actuales líneas de distribución eléctrica (con una cobertura de la población superior al 90%) convierte a PLC en una alternativa muy competitiva en coste y prestaciones frente a las actuales soluciones de banda ancha.

Sin embargo, la entrada de las eléctricas en el mercado de las telecomunicaciones no está exenta de problemas y no terminan de despejarse

las dudas respecto a la posible contaminación del espacio radioeléctrico de esta tecnología, a pesar de que algunas pruebas han demostrado que puede funcionar sin interferir en otras comunicaciones.

En cuanto al funcionamiento de la red, la energía eléctrica llega a los usuarios en forma de corriente alterna de baja frecuencia (50 ó 60 Hz), mientras que los datos que viajan por esa misma red utilizan la banda de 1 a 34 MHz, atravesando varios tramos:

- Un primer tramo de Media Tensión (entre 15 y 50 Kilovoltios) desde la central generadora hasta el primer transformador.
- Tramo de Transporte o de Alta Tensión (de 220 a 400 Kilovoltios) que lleva la energía hasta la subestación de transporte.
- Tramo de Media Tensión (66-132 Kilovoltios) hasta la subestación de distribución.
- Último tramo de Media Tensión (10-50 Kilovoltios) hasta el centro de distribución.
- Red de Baja Tensión (220-380 voltios) que distribuye la energía dentro a los centros urbanos.

PLC ofrece llevar Internet a alta velocidad allí donde llega la luz eléctrica sin necesidad de crear nuevas redes y con gran comodidad para el usuario, que sólo tiene que enchufar el PC. Entre las características de esta tecnología destacan:

- Velocidades de transmisión de hasta 200 Mbps en el tramo final (que llegarán al usuario compartidos con el resto de abonados –hasta 256– al mismo repetidor).
- No precisa obras ni cableado adicional y el proceso de instalación es rápido y sencillo para el cliente final, lo que facilita la oferta de servicios competitivos en calidad y precio.
- El enchufe es la toma única para la alimentación, voz y datos (Internet).
- La conexión es permanente y el servicio eléctrico no se ve afectado.

El principal inconveniente de PLC es que, aunque la tecnología haya avanzado mucho, todavía no se ha implantado y entra en fuerte competencia con un ADSL muy extendido. Además, según la opinión de algunos expertos, no se han despejado las dudas sobre las interferencias del PLC en la banda HF (Alta Frecuencia). Por otra parte, y al igual que sucede con las comunicaciones móviles, también con esta tecnología existen sectores sociales claramente enfrentados. Así, según la comunidad de radioaficionados, el grado de interferencias detectadas durante las pruebas piloto ha sido muy perjudicial

para sus intereses. De hecho, la Unión de Radioaficionados Españoles (URE) ha creado el Grupo PLC para seguir la implantación de esta tecnología y su impacto en la banda de HF. En uno de los artículos publicados en su sitio web se asegura que en todos los países tecnológicamente avanzados *"el PLC ha sido objeto de enconadas discusiones públicas ante el justificado temor de que este servicio traiga un intolerable aumento del ruido eléctrico que dificulte el uso del espacio radioeléctrico"*. Un comunicado de la URE afirma que el PLC está prohibido por ley en algunos países, como Finlandia, *"basándose en informes sobre graves perjuicios a servicios esenciales de la Cruz Roja, Protección Civil y el Ejército"*, mientras que *"en EEUU no han pasado de la fase de pruebas, en el Reino Unido está paralizada su comercialización y en Alemania cerró una de las empresas pioneras al poner freno el gobierno del país al caos de interferencias que estaba produciendo el sistema"*. En definitiva, defienden que no es un sistema "limpio", pues genera "electropolución": contamina el espectro de radiocomunicaciones al conllevar, a su entender, radiaciones perjudiciales innecesarias. Al implantar ese sistema, asegura la URE, se perjudica a otros servicios y personas:

- La red eléctrica actúa como antena emisora y receptora de radiación, produciendo y recogiendo a su vez una enorme cantidad de interferencias que se traducen en microcortes y pérdidas de velocidad. Los cables no están blindados ni preparados para transportar señales de datos a alta velocidad.
- Si existen estaciones de radiodifusión o radioaficionados cerca de un acceso PLC, éste deberá tener instalados filtros que reducen su velocidad.
- Determinados sistemas de radiocomunicaciones cercanos (de aeropuertos, hospitales, embajadas, tráfico marítimo, teléfonos inalámbricos, etc.) pueden verse afectados a causa de las radiaciones parásitas de esta tecnología.
- Los requisitos de calidad de la instalación eléctrica del domicilio son muy exigentes; de no ser así, se producirían diversas incompatibilidades. La más típica es el corte del diferencial dejando al domicilio sin energía eléctrica.

Por el contrario, desde las empresas interesadas en esta tecnología se defiende su inocuidad, indicando que si existen interferencias, pueden eliminarse cambiando de forma remota la frecuencia del PLC para que no interfiera con otras señales. Entre las ventajas de PLC se presenta que la velocidad de acceso a Internet de PLC es exactamente la que se oferta, frente al 10% de la velocidad contratada que garantizan los proveedores de ADSL, y es una tecnología simétrica, esto es, ofrece la misma velocidad de subida (enviar algo a Internet) que de bajada (traer algo de Internet).

En cuanto a la situación en España, en octubre de 2003 Endesa,

Iberdrola y Unión Fenosa anunciaban sus intenciones de dar acceso a Internet a través de la red eléctrica. Dos años después el despliegue de PLC —una tecnología de la que ya se hablaba hace una década— se encuentra en un "paréntesis temporal". Ahora se está a la espera de una segunda generación de equipos que multiplica la potencia y velocidad de transmisión (la valenciana DS2 ha sido la primera empresa en fabricar los chips para que los módem PLC transporten datos a 200 Mbps). Además, el lanzamiento comercial del PLC coincidió con una agresiva campaña de los proveedores de ADSL, que mejoraron en gran medida sus ofertas.

Algunos analistas apuntan también que las eléctricas no tienen suficiente interés en desarrollar PLC, entre otras cosas, por sus intereses económicos en otras empresas de telecomunicaciones. Éstas, por su parte, mencionan la falta de estándares, la carestía de los equipos y las dudas sembradas respecto a los efectos sobre la salud de esta tecnología para justificar el retraso en el despliegue del PLC. En España la situación está así:

- Tras las pruebas piloto de Barcelona y Zaragoza, Endesa ha aparcado su oferta de PLC. Endesa ha habilitado unos 20.000 hogares para recibir PLC y mantiene 2.000 clientes que se abonaron al servicio tras las pruebas. Epresa, la eléctrica de Puerto Real, que cuenta con capital municipal y de Endesa, inició el lanzamiento comercial de PLC en la localidad gaditana el pasado 1 de junio. Ofrece telefonía IP y acceso a Internet a 600 Kbps simétrico (a 21 euros al mes), 1 Mbps (27 euros) y 3 Mbps (33 euros).
- **Iberdrola** comercializa PLC en Madrid y Valencia: Ha "iluminado" (conectado) 90.000 hogares y tiene 4.000 clientes. Ha mejorado su oferta inicial con los servicios PLC 1000 (1 Mbps de velocidad simétrica a 39 euros al mes) y PLC 300 (300 Kbps por 27,90 euros mensuales). En el teléfono de contratación del servicio, donde también se oferta la conexión ADSL de Iberdrola, reconocen que las peticiones de PLC son escasas "porque hay poco territorio cubierto". La eléctrica conecta sus centralitas a Internet mediante redes de fibra, LMDS (radio) y satélite de Iberdrola y su filial Neo-Sky.
- El PLC de **Unión Fenosa** no ha dado señales de vida hasta la fecha.

Si bien entra en directa competencia con el ADSL y el acceso por cable, en principio no debería existir ningún problema para que los operadores incluyan ambos tipos de conexión en su oferta. Tal es el caso de Portugal, donde Energías de Portugal (EDP) utiliza al operador de telecomunicaciones ONI (que también ofrece ADSL) para comercializar PLC (Oni220 Powerline).

En cualquier caso, la necesidad de amortizar la inversión ha llevado a las eléctricas españolas a comenzar a atacar el mercado en grandes núcleos urbanos, enterrando una de las grandes supuestas ventajas de PLC: llevar la

banda ancha donde no llega el ADSL. En otros países como México, sin embargo, sí se ha probado con éxito PLC para llevar Internet a zonas rurales de difícil acceso para otras tecnologías.

## **3.2 Red de acceso basada en tecnologías inalámbricas**

### **3.2.1 Tecnologías inalámbricas para la red de acceso**

Las comunicaciones inalámbricas se han convertido en uno de los campos de la tecnología que más rápida y extensamente se han desarrollado en los últimos años. Existe en la actualidad un interés creciente por la implantación de redes inalámbricas que posibiliten el acceso de los ciudadanos a servicios multimedia en tiempo real en cualquier momento y lugar.

En lo que se refiere a la garantía de calidad de servicio, los usuarios esperan de los sistemas inalámbricos la misma calidad que le ofrecen los sistemas equivalentes que utilizan infraestructura de cable. Es necesario proporcionar una tasa de error reducida, retardos controlados y alta disponibilidad. Al mismo tiempo, deben ser flexibles, es decir, deben estar preparados para soportar servicios muy diferentes, con diversas tasas de transmisión y sensibilidades a retardos.

La consecución de la provisión de servicios de banda ancha con movilidad global requiere el despliegue de redes de área extensa tales como GPRS y UMTS en el ámbito de la telefonía pública o como TETRA, en el de la telefonía profesional. En el ámbito de la telefonía celular pública, la aparición de los sistemas móviles de tercera generación ha posibilitado la provisión eficiente de tales servicios en entornos exteriores, tanto urbanos como rurales. Así UMTS ofrece mejoras significativas en la provisión del servicio respecto a los sistemas como GPRS al aumentar la calidad y las velocidades de transmisión hasta tasas de 2 Mbps en usuarios con baja movilidad, en interiores de edificios y oficinas; 384 kbps en usuarios con limitada movilidad, en entornos urbanos; y tasas de 144 kbps en cualquier entorno y a usuarios con completa movilidad (por ejemplo móviles circulando por un entorno rural). Sin embargo, en entornos picocelulares con alta densidad de usuarios la capacidad de los sistemas GPRS y UMTS puede alcanzar rápidamente la saturación, lo que ocasiona una notable reducción de la velocidad efectiva de transmisión. Por otra parte, los sistemas TETRA disponen de una velocidad máxima de 28,8 kbps, lo que limita considerablemente el tipo de servicios que pueden proporcionar.

Una solución adecuada para proporcionar servicios de banda ancha en este tipo de entornos viene dada por las redes inalámbricas de área personal (WPAN: Wireless Personal Area Network) y las redes de área local inalámbricas (WLAN: Wireless Local Area Network). Las redes inalámbricas pueden basarse en diferentes tecnologías: IEEE 802.11, Bluetooth o HiperLAN/2, aunque esta última todavía no es una opción disponible

comercialmente. Entre éstas, es sin duda Bluetooth, por su pequeño tamaño y bajo coste, la tecnología más adecuada para su integración en terminales móviles TETRA, GPRS o UMTS. Por su parte, la familia IEEE 802.11 continúa ampliando los estándares para WLAN, proporcionando velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps con los estándares IEEE 802.11g e IEEE 802.11a. Además, se ha definido el estándar IEEE.802.15 destinado a WPAN, basado en tecnología Bluetooth. De este modo, mediante la integración de un dispositivo Bluetooth en un terminal móvil de cualquier sistema, podemos disponer de un canal de comunicaciones de alta velocidad (hasta 723,2 kbps en un sentido o 443,9 kbps en los dos sentidos de la comunicación en la versión 1.1 de las especificaciones y hasta 2,1 Mbps en la versión 2.0 EDR) que permite la provisión de servicios de datos tales como transmisión de imágenes, vídeo, etc. con rangos de cobertura de unas pocas decenas de metros.

Sin embargo, el sistema Bluetooth no resulta apropiado para la transmisión de vídeo de alta velocidad ni para soportar un número elevado de usuarios en una misma picocélula. Por otra parte, los sistemas WLAN IEEE 802.11b, IEEE 802.11a y IEEE 802.11g permiten velocidades de hasta 11 Mbps (802.11b) y 54 Mbps (802.11a y 802.11g), pero con rangos de cobertura también muy limitados y velocidades de transmisión efectivas que decrecen significativamente cuando el número de usuarios aumenta. Además, existen otros inconvenientes, como la inexistencia de un estándar para las comunicaciones entre puntos de acceso (APs), que dificultan su uso como red de transporte. Recientemente, se han desarrollado dos nuevos estándares para la provisión de servicios de banda ancha en áreas de cobertura mucho mayores que las que proporcionan los sistemas WLAN. Estos estándares están constituidos por la familia IEEE 802.16x y por el sistema IEEE 802.20. A pesar de que este último está diseñado para un óptimo funcionamiento en condiciones de velocidad de desplazamiento más elevada (hasta 250 km/h) y propone soluciones de movilidad y handovers más eficientes, se encuentra en una fase preliminar de normalización y no es previsible que existan dispositivos comerciales en el mercado en un plazo corto. Por otra parte, se prevé su utilización en bandas de frecuencia que requieren licencia de operación, lo que puede ser un obstáculo para su despliegue por numerosas empresas. En particular, destaca la tecnología denominada WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), basada en el estándar IEEE 802.16 (*Wireless Metropolitan Area Network*). En su versión original, el estándar 802.16 estaba destinado a servicios en bandas de frecuencia con licencia entre los 10 y los 66 GHz. Subsiguientes modificaciones han extendido el estándar a servicios en bandas de frecuencia con y sin licencia entre los 2 y los 11 GHz. Así, el estándar más reciente es el IEEE 802.16d (también llamado IEEE 802-16-2004), que revisa y reemplaza a los anteriores IEEE 802.11a y 802.16REVd y está especialmente diseñado para redes de acceso fijo. Por ello, es un buen candidato para sustentar el backbone de transporte inalámbrico de gran capacidad que conecte los puntos de acceso Bluetooth y/o IEEE 802.11a/b/g y las estaciones base (EB) WiMAX con la red fija y/o los centros de control y servidores de información remotos. Sin embargo, el IEEE 802.16d no está

pensado para proporcionar movilidad, por lo que durante este año se espera la nueva norma IEEE 802.16e, que sustentará técnicas de handover y proporcionará servicios en movilidad para velocidades de desplazamiento de hasta 150 km/h.

### 3.2.2 Infraestructuras de comunicaciones móviles celulares

Los sistemas de comunicaciones móviles celulares son, en términos generales, aquéllos capaces de proporcionar servicios de telecomunicación sobre zonas geográficas extensas y con capacidad para mantener la continuidad de las comunicaciones mientras el usuario se va desplazando. Lógicamente, para que esto sea posible debe desplegarse una red siguiendo una cierta arquitectura. El contacto entre el usuario y la red se lleva a cabo vía radio con las denominadas *estaciones base*. En el caso que nos ocupa, el número, ubicación y configuración de estas estaciones base debe ser suficiente para proporcionar el servicio deseado en toda la zona de la Milla Digital, la calidad deseada en las comunicaciones y la capacidad suficiente para el número de clientes que tengan los operadores de red.

En la actualidad, los sistemas que operan en España son *GSM-900*, que se sitúa en la banda de los 900 MHz y del que existen dos operadores con un despliegue completo: Telefónica Móviles (Movistar), Vodafone y un tercer operador, Amena, que ha recibido recientemente una concesión de licencia para el uso de esta banda de frecuencias y se encuentra en fase de despliegue; *GSM-1800*, que es el mismo que el anterior situado en la banda de los 1.800 MHz y del que existen tres operadores: Telefónica Móviles (Movistar), Vodafone y Amena; *GPRS*, idéntico en sus características radioeléctricas y operadores que el *GSM-1800*; y, finalmente, *UMTS*, que ocupa las bandas situadas en las proximidades de los 2.000 MHz (2 GHz). Actualmente hay cuatro licencias concedidas para operar en el sistema UMTS, que corresponden a las siguientes operadoras: Telefónica Móviles, Vodafone, Amena y Xfera. Además de los sistemas de comunicaciones móviles comentados, existen en las ciudades estaciones base de otros sistemas como TETRA, utilizados por grupos cerrados de usuarios para aplicaciones profesionales en la banda de los 450 MHz.

En las redes de comunicaciones móviles de segunda generación (2G: GSM y GPRS), las antenas se colocan normalmente en azoteas de edificios o en torres, dependiendo del entorno (urbano o rural) y de las necesidades específicas de capacidad, cobertura y calidad del servicio. En las ciudades, la estación base se suele instalar en un cubículo, o contenedor prefabricado, que se coloca también en la azotea, a pocos metros de las antenas. En zonas rurales y carreteras, la estación base se alberga en un pequeño recinto al pie de la torre. La conexión entre la estación base y las antenas se realiza mediante tiradas de cable coaxial de pocos metros de longitud. Aunque esta forma de colocar las antenas es la habitual, no es siempre la única. Hay ocasiones en que las antenas deben instalarse en el interior de edificios, túneles o recintos amplios, como estadios deportivos, zonas aeroportuarias y feriales, etc., con el fin de crear microcélulas y picocélulas, bien para

proporcionar cobertura en zonas de acceso radioeléctrico difícil o para incrementar la capacidad. Para ello se recurre a una de las dos estrategias siguientes: *uso de microestaciones base o despliegue de repetidores*. Como su nombre indica, las microestaciones base son estaciones base de pequeño tamaño. Radian con potencias bajas, inferiores a uno o dos vatios por portadora, y se pueden conectar a la parte fija de la red por par de cobre. Para evitar tener que alquilar un circuito para cada microestación, con frecuencia se comparte un circuito entre varias, terminando la línea alquilada no ya en una microestación base, sino en un equipo controlador que agrupa a varias microestaciones. El controlador se conecta con las microestaciones base por pares de cobre y reparte entre ellas la capacidad de la línea alquilada. Los repetidores son básicamente cabezas de radiofrecuencia (RF). Reciben de una estación base una o varias portadoras, las amplifican, eventualmente cambian de frecuencia, y transmiten a la antena. Como la distancia entre la estación base y el repetidor puede ser grande, de hasta varios kilómetros, el enlace entre ellos se realiza bien mediante un radioenlace o bien por medio de fibra óptica. La decisión de cuándo utilizar microestaciones base y cuándo repetidores se toma normalmente basándose en las necesidades de capacidad y de coste, dependiendo de cada instalación concreta. El uso de antenas remotas se puede considerar como un nicho en los sistemas 2G, pero en UMTS, y más aún en sistemas posteriores, su utilización será más generalizada.

Hasta el momento, la instalación de las estaciones base en zonas urbanas se ha basado en acuerdos particulares entre cada una de las operadoras y la comunidad de vecinos en cuyo inmueble se ubica la estación. Esto ha dado lugar a una gran proliferación de estaciones base, que ha suscitado una lógica preocupación por parte de los ciudadanos no sólo en lo que respecta al impacto visual de las antenas, que en muchos casos es realmente lamentable, sino también a los riesgos para la salud ocasionados por las radiaciones emitidas por dichas antenas.

La preocupación social derivada del elevado número de estaciones base existentes en las ciudades ha llevado a plantear soluciones que pasen por la reducción del número de elementos radioeléctricos "visibles" (torres, mástiles, antenas), de modo que se minimice el impacto visual. Dado que la provisión de un servicio de calidad requiere que el número de estaciones base crezca en la medida que lo haga el número de usuarios, la única forma plausible para llevar a cabo dicha reducción es la compartición por parte de todas las operadoras de las mismas ubicaciones y las mismas antenas. En este caso, el mantenimiento de las estaciones base se llevaría a cabo por una empresa ajena a las operadoras y que prestaría servicio a todas ellas. En la actualidad, la empresa que proporciona este servicio es Abertis Telecom, nacida de la unión de Retevisión y Tradia. Esto se ha propuesto en algunas ciudades, pero generalmente es rechazado por las operadoras, que desean tener un absoluto control de sus instalaciones.

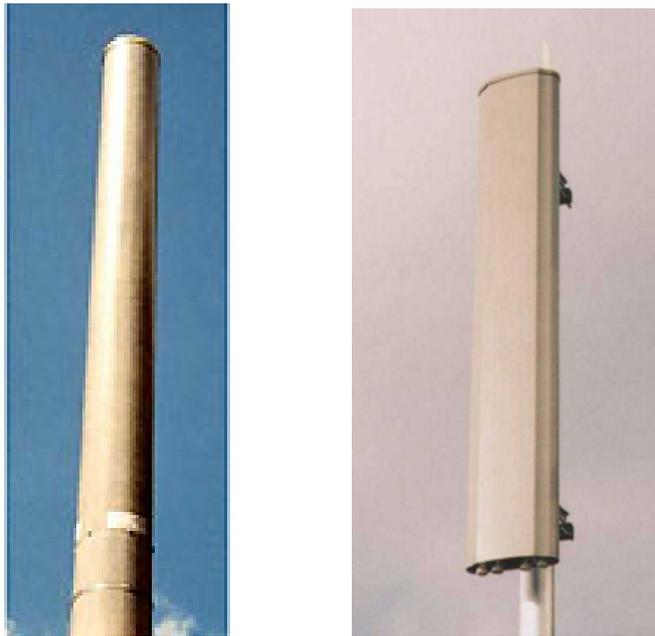
No obstante, si lo que se pretendiera es obtener el menor nivel de exposición radioeléctrica en todos los puntos de la Milla Digital, podría ser más adecuado no integrar los servicios de las diferentes operadoras en unas pocas estaciones radioeléctricas, sino utilizar el máximo número posible para que cada una de ellas radiara con una potencia menor. De esa forma, las zonas más próximas a las antenas estarían sometidas a niveles de exposición radioeléctrica menores. Sin embargo, dada la sensibilidad actual de los ciudadanos respecto a la instalación de estaciones base de telefonía móvil, es frecuente el caso de que las comunidades de vecinos se nieguen a ofrecer sus edificios para la ubicación de estaciones base. Esto puede conducir a un escenario en el que no sea posible el despliegue de los sistemas de telefonía móvil. Por ello, es aconsejable que los edificios o terrenos en los que se lleven a cabo las ubicaciones definitivas sean de titularidad pública, pues de ese modo podrá garantizarse la prestación de un servicio cuya importancia tanto económica como social es evidente. En cualquier caso, aunque la concentración de las instalaciones aumente el nivel de exposición radioeléctrica en las zonas próximas, éste nunca podrá superar el umbral establecido por la legislación vigente, que en este momento viene plasmada en el capítulo IV del REAL DECRETO 1066/2001, de 28 de Septiembre, junto con la ORDEN CTE/23/2002, de 11 de enero, esta última destinada a establecer las condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicación. El Reglamento recogido en dicho Decreto desarrolla la Ley General de Telecomunicaciones en lo relativo al establecimiento de condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, a la autorización, planificación e inspección de instalaciones radioeléctricas en relación con los límites de exposición a las emisiones, el establecimiento de otras restricciones a las emisiones radioeléctricas, la evaluación de equipos y aparatos y el régimen sancionador aplicable. Así, se establece:

- La ubicación, características y condiciones de funcionamiento de las estaciones radioeléctricas deben minimizar los niveles de exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas con origen tanto en éstas como, en su caso, en los terminales asociados a las mismas, manteniendo una adecuada calidad del servicio.
- En el caso de instalación de estaciones radioeléctricas en cubiertas de edificios residenciales, los titulares de instalaciones procurarán, siempre que sea posible, instalar el sistema emisor de manera que el diagrama de emisión no incida sobre el propio edificio, terraza o ático.
- La compartición de emplazamientos podría estar condicionada por la consiguiente concentración de emisiones radioeléctricas.
- De manera particular, la ubicación, características y condiciones de funcionamiento de las estaciones radioeléctricas debe minimizar, en la mayor medida posible, los niveles de emisión sobre espacios sensibles, tales como escuelas, centros de salud, hospitales o parques públicos.

Hay que tener en cuenta asimismo que el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo exige para la concesión de la certificación a una instalación radioeléctrica la presentación de un informe en el que se recogen los valores de las medidas radioléctricas efectuadas en las proximidades de la instalación, así como la realización de inspecciones periódicas con la toma de nuevas medidas.

Por lo que respecta a las estaciones base, algunas características relevantes son las siguientes:

- Son instalaciones industriales situadas sobre edificios. Deben tener Licencia de Obras y Licencia de Actividad.
- Una estación base de telefonía móvil consta de antenas con sus armazones de soporte, caseta de equipos electrónicos, vigas para repartir el peso, cables. Todo ello puede pesar de 3.000 a 10.000 Kg. Requiere un estudio técnico.
- La antena suele tener 1 metro de longitud.
- La emisión radioeléctrica se efectúa hacia el frente y en horizontal, y abarca un sector entre 60 y 120 grados. Las emisiones son casi inexistentes en el resto de direcciones (atrás, abajo y arriba).
- Se suelen instalar varias antenas en una ubicación para dar cobertura circular, aunque las antenas más modernas permiten usar un único elemento para dar cobertura a todos los sectores, lo que reduce considerablemente el impacto visual.
- En la configuración de tres antenas dirigidas a un mismo sector sólo emite la antena central, las otras mejoran la recepción sin que efectúen ningún tipo de emisión.
- Debe aprobarse por unanimidad de los vecinos, al suponer cambios estructurales del edificio, y no por mayoría simple como se suele hacer.
- La azotea queda ocupada e inutilizada para otros usos (jugar, tender, tomar el sol, etc).
- La comunidad es corresponsable de los daños que pueda ocasionar esta instalación.



**Figura 6.- Antenas de comunicaciones celulares**

El convencimiento por parte de muchos ciudadanos de que las emisiones radioeléctricas asociadas al móvil son dañinas para la salud ha obligado a las operadoras y a los fabricantes a cambiar radicalmente la estrategia en la implantación de las antenas de UMTS que se están instalando en estos momentos.

La primera modificación estratégica se basa en que no sean las operadoras (como ocurrió con el GSM) las responsables en primera instancia frente a los ayuntamientos y las comunidades de vecinos responsables de los edificios y las localidades donde se quiere instalar un repetidor celular de tercera generación.

En la mayoría de los casos Telefónica Móviles, Vodafone y Amena quedan en un segundo plano. Son sus suministradores de red, Ericsson, Siemens y Nortel, y las empresas instaladoras subcontratadas por ellos, quienes, primero, entablan las negociaciones con los administradores locales y los vecinos y, posteriormente, quienes suscriben los contratos de arrendamiento de los emplazamientos donde se ubicará el repetidor.

La segunda modificación en la estrategia del despliegue consiste en que los suministradores de equipos ofrecen a los ayuntamientos y a las comunidades de vecinos propietarias de los inmuebles un amplio catálogo de antenas. Los nuevos modelos de estaciones base presentan formas exteriores bastante diferentes de esa estructura de aspecto tan desafortunado constituida

por un mástil cargado de bocinas característico del GSM, que se ha hecho habitual en los tejados de las ciudades y en los márgenes de las carreteras.

La nueva gama de antenas de tercera generación de móvil cuenta con las formas más variadas. Siemens, por ejemplo, tiene modelos con forma de chimenea, cornisa o farola. Nortel ofrece antenas con apariencia de anuncio luminoso, árbol o sillar de cantería. Ambos fabricantes explican que los nuevos equipos repetidores han sido diseñados con estas formas con el fin de que *'puedan mimetizarse con el entorno urbanístico en el que van a quedar instalados de manera permanente'*. Se trata, en definitiva, de ofrecer productos tecnológicos a la carta, cuya forma externa no destaque ni llame la atención en relación con el entorno. Los suministradores aseguran que la nueva línea de productos responde *'al intento de los fabricantes por adaptarnos al avance de la conciencia urbanística y medio-ambiental que se ha desarrollado con fuerza en las ciudades españolas durante la última década'*, aunque en realidad parece más bien que con la nueva forma de las antenas, el sector pretende dar respuesta al clima contrario al despliegue de repetidores que se ha adueñado de la conciencia colectiva en muchos municipios del país.

La tercera de las estrategias puestas en marcha en este nuevo despliegue consiste en utilizar para los repetidores de UMTS, en muchos casos, las mismas ubicaciones en las que ya había equipos de GSM. Los fabricantes han desarrollado equipos mucho más pequeños y donde antes había sólo una estación de GSM, ahora conviven los equipos de red móvil de segunda y tercera generación.

Otra modificación significativa en la estrategia de los operadores y fabricantes para afrontar con garantías este momento de despliegue intensivo de las redes de UMTS, consiste en ofrecer un sólido soporte técnico, legal y sanitario a los equipos que buscan por toda la geografía nacional nuevos emplazamientos para las antenas. Una propuesta real de contrato de arrendamiento que hace a una comunidad de vecinos uno de los tres suministradores de equipos de red citados anteriormente, asociado a un instalador, contiene más de 110 páginas. En este voluminoso expediente se incluyen ocho documentos diferentes. El primero es la propuesta de contrato de arrendamiento. El segundo es una descripción, con múltiples gráficos y leyendas, en la que se detallan las características de la instalación que se va desplegar en la finca del arrendador. El tercero es un catálogo en el que están fotografiadas otras antenas ya instaladas. En dicho catálogo se aprecian las formas distintas que pueden adquirir los equipos para camuflarse o mimetizarse con el edificio en el que van a ser colocados. El cuarto documento es un estudio amplio en el que se recogen la normativa aplicable en este caso sobre protección de la salud. El quinto es una copia de un decreto ley de 2001 en el que se aprueban las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico y sus restricciones. El sexto documento es un estudio del Ministerio de Sanidad y Consumo titulado 'Campos electromagnéticos y salud pública'. El séptimo es una carta del Decano del Colegio de Ingenieros de Telecomunicación que avala la inocuidad para la salud de la instalación. El

último documento es una copia de las ordenanzas municipales aplicables de la ciudad donde se ubicará la antena.

Como se ha comentado, con el objeto de reducir el impacto visual, se deben llevar a cabo diferentes actuaciones que sigan unos criterios de mimetización con el edificio y su entorno, camuflando las instalaciones de forma que no parezcan lo que son; o de diferenciación, mediante la implantación de un elemento externo al edificio que, dentro de una lógica de proyecto, le permita integrarse en éste y pueda dejar constancia de su función y de la actividad que representa sin degradar el paisaje en el que se encuentra. Estos criterios se siguen en función de las características del edificio y de su entorno. Las pautas generales a seguir son:

- Adecuar la propuesta y ubicación de las instalaciones a la geometría del edificio.
- Ordenar los elementos de forma simétrica a los ejes del edificio.
- Minimizar la altura y los elementos en los soportes de las antenas.
- Intervenir sobre el soporte. Diseño de un elemento de soporte al que se puedan anclar los distintos elementos de la instalación, de forma que se evite el impacto visual que provocan en sí mismas las estructuras de soporte estándar.
- Tener en cuenta la escala del edificio.
- Utilizar casetas como contenedores abstractos, eliminando tejadillos y voladizos de cubierta.
- Posibilidad de colocación de plafones o radomos que agrupen las antenas, apareciendo los mástiles como elementos compactos.

Como ejemplo de mimetización, a continuación se muestra la solución propuesta por Tradia (actualmente Abertis Telecom). El edificio es un ejemplo de utilización de la cubierta para la colocación de instalaciones de telecomunicaciones, ya que dada su altura y situación en la ciudad se constituye como punto clave para la instalación de operadores. Actualmente, las instalaciones se colocan en el centro de la cubierta, agrupadas en mástiles de gran altura, dando lugar a una imagen bastante desordenada e impactante del conjunto que nada tiene que ver con la lógica del edificio ni de su entorno. La propuesta consiste en la colocación de un elemento perimetral, que permita la colocación ordenada de las antenas, ancladas directamente a la estructura del parapeto, que a su vez reduce la altura, dada su proximidad a la fachada. Se coloca una membrana permeable que, a modo de telón de fondo de las antenas, se constituye como una barrera de visuales. Ésta se sitúa ligeramente retrasada del peto de la fachada, como una banda más de la composición del

alzado, para evitar desvirtuar la imagen del edificio y permitir que su perfil se perciba limpio de antenas.



**Figura 7.- Ejemplo de mimetización de antenas (Fuente: Tradia).**

A continuación se muestran algunas antenas de banda ancha apropiadas para su uso en microcélulas en entornos urbanos que permiten la transmisión de las señales de GSM, GPRS y UMTS simultáneamente:





**Figura 8.- Antenas para microcélulas en entornos urbanos.**

### 3.2.3 Radio sobre fibra

En la actualidad, dos de los problemas con que se encuentra un operador de telefonía celular son: asegurar la cobertura total en todo el territorio en donde se pretenda ofrecer servicios y garantizar la comunicación en entornos muy congestionados, como son, en general, todas las zonas de negocios de las grandes ciudades. Para ello, se están planteando soluciones basadas en la transmisión de "Radio sobre Fibra".

El primero de los problemas se produce en las denominadas *zonas de sombra (dead spots)*. Este tipo de situación se produce en aquellas zonas en las que no es posible establecer una comunicación, debido al bajo o casi nulo nivel de señal recibida. Se dan típicamente en túneles, estaciones de metro, garajes subterráneos, etc.

El segundo de los problemas tiene lugar en las *zonas de gran cantidad de tráfico (hot spots)*. Debido a la creciente utilización de la telefonía móvil, existen áreas que tienden fácilmente a la congestión por la gran cantidad de usuarios que allí convergen al mismo tiempo. Es la situación típica de las zonas de negocios, aeropuertos, estaciones de tren, etc. Para evitar dicha saturación, se dividen las células radio en microcélulas e incluso en picocélulas, para así poder asegurar una mayor reutilización del espectro de frecuencias asignado, con lo cual se consigue un aumento del número de radiocanales disponibles. La solución habitual para ambos problemas consiste en aumentar el número de estaciones base desplegadas, de forma que cada microcélula, picocélula o zona de sombra esté servida por al menos una de ellas. Esto acarrea consigo un importante aumento de los costes de instalación, debido al elevado precio de una estación base; sobre todo en zonas remotas donde no es rentable

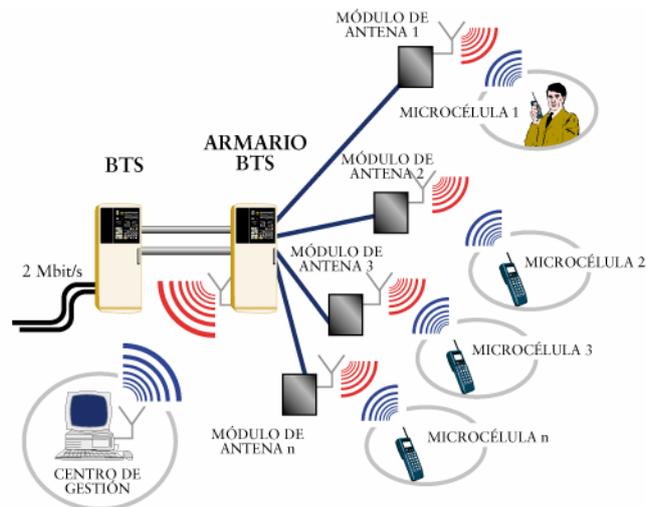
debido al bajo número de usuarios en ese entorno. Los repetidores de radio sobre fibra transportan las señales de telefonía móvil desde una única estación base a todos los puntos donde es necesario asegurar la cobertura. Al final un simple transceptor, amplifica y retransmite las señales a toda su zona. El transporte de dichas señales se hace mediante fibra óptica. El uso de la fibra óptica como medio de transmisión lleva consigo una serie de importantes ventajas:

- **Baja atenuación.** Frente a los 0,7 dB/m de un cable coaxial convencional, la fibra tiene unas pérdidas de 0,2 dB/km a 1.550 nm, es decir, 3.500 veces menos. Esto permite transportar las señales a grandes distancias sin el uso de repetidores intermedios, los cuales son necesarios en el caso del cable coaxial, con el consiguiente ahorro de costes.
- **Inmunidad a interferencias electromagnéticas.** La fibra emplea luz emitida por un láser para la comunicación, con lo cual no se ve afectada por las radiaciones electromagnéticas (de frecuencias mucho más bajas) del entorno. Esto es especialmente ventajoso para el cableado de edificios y en líneas de comunicaciones (donde se permite usar las canalizaciones existentes, ocupadas habitualmente por cables de teléfono, coaxiales, líneas de fuerza, etc.), para tender los cables de fibra con la seguridad de que no se verán afectados por el resto de las comunicaciones.
- **Gran ancho de banda.** El ancho de banda (relacionado con la capacidad de transporte de información) de una fibra es miles de veces superior al de un cable coaxial. En la fibra «cabén» todos los estándares de telefonía móvil (GSM, UMTS, etc.). Esto permite que los equipos desarrollados sean fácilmente adaptables a las bandas de transmisión que las operadoras requieran en cada momento.

La desventaja de la fibra óptica como medio de transmisión se debe a los efectos de la dispersión y no linealidad. La dispersión es el fenómeno por el cual un pulso se deforma a medida que se propaga a través de la fibra óptica, causando errores en la detección de los mismos en recepción además de añadir distorsión. Los efectos no lineales también causan distorsión en la señal debido a cualquier mecanismo del enlace óptico que no actúe de forma estrictamente lineal, como puede ser la fuente óptica o la propia fibra.

Así, mediante la tecnología de Radio sobre Fibra se puede dar cobertura a un conjunto de varias microcélulas usando una sola Estación Base (BTS). Dichas microcélulas pueden ser, por ejemplo, cada una de las plantas de un edificio o, en un trazado urbano, un conjunto de manzanas.

En la figura 9 se representa un escenario típico de aplicación del Sistema de Radio sobre Fibra.



**Figura 9.- Escenario de uso de radio sobre fibra.**

El Sistema de Radio sobre Fibra, como tal, consta de los cuatro bloques principales siguientes:

1. El Armario BTS.
2. Los Cables de Fibra.
3. Los Módulos de Antena.
4. El Centro de Gestión.

Se denomina enlace descendente al que se establece desde la Estación Base hacia el terminal móvil y enlace ascendente al establecido desde el móvil hacia la Estación Base.

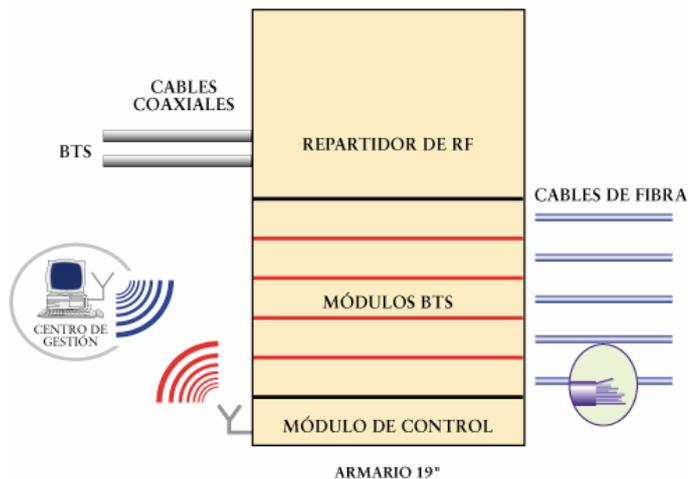
En el enlace descendente, la señal que proviene de la Estación Base (BTS), que es una señal de radiofrecuencia, se convierte a frecuencias de luz en el Armario BTS, se propaga por la fibra óptica hasta llegar al Módulo de Antena, en el cual se convierte de nuevo a radiofrecuencia, y se envía al aire a través de la antena acoplada a dicho módulo.

En el enlace ascendente, la señal que proviene del terminal móvil se recibe en el Módulo de Antena, donde se convierte a frecuencia óptica. Dicha señal viaja por la fibra hasta el Armario BTS, en el cual se convierte de nuevo a radiofrecuencia y se envía a la Estación Base.

Finalmente, las posibles alarmas generadas en los enlaces, así como una serie de comandos de configuración y control, se manejan desde el Centro de Gestión, conectado con el sistema vía radio a través de módem.

Con este sistema, pues, se mantiene la BTS, que es un equipo caro y voluminoso, en un punto central y se "alimentan" las microcélulas mediante módulos de antena, que son de pequeño tamaño y extremadamente sencillos, lo cual facilita mucho su instalación.

En la figura 10 se presenta un esquema de bloques de un Armario BTS.



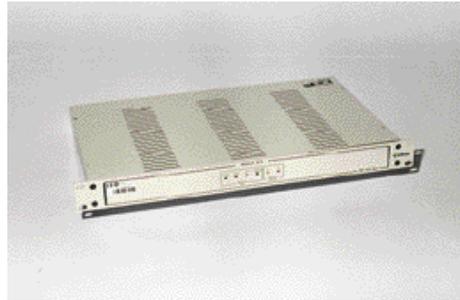
**Figura 10.- Armario BTS.**

Un armario BTS consta de los siguientes elementos:

- Repartidor de RF. Es la interfaz entre la Estación Base y la parte de conversión electro-óptica. Reparte los canales radio que se van a emitir entre los distintos enlaces a microcélulas.
- Módulos BTS. Cada módulo BTS realiza las conversiones electro-ópticas necesarias entre las señales de radiofrecuencia que provienen de la Estación Base y las señales ópticas que viajan por los cables de fibra óptica.
- Módulo de Control. El Módulo de Control controla y supervisa, tanto los Módulos BTS alojados en el armario, como los Módulos de Antena conectados a los cables de fibra óptica. Dicho módulo se comunica con un Sistema de Gestión residente en un ordenador remoto. Con este fin,

el módulo incluye generalmente un módem GSM y una salida coaxial que se conecta a una antena exterior. También existe la posibilidad de establecer una conexión local vía RS-232, para puesta en marcha, configuración y/o mantenimiento del equipo.

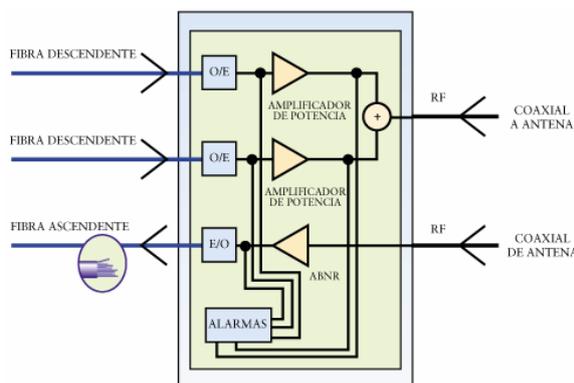
En la fotografía de la figura 11 se puede apreciar el aspecto de un Módulo BTS. El diseño mecánico está adaptado para ser alojado en un armario con mecánica de 19". El Módulo de Control tiene un aspecto similar.



**Figura 11.- Módulo BTS.**

En la parte frontal del mismo van alojados unos indicadores luminosos que dan información de alarmas del sistema.

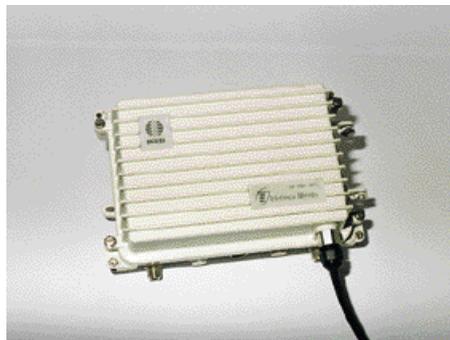
Por su parte, el Módulo de Antena realiza las conversiones electro-ópticas necesarias entre las señales ópticas que viajan por las fibras y las señales de radiofrecuencia que son radiadas y/o recibidas por la antena que da cobertura a la microcélula correspondiente. En el diagrama de bloques de la figura 12 se detalla la arquitectura de este módulo.



**Figura 12.- Diagrama de bloques del módulo de antena.**

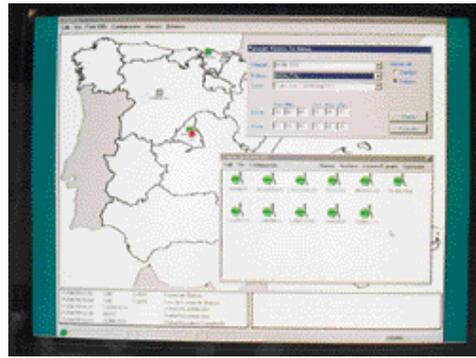
Los canales GSM descendentes, que viajan por la fibra, son convertidos a radiofrecuencia en los conversores O/E, amplificados hasta el nivel de potencia requerido y sumados para salir por un único cable hacia la antena. Por otra parte, las señales recibidas por la antena, que provienen de los terminales móviles (enlace ascendente), son amplificadas por un Amplificador de Bajo Nivel de Ruido (ABNR) y convertidas a óptico en el conversor E/O, para pasar así a la fibra que las lleva hasta el módulo BTS correspondiente. Finalmente, hay un Bloque de Alarmas donde se monitorizan tanto las señales ópticas como las eléctricas, para en caso de fallo enviar la alarma correspondiente al Módulo de Control, que a su vez lo comunicará al Centro de Gestión.

La fotografía de la figura 13 muestra un Módulo de Antena. Como ya se ha comentado, es de destacar su pequeño tamaño (295x187x103 mm). Este reducido tamaño es imprescindible para poder instalar los módulos en los entornos de edificios, minimizando el impacto visual de los mismos.



**Figura 13.- Módulo de antena**

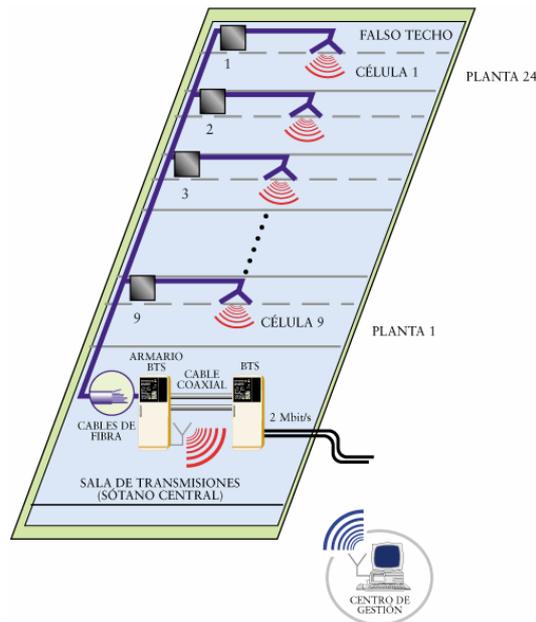
El Sistema de Gestión de los equipos de radio sobre fibra se basa generalmente en una aplicación para PC sobre sistema operativo Windows. En la figura 14 se puede ver la monitorización de una instalación real con 11 microcélulas de un Sistema de Gestión realizado por Telefónica Investigación y Desarrollo. Cada uno de los iconos representa un enlace desde la Estación Base hasta el punto de antena correspondiente. Pinchando sobre los mismos se obtiene información sobre el estado de la transmisión en cada momento. Si se dispara una alarma, el icono que representa el enlace afectado cambia de color para informar al operador.



**Figura 14.- Pantalla de control del Sistema de Gestión desarrollado por Telefónica I+D.**

El Sistema de Gestión se comunica con el Módulo de Control del Armario BTS para permitir la monitorización remota de los equipos, es decir, el Sistema de Gestión puede estar ubicado en una localización distinta a la de los enlaces de microcélulas.

Como ejemplo de aplicación del Sistema Radio sobre Fibra a edificios, se presenta en el diagrama de la figura 15 la instalación realizada en un edificio-torre de la ciudad de Madrid realizada por TELEFÓNICA.



**Figura 15.- Ejemplo de instalación real en una torre de la ciudad de Madrid.**

La Estación Base y el Armario BTS se encuentran alojados en el sótano central del edificio, que es donde se encuentra la sala de transmisiones del mismo, compartiendo espacio con otros equipos de comunicaciones.

Los cables de fibra óptica que suben a las plantas se tendieron aprovechando las canalizaciones ya existentes. La inmunidad de la fibra a las interferencias evitó tener que acometer nuevas obras de cableado en el edificio, lo cual hubiese supuesto un incremento de costes y una molestia para los usuarios del mismo.

Se usaron un total de 9 Módulos de Antena para dar cobertura a las 24 plantas del edificio. Algunos módulos daban cobertura a 2 plantas consecutivas y otros a 4 plantas.

Los Módulos de Antena se instalaron en el interior de unos armarios presentes en los extremos de las plantas, ocultos a la vista. Las antenas, del tipo monopolo, fueron colocadas en el interior del falso techo de las plantas correspondientes. Esto significa que el impacto visual del sistema es nulo.

### **3.2.4 Infraestructuras para el despliegue de redes WIMAX**

WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es el nombre comercial del estándar 802.16, un protocolo de transmisión de datos inalámbrico que va un paso más allá de WiFi. WiMax promete una velocidad de 70 megabits por segundo, que con una sola antena cubrirá un área de 50 kilómetros a la redonda, frente a los 300 metros de WiFi. Es decir, WiMax será a una ciudad entera lo que WiFi es para los hogares: conexión a Internet a alta velocidad sin cables.

La tecnología WiMax, respaldada por buena parte de las empresas más importantes del sector, permitirá con una inversión mínima crear redes inalámbricas metropolitanas conectadas a Internet a alta velocidad que compitan con las grandes empresas de telecomunicaciones. Tras un retraso en el proceso de certificación del estándar, se espera que durante el año 2006 comience a rodar en una primera fase, y que en 2007 se vendan los primeros equipos con chip WiMax integrado.

El nuevo estándar está respaldado por importantes fabricantes de equipos y proveedores de servicios. El WiMax Forum está formado por más de 230 miembros entre los que destacan nombres como Intel, Nokia, Siemens, Motorola, Samsung o Fujitsu, y donde no faltan operadores de telefonía como Deutsche Telekom, France Telecom, Telecom Italia o Euskaltel. Intel es el gran impulsor de esta nueva tecnología; ya produce los primeros chips WiMax que los fabricantes venderán integrados en sus equipos en unos dos años.

Además de las ventajas inherentes a una amplia red con gran capacidad, a través de la cual ofrecer todo tipo de servicios, WiMax se presenta como una eficiente alternativa para llevar Internet a lugares donde hasta ahora era prohibitivo, como las zonas rurales. En España, Iberbanda trabaja con Intel para llevar esta tecnología a zonas de Cataluña y Andalucía sin cobertura de banda ancha como el ADSL.

WiMax funciona mediante señales de radio al igual que WiFi, pero a diferencia de ésta, cuya señal comienza a degradarse cuando trabajan más de 20 personas a la vez, soporta varios cientos de usuarios por canal, con un gran ancho de banda. Es una tecnología adecuada para ofrecer múltiples servicios de calidad (voz sobre IP, datos, vídeo, etc.) de forma simultánea.

Intel anunció el lanzamiento de su chip con WiMax incorporado, llamado Rosedale, en abril de 2005, aunque en septiembre de 2004 suministró los primeros microprocesadores a los fabricantes de equipos (ya hay más de una decena de fabricantes con equipos preparados). Sin embargo, todavía no se ha completado el proceso de certificación y pasará bastante tiempo hasta que los fabricantes integren los nuevos procesadores en portátiles, PDAs y teléfonos móviles y se superen las pruebas de interoperabilidad entre distintos equipos.

Antes de que los portátiles vengan con chips para conectarse mediante WiMax, como ahora lo hacen con WiFi, WiMax funcionará en una primera fase mediante antenas receptoras situadas en los edificios, que se encargarán de recibir y decodificar la señal emitida desde una estación base. En una etapa posterior, que deberá llegar ya el año que viene, se venderán módems autoinstalables, similares a los que se ofrecen ahora para el acceso mediante ADSL, que costarán en torno a los 190 euros.

Finalmente, en 2007 ó 2008 los receptores de la señal WiMax estarán integrados en los equipos —si Intel cumple con la fecha prevista de comercialización de su chip PRO-Wireless 5116—, que se podrán conectar a la Red desde cualquier lugar dentro del radio de acción de una estación base.

En junio de 2005 Intel logró el apoyo de Nokia para convertir WiMax en el nuevo estándar de acceso inalámbrico a Internet. El respaldo del mayor fabricante de móviles puede dar el empujón definitivo para el despegue de esta tecnología. Francia, Irlanda y Gran Bretaña, donde British Telecom ya ha realizado pruebas en zonas rurales, ya han dado los primeros pasos para desplegar las redes WiMax. En EEUU, el operador de telefonía Sprint planea comenzar a probar equipos WiMax fabricados por Motorola.

En España, Andalucía se ha convertido en pionera en la adopción de WiMax. La Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa e Iberbanda han firmado un acuerdo de colaboración por el que la segunda se compromete a invertir un mínimo de 9,5 millones de euros para el desarrollo de proyectos de telecomunicaciones inalámbricas y el despliegue de infraestructuras de tecnología WiMax.

Además, el WiMAX Forum ha seleccionado a CETECOM, empresa participada mayoritariamente por la Junta de Andalucía, como su primer (y hasta la fecha único) laboratorio oficial de certificación para todo el mundo. El inicio de las pruebas de la certificación de equipos, que garanticen su interoperabilidad, está marcado para este mismo mes de julio. Si no se presentan nuevos retrasos, los primeros equipos certificados podrán ver la luz el año que viene, y en 2007 aparecerán los primeros ordenadores con tecnología WiMax integrada.

Iberbanda ya está desplegando una red 'preWiMax' mediante estaciones base con un radio de hasta 30 kilómetros, que ofrece conexiones de banda ancha a 256 Kbps y 4 Mbps (similares a las distintas modalidades del ADSL actual), sobre la que podrá implantar la tecnología WiMax cuando esté disponible. WiMax opera en frecuencias libres (5,8 Ghz), menos adecuadas para ofrecer movilidad, y en otras bandas (3,5 Ghz) en poder de operadores de LMDS (tecnología de acceso en banda ancha vía radio) como Iberbanda, que parten con ventaja para competir con la telefonía celular.

Aunque no todos los especialistas coinciden en garantizar el triunfo de WiMax sobre otras tecnologías, resulta evidente que nos espera un futuro conectado a Internet a alta velocidad, sin cables, sin ataduras.

Los reyes del acceso a Internet por banda ancha son el ADSL y el cable, con WiFi para llevar la Red por el aire dentro de un espacio de unos centenares de metros y UMTS para hacerla completamente móvil (aunque de un coste muy superior). WiMax viene a trastocar un poco los planes de todas estas tecnologías, pues a todas les puede llegar a afectar de alguna manera. La instalación es mucho más barata que la del UMTS o las redes de cable; una pequeña inversión será suficiente para cubrir una ciudad entera con servicios de voz y datos sin necesidad de abrir zanjas.

En principio WiMax no compete con WiFi, pues permitirá conectar los puntos de acceso (*hotspots*) de WiFi entre sí. De la misma forma, puede desarrollarse en paralelo a los accesos por banda ancha ofrecidos por las redes de cable y ADSL. Sin embargo, si se convierte en un estándar de uso generalizado y se despliega de forma masiva, podría reemplazar a otros tipos de conexión, e incluso amenazar a la telefonía móvil de tercera generación. La firma de investigación TelecomView destaca en un estudio las buenas opciones de WiMax para acaparar hacia 2009 buena parte de la cuota de mercado del UMTS y el ADSL, tecnologías que en algunos casos puede complementar pero en otros sustituir.

La batalla actual entre los proveedores de acceso a Internet está en la última milla, el bucle local o tramo del cable que llega hasta los hogares. El desarrollo de WiMax podría acabar con el dominio del mercado del que disfrutaban los propietarios de las líneas que van desde las centralitas a cada domicilio (en España casi en exclusiva de Telefónica). Con esta nueva tecnología, cualquier proveedor podrá ofrecer acceso a Internet de banda

ancha directamente a las casas, sin necesidad de tender una red de cable hasta cada hogar. Y, aunque WiMax nació con el objetivo de cubrir la última milla, también será capaz de ofrecer una alternativa a las conexiones por cable y ADSL.

También representa un serio rival, al menos a medio plazo, para la telefonía móvil de tercera generación (UMTS). Las nuevas operadoras móviles podrían emplear el estándar WiMax para competir con la telefonía 3G, aunque esto dependerá de los organismos reguladores. De hecho, hay un período de restricción (hasta 2007) destinado a que los operadores intenten recuperar sus cuantiosas inversiones en el despliegue de UMTS.

Pero aunque WiMax pueda ser un adversario de UMTS en zonas metropolitanas, será difícil que se despliegue una red que cubra todo el territorio y compita en movilidad con las redes de telefonía. Sin embargo, la siguiente revisión del estándar, 802.16e (conocido como WiMax móvil), sí que aparece como alternativa sólida a las redes de telefonía 3G. Por lo que pueda pasar, los operadores ya trabajan en una nueva red (Súper 3G), diez veces más potente que la actual.



**Figura 16.- Antenas WiMax.**

Toda esta evolución nos encamina hacia un cuarto nivel de las comunicaciones móviles. Más allá de las PAN, LAN y MAN inalámbricas, se encuentra el nuevo desarrollo de la IEEE: las redes de área global o GAN, cuyo nombre técnico es Mobile Broadband Wireless Access (MBWA). Esta norma, 802.20, definirá la forma en la que los usuarios permanecerán conectados a Internet desplazándose de un lado a otro.

### 3.2.5 Infraestructuras para el despliegue de redes WiFi

Bajo el nombre genérico de WiFi (*Wireless Fidelity*) se conoce al conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11, un sistema de transmisión de datos diseñado para proveer acceso a red por radio en lugar de infraestructura de cable. WiFi es una marca de la WiFi Alliance (anteriormente la *Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), la organización comercial que prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares IEEE 802.11x. Esta estandarización es fundamental para asegurar la compatibilidad entre los dispositivos de distintos fabricantes.

WiFi se creó para ser utilizada en redes locales inalámbricas (*wireless LAN* o *WLAN*), pero es frecuente que en la actualidad también se utilice para proporcionar puntos de acceso inalámbrico a Internet (*hotspots*).

En el entorno empresarial, las redes de área local inalámbricas implementan por lo general el último enlace entre la red cableada y los ordenadores, dando a estos usuarios acceso inalámbrico a todos los recursos y servicios de la red corporativa a lo largo de las instalaciones de la empresa.

La principal ventaja de WiFi frente a las redes de área local cableadas es la movilidad, ya que libera a los usuarios de la dependencia del acceso a red por cable, dando acceso a red en cualquier momento y en cualquier lugar.

Otra ventaja de WiFi radica en su menor coste de instalación por dispositivo y por usuario. Esta reducción se hace especialmente importante en localizaciones difíciles de cablear. Además también se reduce coste de mantenimiento en entornos que requieren modificaciones frecuentes.

Hay tres tipos de WiFi, basado cada uno de ellos en un estándar IEEE 802.11:

- 802.11a: Alcanza velocidades de hasta 54 Mbps dentro de los estándares del IEEE y opera dentro del rango de los 5 GHz. Inicialmente se soportan hasta 64 usuarios por Punto de Acceso. Sus principales ventajas son su velocidad y la ausencia de interferencias en la frecuencia que usa. Sus principales desventajas son su incompatibilidad con los estándares 802.11b y g, y fundamentalmente la no disponibilidad de esta frecuencia en Europa, dado que esta frecuencia está reservada a la HyperLAN2.
- 802.11b: Alcanza una velocidad de 11 Mbps estandarizada por el IEEE y opera dentro de la frecuencia de los 2,4 GHz. Inicialmente se soportan hasta 32 usuarios por Punto de Acceso. Su principal inconveniente es la masificación de la frecuencia en la que transmite y recibe, pues en los 2'4 GHz funcionan teléfonos inalámbricos, teclados y ratones inalámbricos, hornos microondas, dispositivos Bluetooth, etc., lo cual puede provocar interferencias. En el lado positivo está su rápida

adopción por parte de una gran comunidad de usuarios debido principalmente a unos muy bajos precios de sus dispositivos y que la banda de frecuencia de 2,4 GHz está disponible en todo el mundo y no requiere el uso de licencia.

- 802.11g: Se basa en la compatibilidad con los dispositivos 802.11b y en el ofrecer unas velocidades de hasta 54 Mbps. Funciona dentro de la frecuencia de 2,4 Ghz. Presenta los mismos inconvenientes y ventajas que el 802.11b, con la ventaja añadida de su mayor velocidad.

La velocidad máxima teórica (54Mbps en el caso de 802.11g) se ve reducida en la realidad según la distancia a la que se encuentre el Punto de Acceso, las paredes u otros obstáculos intermedios, el número de usuarios y las interferencias. Los Puntos de Acceso presentan alcances máximos del orden de 100 a 300 metros, aunque esos alcances únicamente se logran en condiciones óptimas, viéndose notablemente reducidos en escenarios reales por la presencia de obstáculos.

Uno de los problemas más graves a los cuales se enfrenta actualmente la tecnología WiFi es la seguridad. Un muy elevado porcentaje de redes se han instalado por administradores de sistemas o de redes por su simplicidad de implementación, sin tener en consideración la seguridad y por tanto han convertido sus redes en redes abiertas, sin proteger el acceso a la información que por ellas circulan. La protección debe asegurar que un intruso no sea capaz de acceder a los recursos de la red utilizando dispositivos WiFi similares ni de capturar la información que se está transmitiendo.

Existen varias alternativas para garantizar la seguridad de estas redes, las más comunes son la utilización de protocolos de cifrado de datos como el WEP y el WPA, proporcionados por los propios dispositivos inalámbricos, o IPSEC (túneles IP) y 802.1x, proporcionados por otros dispositivos de la red de datos.

Otro inconveniente de WiFi es que su especificación no incorpora garantías de Calidad de Servicio (QoS), lo que en principio impediría ofrecer transmisión de voz y contenidos multimedia online.

Sea cual sea el estándar utilizado vamos a disponer principalmente de dos tipos de dispositivos:

- Dispositivos “Tarjetas de red”, o TR, que serán los que tengamos integrados en nuestro ordenador, o bien conectados mediante un conector PCMCIA o USB si estamos en un portátil o en un slot PCI si estamos en un ordenador de sobremesa. Recibirán y enviarán la información hacia su destino desde el ordenador en el que estemos trabajando.



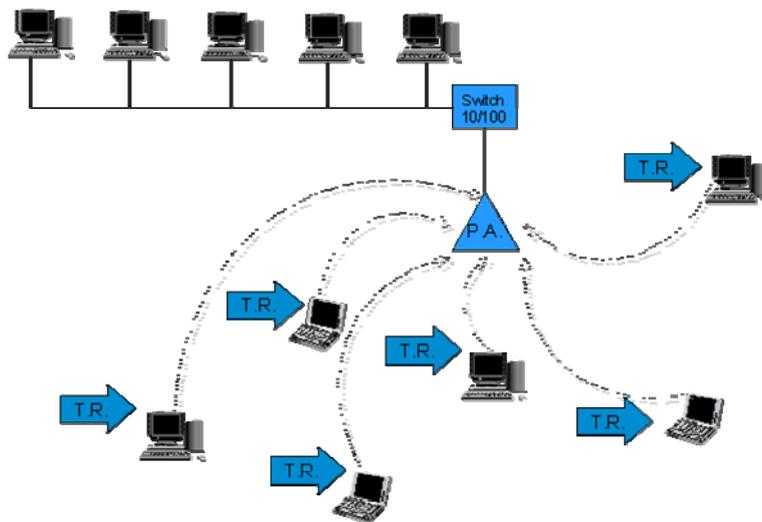
**Figura 17.- Tarjetas de Red WiFi.**

- Dispositivos “Puntos de Acceso”, o PA, los cuales serán los encargados de recibir la información de los diferentes TR de los que conste la red bien para su centralización bien para su encaminamiento. Complementan a los Hubs, Switches o Routers, si bien muchos de los Puntos de Acceso incorporan también funcionalidad de Router.



**Figura 18.- Puntos de Acceso WiFi.**

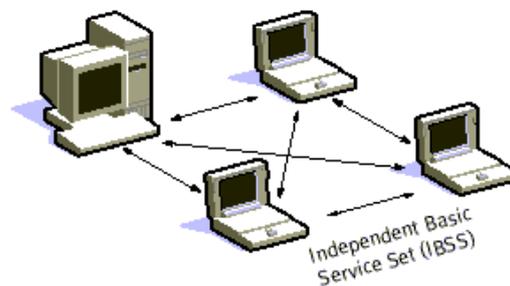
En la figura 19 se muestra un esquema habitual en el que un Punto de Acceso conecta a varios dispositivos Tarjeta de Red a la red local, a través de un switch.



**Figura 19.- Esquema de una red inalámbrica.**

En el caso de las redes inalámbricas, existen dos topologías básicas:

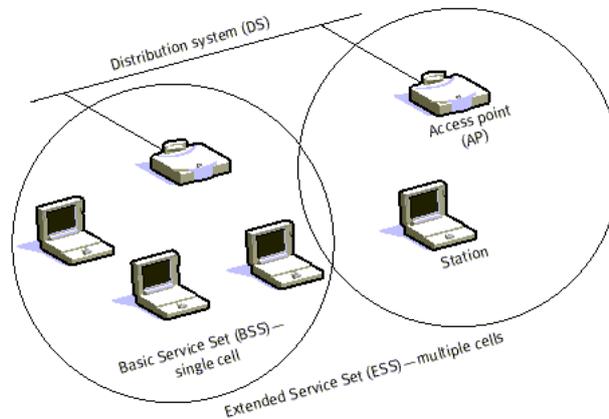
- Topología Ad-Hoc. Cada dispositivo se puede comunicar con todos los demás. Cada nodo forma parte de una red Peer to Peer o de igual a igual. No hay un nodo central. Este tipo de redes se puede establecer rápidamente y suelen ser limitadas en el tiempo y en el espacio.



**Figura 20.- Topología Ad-Hoc.**

- Topología Infraestructura, en el cual existe un nodo central (Punto de Acceso WiFi) que sirve de enlace para todos los demás (Tarjetas de Red Wifi). Este nodo sirve para encaminar las tramas hacia una red convencional o hacia otras redes distintas. Los Puntos de Acceso se interconectan mediante el Sistema de Distribución. Esto incrementa la

cobertura de la red, ya que cada Punto de Acceso se convierte en un nodo de una red mayor.



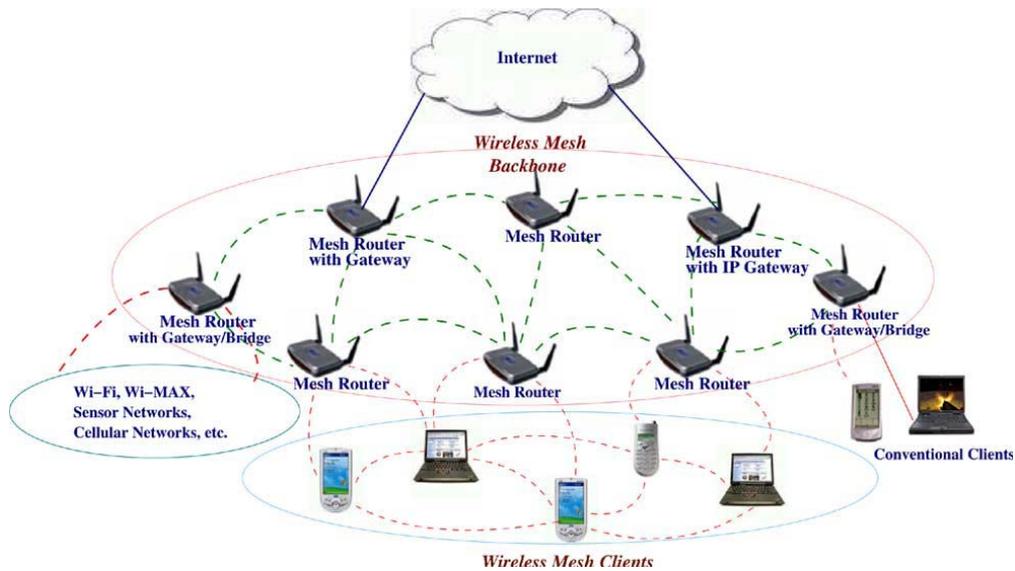
**Figura 21.- Topología Infraestructura.**

La implementación del Sistema de Distribución no está especificada por el 802.11, pudiendo implementarse mediante otras tecnologías. Por lo general suele ser cableado, utilizando por ejemplo una red Ethernet, pero podría pensarse en una red basada en WiMAX.

Uno de los requisitos de la especificación 802.11 es que debe ser compatible con las redes cableadas existentes. Para ello alguno de los elementos debe actuar como puente (*bridge*) entre la red inalámbrica y la cableada. La mayoría de Puntos de Acceso permiten la conexión a redes Ethernet (802.3).

Un caso especial de topología de redes inalámbricas es el caso de las redes Mesh.

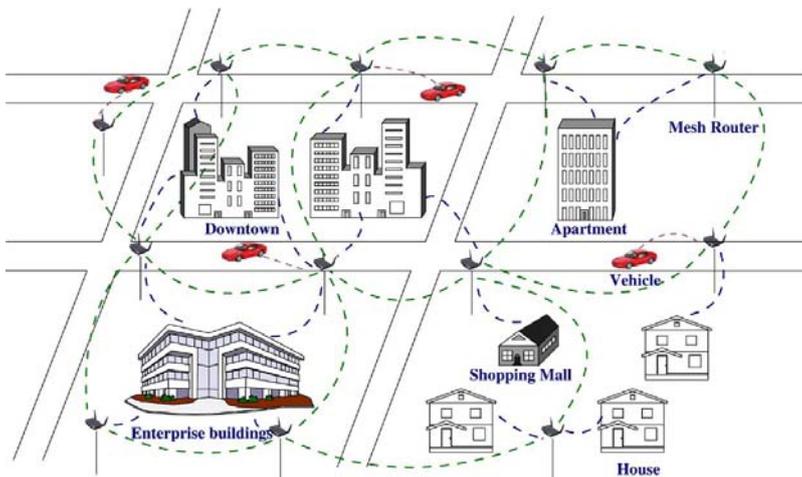
Las redes Mesh, o redes acopladas, son aquellas redes en las que se mezclan las dos topologías de las redes inalámbricas. Básicamente son redes con topología de infraestructura, pero que permiten a los Puntos de Acceso comunicarse entre ellos con una topología Ad-Hoc. Esto hace que el establecimiento y mantenimiento de la red sea más sencillo. Además la red es más robusta, pues la caída de un nodo no implica la caída de toda la red.



**Figura 22.- Red Mesh.**

Para que esto sea posible, los Puntos de Acceso han de tener la capacidad de encaminar la información hasta su destino, por lo que se denominan Mesh Routers. Para interconectar la red con otras redes existentes (Internet, red de área local cableada, otras redes inalámbricas) se utilizan Puntos de Acceso con capacidad de funcionar como Gateway o Bridge.

En la figura 23 se muestra un ejemplo de aplicación de una red Mesh a un entorno metropolitano.



**Figura 23.- Aplicación de una red Mesh a un entorno metropolitano.**

### 3.3 Conclusiones relativas a la red de acceso

Tras estudiar las diferentes tecnologías existentes para la red de acceso se hace necesario establecer algunas conclusiones concretas para su aplicación en el proyecto Milla Digital.

En lo que respecta a la tecnología de acceso por cable, existe hoy en día una fuerte e interesante discusión acerca de si las tecnologías ‘todo Ethernet’ o las tecnologías PON son las más acertadas para nuevas redes de acceso basadas en fibra óptica. Teniendo en cuenta que vamos a llevar la fibra óptica muy cerca del hogar, las tecnologías PON podrían tener bastante interés, pero su mayor ventaja es la de poder ahorrar fibra en el tramo desde la central (OLT) hasta los divisores. En las dimensiones que estamos planteando, y dada la distancia entre nodo y parcelas, la solución basada en Ethernet podría ser competitiva frente a la tecnología PON, aunque precisaría más fibras ópticas para dar servicio a todas las parcelas/edificios. En cualquier caso ambas tecnologías tienen sus ventajas e inconvenientes y lo más importante es que con el diseño de red que hemos propuesto no nos limitamos si queremos escoger una u otra. Las redes PON van a tender a mejorar con toda seguridad y quién sabe si en unos meses podrán aportar nuevas ventajas que inclinen la balanza hacia esta tecnología. Las tecnologías ADSL y cable-modem se descartarían por no llegar hasta los valores de 100Mb/s por hogar, y pensar en tecnologías xDSL con mayor ancho de banda puede tener algún sentido en redes de acceso basadas en pares ya instaladas, pero no para una nueva instalación.

Es recomendable descartar, a priori, el uso de tecnología PLC. Si bien esta tecnología podría ser una buena solución para edificios ya construidos (por ejemplo, hoteles) sobre los que el coste de una nueva infraestructura de comunicaciones sería prohibitivo, el proyecto Milla Digital se plantea sobre la base de nuevas edificaciones. En este contexto, y a la vista de la evidente falta de madurez de la tecnología PLC, no parece adecuado apostar por esta tecnología como base para la red de acceso.

En cuanto a las tecnologías inalámbricas, su enorme auge obliga a tenerlas muy presentes. A este respecto podemos hacer algunas consideraciones:

- Debido a la necesidad de instalación de antenas y estaciones base (GSM, GPRS, UMTS) en las azoteas de algunos edificios, se hace indispensable la máxima mimetización de las mismas con objeto de reducir al máximo el impacto ambiental producido. En este punto, conviene recordar que si se quiere reducir el nivel de exposición radioeléctrica en el área de la Milla Digital lo más adecuado es diversificar al máximo las estaciones radioeléctricas con el fin de minimizar la potencia que éstas tengan que radiar para dar servicio a los usuarios. En este sentido, se debe procurar, del modo que se estime más oportuno por parte del Ayuntamiento (edificios públicos, acuerdos con las Comunidades de Vecinos, etc.), que existan suficientes

Con formato: Con viñetas +  
Nivel: 1 + Alineación: 0,63 cm  
+ Tabulación después de: 1,27  
cm + Sangría: 1,27 cm

ubicaciones para estas instalaciones, de modo que pueda proporcionarse una adecuada calidad de servicio a los usuarios.

Eliminado: ¶

- La disponibilidad de una red troncal debidamente dimensionada facilitará la utilización de soluciones basadas en radio sobre fibra, que redundarán en diversos beneficios que van desde la eliminación de zonas de sombra de coberturas hasta la provisión de servicios en entornos picocelulares con gran densidad de usuarios.
- Por último, la penetración creciente de las redes inalámbricas obliga a una apuesta firme por redes basadas en tecnologías WiFi y WiMax. En el momento actual se puede plantear una solución híbrida utilizando ambas tecnologías. En cualquier caso, hay que mantener una vigilancia tecnológica intensa con el fin de seguir la evolución de estas tecnologías y otras como los estándares 802.20.
- Asimismo, el dimensionado de la red troncal deberá tener en cuenta la posibilidad de utilización de tecnologías inalámbricas en diversos elementos de mobiliario público (farolas, semáforos, etc.).
- Se propone la provisión de cobertura total para el acceso inalámbrico en todos los espacios públicos (parques, aceras, calzadas, edificios de uso público, etc.). La tecnología concreta a utilizar (IEEE 802.11g ...) dependerá del momento en el que se proceda al despliegue de la red. Dado que los precios son muy variables y que el número de puntos de acceso depende enormemente de la urbanización final del entorno (edificios, mobiliario urbano, arbolado, etc.) es difícil realizar una estimación fiable en cuanto al presupuesto. En cualquier caso, puede considerarse que en la actualidad el precio total por punto de acceso instalado rondaría los 3.500 euros, incluyendo un convertor óptico-eléctrico, mecanizado de los elementos urbanos que soportaran las antenas, alimentación eléctrica e instalación.

← --- Con formato: Sangría:  
Izquierda: 0,63 cm

← --- Con formato: Numeración y  
viñetas

## 4 Presupuesto

### Zona de Portillo:

Nota: esta parte está más desarrollada dado que se han podido conocer los metros exactos de zanja.

### Cable más obra civil

-1 Nodo Principal *	a 80.000 €/Ud.....	80.000 €
-5 Cabinas exteriores de empalme*	a 5.000 €/Ud. ....	25.000 €
-15 cajas exteriores de empalme*	a 2.000 €/Ud. ....	30.000 €

-1.725 ml. de canalización para telecomunicaciones constituida por 6 tuberías en paralelo de P.V.C. Ø110 mm. envuelta en prisma de hormigón HM-12,5, de 45x55 cm., en zanja, obras de tierra, parte proporcional de arquetas y obras accesorias, cableado de fibra óptica, malla de señalización, mantenimiento de servicios, totalmente terminada.

a 45 €/ml. .... 77.625 €

-800 ml. de Canalización para telecomunicaciones constituida por 4 tuberías en paralelo de P.V.C. Ø110 mm. envuelta en prisma de hormigón HM-12,5, de 45x41 cm. en zanja, obras de tierra, parte proporcional de arquetas y obras accesorias, cableado de fibra óptica, malla de señalización, mantenimiento de servicios, totalmente terminada

a 37 €/ml. .... 29.600 €

-3.200 ml. de Canalización para telecomunicaciones constituida por 1 tubería de P.V.C. Ø110 mm. envuelta en prisma de hormigón HM-12,5, de 30x31 cm. en zanja, obras de tierra, parte proporcional de arquetas y obras accesorias, cableado, malla de señalización, mantenimiento de servicios, totalmente terminada (Capilaridad)

a 17 €/ml. .... 54.400 €

- 2 km de cable de 256 fibras	a 25€/ml.....	50.000 €
- 1 km de cable de 64 fibras	a 6 €/ml.....	6.000 €
- 3.5 km de cable flexible de 2 fibras	a 2€/ml .....	7.000€

### Equipos de telecomunicaciones

Se dan precios por equipo, pero el total dependerá de la configuración precisa:

1 ADM SDH (2.5G)	a 30000	30000€
1 ADM SDH (10G)	a 80000	80000€
1 Nodos CWDM (8 lambdas)	a 60000	60000€
1 Nodos DWDM (32 lambdas)	a 400000	400000€
1 Routers Switches GbEthernet	a 18000	18000€

Una configuración para el nodo en el corto plazo podría ser 1 nodo CWDM con 2 lambdas y 2 nodos SDH a 2.5 Gb/s con salida a 4 switches GbEthernet  
 .....150000€

**TOTAL ZONA PORTILLO..... 509.625€**

### **Zona Milla digital**

Nota: esta parte no está desarrollada, las dimensiones de la red son estimativas y se han medido con Google Earth.

#### **Cable más obra civil**

-3 Nodo Principal \* a 80.000 €/Ud..... 240.000 €  
 -15 Cabinas exteriores de empalme\* a 5.000 €/Ud. .... 75.000 €  
 -45 cajas exteriores de empalme\* a 2.000 €/Ud. .... 90.000 €

-6500 ml. de canalización para telecomunicaciones constituida por 6 tuberías en paralelo de P.V.C. Ø110 mm. envuelta en prisma de hormigón HM-12,5, de 45x55 cm., en zanja, obras de tierra, parte proporcional de arquetas y obras accesorias, cableado de fibra óptica, malla de señalización, mantenimiento de servicios, totalmente terminada.  
 a 45 €/ml. .... 292.500 €

-6000 ml. de Canalización para telecomunicaciones constituida por 4 tuberías en paralelo de P.V.C. Ø110 mm. envuelta en prisma de hormigón HM-12,5, de 45x41 cm. en zanja, obras de tierra, parte proporcional de arquetas y obras accesorias, cableado de fibra óptica, malla de señalización, mantenimiento de servicios, totalmente terminada  
 a 37 €/ml. ....222.000 €

-9000 ml. de Canalización para telecomunicaciones constituida por 1 tubería de P.V.C. Ø110 mm. envuelta en prisma de hormigón HM-12,5, de 30x31 cm. en zanja, obras de tierra, parte proporcional de arquetas y obras accesorias, cableado, malla de señalización, mantenimiento de servicios, totalmente terminada (Capilaridad)  
 a 17 €/ml. .... 153.000 €

- 7 km de cable de 256 fibras a 25€/ml..... 175.000 €  
 - 6 km de cable de 64 fibras a 6 €/ml..... 36.000 €  
 - 10 km de cable flexible de 2 fibras a 2€/ml ..... 20.000€

#### **Equipos de telecomunicaciones**

Una configuración para el nodo en el corto plazo podría ser 1 nodo CWDM con 2 lambdas y 2 nodos SDH a 2.5 Gb/s con salida a 4 switches GbEthernet por nodo.....a 150000€ por nodo .....450.000€  
 Habría que sumar los ADMs de salida a la red troncal (10G) .....160.000€

**TOTAL ZONA MILLA DIGITAL..... 1.913.500€**

A estos precios habría que sumarles los correspondientes aumentos por gastos generales e IVA.

<b>TOTAL CABLE, OBRA CIVIL .....</b>	<b>1.663.125€</b>
<b>EQUIPAMIENTO MÍNIMO.....</b>	<b>760.000€</b>
<b>TOTAL.....</b>	<b>2.423.125€</b>

Notas:

- En la zona de Milla digital habría que quitar la obra civil de aquellas canalizaciones que ya estuvieran realizadas a través de galerías de servicio
- No se ha incluido el posible nuevo nodo en la EXPO2008
- El coste del equipamiento es muy aproximado, ya que depende fuertemente de la tecnología que finalmente se utilice, de cuando se compre y del volumen de equipamiento que se vaya a comprar. Soluciones llave en mano tenderán a disminuir el precio. Con este equipamiento sólo se daría servicio a las primeras viviendas y empresas, posteriormente habría que ir aumentando el equipamiento según se necesitara. Si se utilizan tecnologías PON se precisará nuevo equipamiento y se deberán instalar divisores. En la configuración propuesta sólo está incluido el equipamiento para el transporte de los datos entre nodos. Por tanto no están contemplados los equipamientos que pudieran ser necesarios para realizar ingeniería de tráfico (ATM, FrameRelay, MPLS) por no disponer de información fiable en este momento ni conocerse si finalmente se aplicará alguna de estas tecnologías. Por tanto el presupuesto de equipamiento debe tomarse con mucho cuidado y afinarse cuando se aproxime el momento del despliegue.
- No se ha tenido en cuenta la posible instalación de cable de pares.