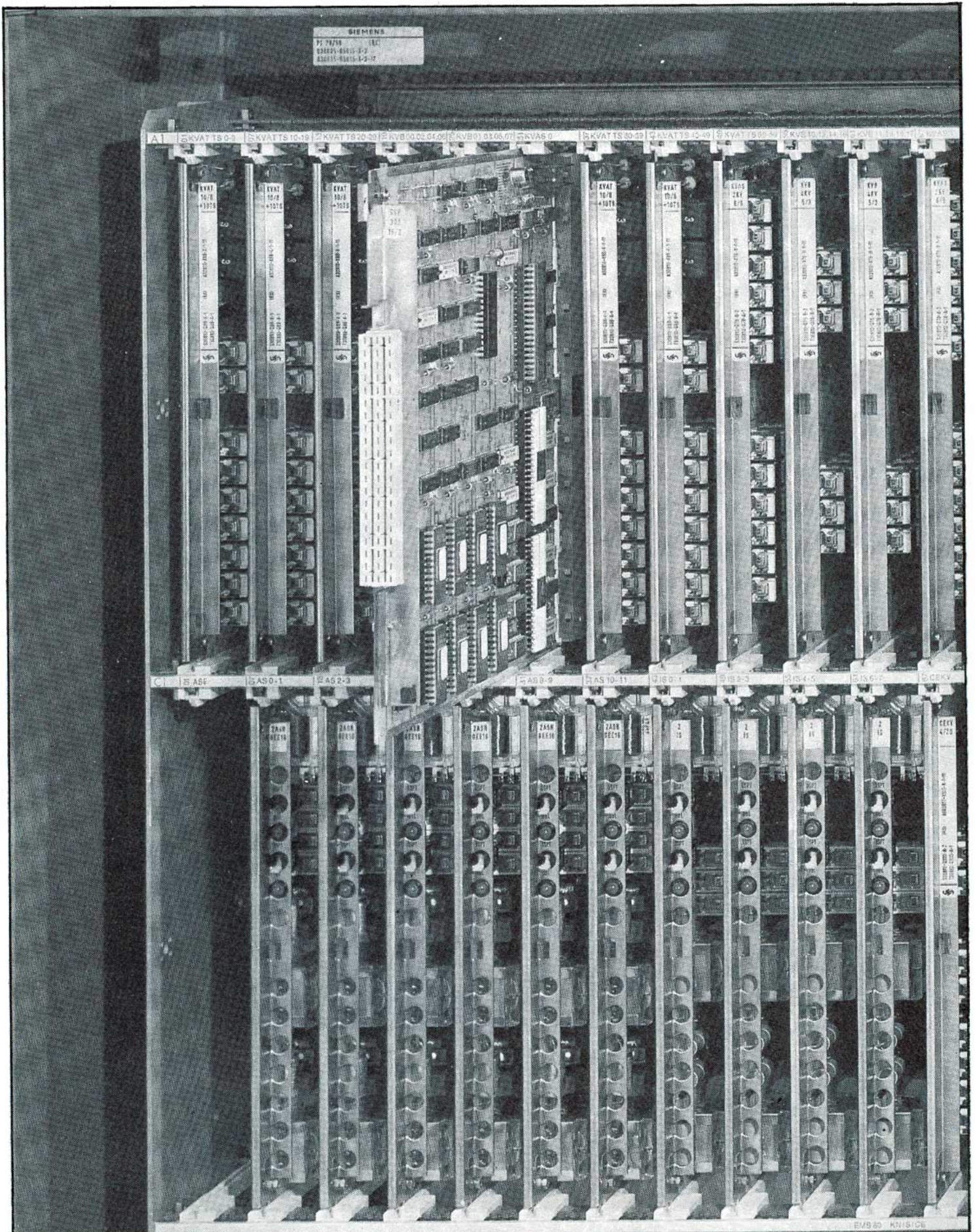




LAS TÉCNICAS ANALÓGICAS Y DIGITALES EN LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

J.M. Hernando Rábanos

Un enfoque clásico para analizar y valorar la influencia de las técnicas analógicas y digitales en los sistemas de telecomunicación, es el evolutivo.

La prehistoria digital podemos situarla en los primeros sistemas telegráficos de tipo óptico y eléctrico. Y si bien en un principio esta técnica es única y se expande con brío, pronto queda aminorada por la invención y desarrollo posterior del teléfono. La influencia del teléfono y su técnica analógica intrínseca, ha sido tan grande en el mundo de las telecomunicaciones que ha condicionado prácticamente el desarrollo de éstas hasta bien entrada la década de los 60, es decir durante más de medio siglo.

Ello se debe, a nuestro juicio, a una concepción de sistema que otorga prioridad al terminal de usuario sobre la red y adapta el desarrollo de ésta a la condición de contorno establecida por un terminal sencillo.

En pleno desarrollo de los sistemas analógicos van surgiendo estudios relativos a señales digitales, que permiten un mejor conocimiento de éstas y sus eventuales ventajas para la transmisión de la información, las cuales se vienen exponiendo desde hace tiempo y con profusión en la literatura técnica.

Hoy día asistimos a un creciente proceso de digitalización con tres incidencias importantes para el ingeniero: en la fuente de la información (nuevos codecs basados en el proceso digital de la señal) en la transmisión (nuevos sistemas de modulación digital para transmisión por línea y radio) y en la conmutación (centrales electrónicas digitales).

Sin olvidar el gran volumen de planta analógica —todavía preponderante— en las tres facetas anteriores de los sistemas: fuente, transmisión y conmuta-

ción, se observa que la penetración de la tecnología digital se registra en lo que pudiéramos llamar "escenario profesional"; es decir: la red (salvo la red local), mientras que las técnicas analógicas van quedando relegadas, por el momento, al "escenario de usuario".

En telefonía esto parece ser cierto, con algunos atisbos de cambio (estudios en curso sobre la eventual digitalización del bucle y/o terminales de abonado). En radiodifusión (sonora y TV) parece que el "ambiente analógico" será inamovible durante muchos años, es decir prevalecerá el "escenario de usuario", entre otras razones, por el volumen del parque de equipos de usuario.

En otros servicios de radiocomunicaciones, la expectativa es de situaciones mixtas, por ejemplo, combinación de sistemas digitales de llamada o determinación, con técnicas analógicas de comunicación de mensajes (servicios móviles marítimo y aeronáutico, terrenales y por satélite).

Seguidamente analizaremos el estado actual de la técnica analógica, para pasar a revista a continuación a la situación y evolución previsible de las redes de telecomunicación en su acepción de redes para el diálogo entre terminales.

LA TÉCNICA ANALÓGICA ACTUAL. INFLUENCIA DEL ORDENADOR

En cuanto a la génesis y procesamiento de las señales, la vía analógica parece estar agotada. Los sistemas son ya clásicos y no se vislumbran otros nuevos.

En el ámbito de la tecnología, se han registrado avances bien conocidos como los derivados de la miniaturización, tecnología vertical, mejora de fiabilidad, reducción de consumo, etc., pero también aquí puede reconocerse cierto conservadurismo.

El crecimiento es prácticamente tan sólo de tipo vegetativo.

El desarrollo tecnológico parece haber concluido en la capacidad de 10.800 canales y puede ser que estos equipos serán los últimos que se fabriquen e instalen.

En numerosas publicaciones se señala al ordenador electrónico como "responsable" de los que pudiéramos llamar "invasión digital". Es razonable pensar así. La repercusión del ordenador en numerosas áreas del entorno socioeconómico ha sido tan elevada, que ha originado nuevas tecnologías de las que se han beneficiado la propia industria de ordenadores y, subsiguientemente, las de telecomunicaciones.

Los sistemas de telecomunicación no podían ser ajenos a la progresiva penetración del ordenador en todas las ramas de la actividad económica e industrial del sector.

Así hemos asistido al rápido crecimiento y evolución de los sistemas MIC, tanto de base como en las diferentes jerarquías digitales, que han sido viables gracias a la tecnología y componentes promovidos por la industria de los ordenadores y que constituyen una importante base para las redes digitales. Los procesadores de señales modernos (codecs) perfeccionan aún más la digitalización de las señales reduciendo la velocidad binaria o mejorando la calidad (mayor anchura de banda) para la misma velocidad que en la MIC convencional.

Hoy día no parece tener ya mucho sentido la posible "competencia" que pudo suscitarse entre las técnicas analógica y digital. El último límite actual al crecimiento sostenido de esta última es el usuario ya sea aparato telefónico o receptor de radio o TV. Este área de equi-

pos de usuario pudiera ser un último "bastión" de refugio de la técnica analógica.

Sin embargo cabe pensar que si se pasa de una filosofía "individualista" que implica el bucle analógico autónomo de abonado o la radiodifusión analógica, a una concepción "comunitaria", cabe digitalizar el enlace entre el centro local de conmutación de la información y el domicilio del usuario, con las ventajas que pudieran derivarse. Además la técnica digital puede ofrecer al usuario ventajas operativas y facilidades que son onerosas o de complejo logro con los sistemas analógicos, como son todas las derivadas de la integración de servicios. No obstante, no parece que este tipo de soluciones pueda estar vigente a corto plazo a menos que exista una "fractura" tecnológica importante como podría ser, por ejemplo, la implantación de fibras ópticas, que justificaría un concentrador en un edificio del que se extrajeran las líneas analógicas hasta cada terminal de abonado.

LAS REDES

El tratamiento de las señales de información en los sistemas de telecomunicación tiende a irse contemplando cada vez en mayor grado desde la perspectiva de la red. Por consiguiente, cualquier valoración de técnicas debe tener presente necesariamente los diversos tipos de redes.

Hasta ahora, las redes de telecomunicación se han caracterizado, entre otros atributos, por su especificidad y particularidad. (Red telefónica, Red de transmisión de datos, Red Telex). Pasando por una etapa intermedia de mayor o menor interconectividad de estas redes se registra una clara tendencia a una red de servicios integrados, que curse tráfico de información de diferente naturaleza.

Una red de este tipo, por su propia misión integradora, condiciona la naturaleza de las señales, que han de ser adecuadas para poder realizar una integración viable técnica y económicamente.

Otro aspecto que incide favorablemente y propicia la integración de las redes, es el ordenador. Tras haber promovido los nuevos métodos y tecnología de proceso de señales, los ordenadores se insertan en la red existente, en forma de órganos de control de los sistemas de conmutación y, subsiguientemente, profundizan su penetración hasta ser los elementos que configuran las nuevas fami-

lias de centrales electrónicas.

Por otro lado, su decisiva presencia en el marco económico-industrial propicia la creación de nuevas redes que, en principio, son muy reducidas (líneas arrendadas), pero que evolucionan hasta adquirir personalidad propia (redes especiales de transmisión de datos). En estas redes, la estructura de señal está dictada todavía por la filosofía analógica (módulo canal) que requiere equipo de adaptación (modems) pero ya la conmutación y el control son autónomos y totalmente dispares de los sistemas imperantes en redes analógicas. Subsisten todavía las redes clásicas soporte de los servicios digitales asíncronos de baja velocidad (telex).

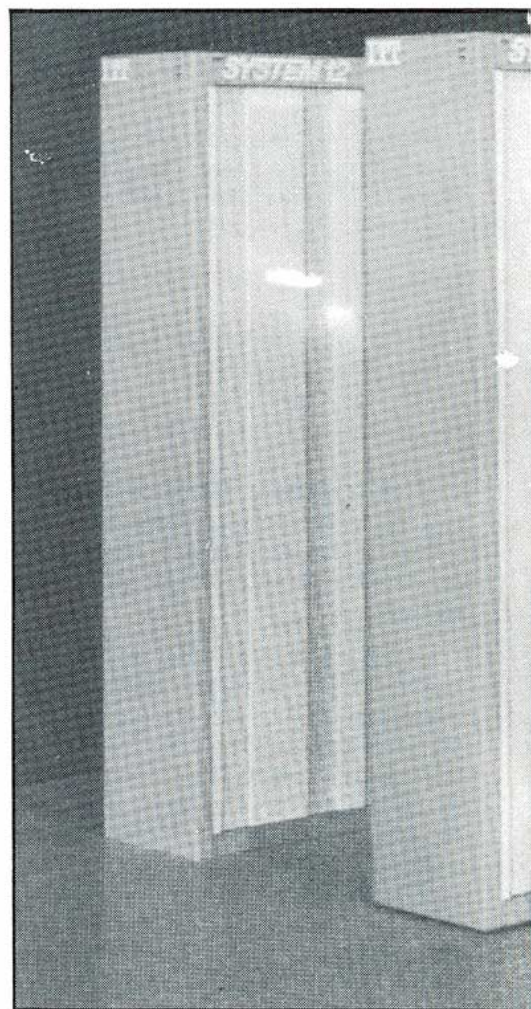
Las redes constituidas sobre una base analógica son poco flexibles para acomodar otras señales y/o tráfico. Imponen la utilización de adaptadores de señal que limitan la elección de parámetros de terminales. Además, al articularse sobre el módulo de 3 KHz de anchura de banda, tampoco permiten velocidades de transmisión elevadas.

La red analógica tampoco puede brindar, al menos con relativa sencillez, otros importantes servicios o facilidades complementarios del telefónico como podrían ser la velocidad variable, transmisión de gráficos, registro de la información, etc.

El intento frustrado de implantación del servicio videotelefónico por una red analógica más o menos especializada, constituye quizá un ejemplo más de que tal red ha tocado techo.

Ante esta visión quizá pesimista, podrá alegarse que hay nuevos servicios como el facsímil y el videotex que son soportados por la red analógica. Sin embargo es bien conocido el coste: la necesidad de modems y adaptadores más o menos complejos que obliguen al usuario a disponer de numeroso equipamiento de interfaz red/terminal.

Vista la insuficiencia de las técnicas analógicas para el desarrollo de una red de gran latitud y operatividad y disponiendo de la potente herramienta de los ordenadores y su tecnología asociada, a precios razonables, para la conversión de señales, estructuración y gestión de la red, pasemos a examinar las redes digitales y su atributo primario que es el de facultar la integración de servicios que permita acotar la excesiva proliferación de redes monoservicio.

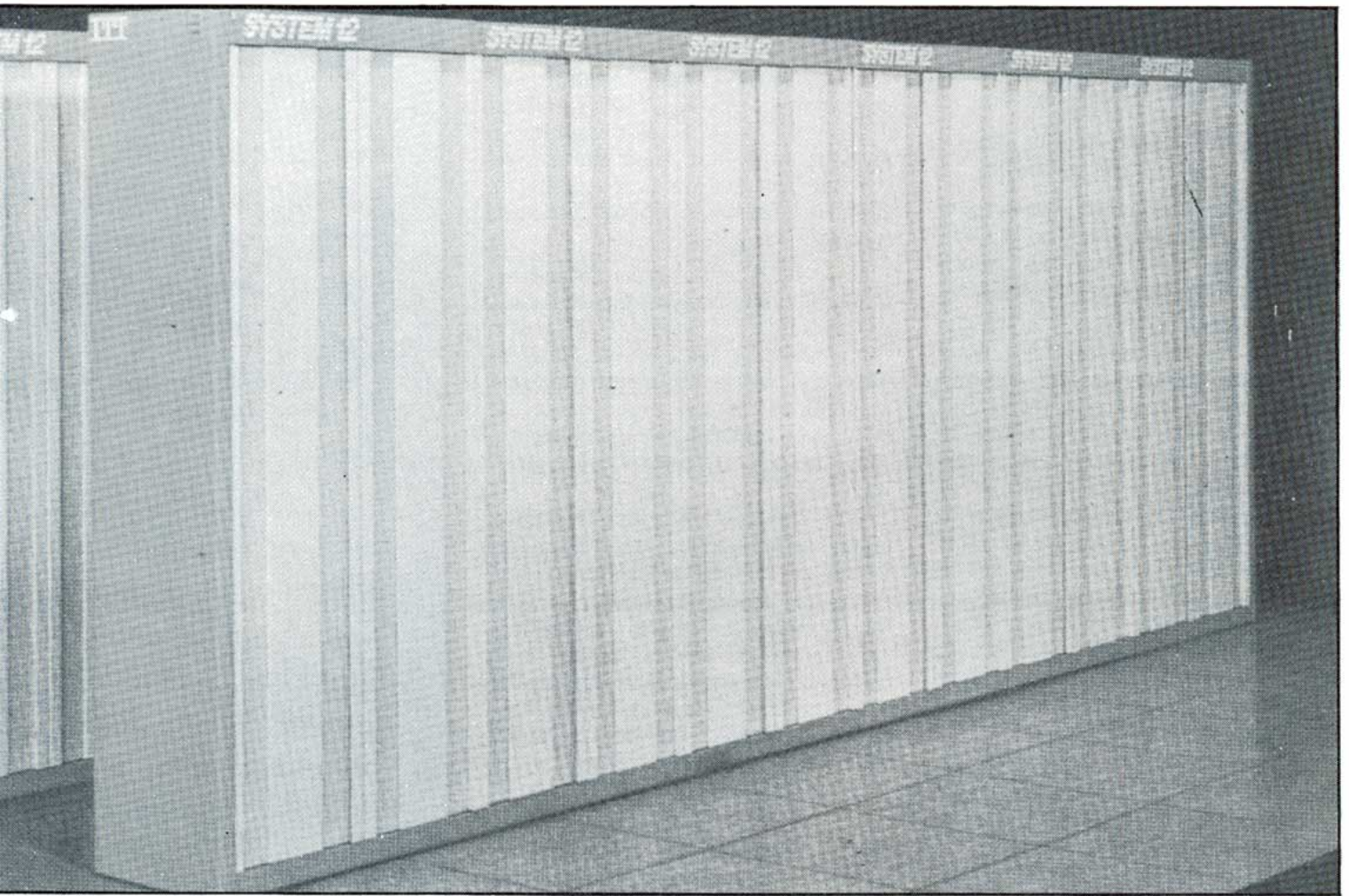


Es bien conocido que cualquier señal digitalizada se "despersonaliza", adquiere atributos simples e independientes, en cierto grado, de su origen, pudiendo ser multiplexada y conmutada con tecnología ya disponible. Se llega así a la conclusión de que la integración requiere la previa digitalización de las señales.

Un aspecto importante de la naturaleza digital de las señales es que cambia totalmente el método de planificación. Se sustituye el clásico concepto de equivalente por el de unidades de degradación que se reparten en los distintos procesos digitales de la señal en el seno de la red, manteniendo un objetivo global.

Aparece entonces una primera fase evolutiva de las redes que es la red digital integrada (RDI), que presenta como ventajas:

- a) Flexibilidad para establecer sub-redes apropiadas para servicios específicos.
- b) Posibilidad de modificar mediante "logical" la velocidad y otras características de los circuitos.



c) Control de errores de transmisión.

d) Cuando esté justificado, supresión de redundancia de las señales.

e) No acumulación de la distorsión y el ruido con lo que la calidad de la señal es independiente de la distancia.

f) Mayor facilidad de interfuncionamiento entre diferentes servicios.

Las características de tráfico de los servicios no telefónicos pueden admitir retardos razonables, lo cual redundará en la utilización eficaz de los circuitos mediante control del volumen de tráfico por almacenamiento o cambio de la velocidad.

Parece así interesante e importante el desarrollo de redes digitales para los servicios no telefónicos como los de facsímil video y transmisión de datos, e ir incorporando progresivamente a esta red el servicio telefónico en la medida en que se vaya digitalizando.

Así pues la tendencia es hacia la construcción de una red digital integrada que incluye todos los servicios de telecomunicación.

Podemos ahora formular con más precisión el nombre de lo que podrá ser una futura red universal: Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) ya definida en el CCITT y objeto hoy día de activa investigación aplicada.

La RDSI constituye un ejemplo de red articulada funcionalmente frente al concepto clásico de red basada en la naturaleza de la señal, con las limitaciones inherentes que ya se han comentado. La RDSI se estructura tomando como base la velocidad binaria de 64 Kbit/s, a fin de aprovechar los codificadores telefónicos MIC existentes. Esto implica efectuar adaptaciones de velocidad digital para otras señales no telefónicas (datos, facsímil,...) mediante los oportunos transcodificadores digitales. Estos equipos junto con los multiplexores digitales para acceso y salida definen un campo importante de desarrollo de las técnicas digitales asociadas a esta red general.

En la RDSI convergen diversas redes digitales especializadas. Ha de ser una red general y flexible por la que pueda transmitirse, convertirse, almacenarse y

procesarse cualquier tipo de información. Deberá poder [CCITT]:

a) Facilitar los servicios de telecomunicación previstos, que se estructurarán de manera que sean compatibles con conexiones digitales con conmutación a 64 Kbit/s.

b) Utilizar e interconectar tipos muy diversos de terminales.

c) Enlazar y establecer comunicaciones entre distintos tipos de equipos y/o servicios. Durante el período de transición, habrá que tomar medidas para el interfuncionamiento de los servicios ofrecidos por la RDSI y por otras redes.

d) Satisfacer las características de los servicios y las funciones de mantenimiento y gestión de la red.

e) Utilizar los servicios informáticos disponibles.

f) Facilitar circuitos y servicios de red arrendados.

g) Facilitar servicios de telemedida y telecontrol.

La RDSI, estará basada en la RDI telefónica, que tomará como punto de

partida e incorporará progresivamente funciones y características de otras redes especializadas a fin de dar cabida a los servicios existentes y a otros nuevos.

LOS TERMINALES DIGITALES PARA TELEFONICA (CODECS)

Solamente examinaremos esta aplicación por considerarla suficientemente representativa y por constituir actualmente el objeto de activa investigación.

Articulada la RDSI en el módulo 64 Kbit/s, los diversos desarrollos de codecs digitales se basan en esta velocidad binaria y submúltiplos de la misma. Particularmente interesante es la de 32 Kbit/s, para la que están en curso numerosos estudios y evaluaciones en el CCITT, tendentes a normalizar esta velocidad en el actual Período de Estudios, aunque se está examinando un amplio conjunto de nuevos métodos de codificación para velocidades binarias comprendidas entre algo menos de 10 Kbit/s y 32 Kbit/s, y se estudia la lista de parámetros necesarios para definir y normalizar los algoritmos de codificación.

En un reciente estudio, se estima que, para 1985, puede multiplicarse por siete el volumen del mercado de digitalizadores de señales vocales.

El desarrollo de protocolos normalizados deberá facilitar la integración de estos digitalizadores tanto en las redes de datos existentes como en las previstas. La compatibilidad de estos protocolos con la Rec. X.25 del CCITT, fomentará la inserción de estos codecs en las redes con conmutación de paquetes.

Otra tendencia que se registra a raíz de la digitalización de la señal vocal, es el almacenamiento de esta señal digitalizada en sistemas de ordenadores, lo que permite aplicar la técnica de almacenamiento y envío que inaugura una nueva aplicación el "correo electrónico oral" para enlazar oficinas en el futuro.

Todos los codecs digitales que se estudian actualmente se basan en el principio de la codificación predictiva, la cual simplifica el proceso de digitalización, reduce considerablemente la anchura de banda y conduce a una realización práctica altamente fiable.

En la literatura técnica especializada (IEEE Trans. on Com., ASSP etc.), pueden encontrarse descripciones de los algoritmos y equipos correspondientes a estos modernos métodos de codificación digital de la palabra. A título de ejemplo

se citan seguidamente algunos de ellos.

— ADM (Adaptive Delta Modulation), Modulación Delta Adaptable, con compansión. Velocidades de transmisión 16,24 y 32 Kbit/s. La NTT japonesa ha comunicado que, en la actualidad, tiene previstas aplicaciones de la ADM a 32 Kbit/s a teléfonos sin hilos, particularmente a los de automóviles.

— ADPCM (Adaptive Differential PCM), MIC diferencial adaptable, en sus modalidades de predictor fijo (f) y predictor adaptable (a), con velocidades de 16,24 y 32 Kbit/s. La variedad adaptable a 32 Kbit/s, ha sido propuesta por la NTT como candidato para la normalización internacional de esta velocidad binaria.

— APC-AB (Adaptive Predictive Coding with Adaptive Bit Allocation). Emplea un método de codificación predictiva con división de banda y un sistema de atribución de bits para eliminar redundancias debidas a la naturaleza no uniforme del espectro de la señal vocal y a la concentración de energía residual periódica. Se ha propuesto como candidato para normalización internacional de la codificación de la palabra a 16 Kbit/s.

— ATC (Adaptive Transform Coding) Codificación por transformación adaptable. Se somete la señal telefónica a una transformación coseno discreta, con lo que se pasa al dominio de la frecuencia y se cuantifica mediante un método de atribución adaptable de bits.

Se logran velocidades binarias de 9,6, 16 y 32 Kbit/s.

— PARCOR — Se trata de un procedimiento de análisis-síntesis de la palabra en el cual se expresan las características espectrales en términos de los coeficientes de autocorrelación parcial. Se han efectuado experimentos con velocidades binarias de transmisión de tan sólo 2,4, 4,8 y 9,6 Kbit/s.

Los resultados de pruebas subjetivas efectuadas con codecs diseñados con arreglo a los algoritmos de codificación citados, permiten establecer para la velocidad de 32 Kbit/s, el siguiente orden ascendente de calidad de señal vocal: PCM — ADM — ADPCM (f) — ADPCM (a) — ATC — APC-AB. Este último codec obtuvo el mejor valor del coeficiente Q de opinión (37 dB) y el PCM convencional el más pequeño (17 dB). A 16 Kbit/s, también el codec APC-AB obtuvo el mejor coeficiente Q que, en este caso, fue igual a 31 dB.



En cuanto a unidades de degradación para los codecs digitales aquí citados, se han propuesto los siguientes valores:

Codec	32 Kbit/s	16 Kbit/s
APC-AB.....	1.....	3'8
ATC.....	1'8.....	4'7
ADPCM (a).....	4.....	—
ADPCM (f).....	6.....	—
ADM.....	7.....	—

(Referencia: MIC = 1 unidad a 64 Kbit/s).

Todos estos valores son meramente indicativos y provisionales ya que los resultados de las evaluaciones difieren de unos países a otros. Están en curso de estudio métodos para corregir estas variaciones y métodos puramente objetivos.

La comunidad de usuarios todavía no es plenamente consciente de las posibilidades de la digitalización de los terminales, ni está suficientemente preparada para explotarlas, lo que garantiza sus perspectivas y potencialidad.



LA INCIDENCIA DE LAS TÉCNICAS DIGITALES EN OTROS SERVICIOS

Pudiera parecer que la digitalización se reserva a sistemas que hacen uso de medios de transmisión tipo "cable" generalizados (no sólo de tipo metálico, sino "cables hertzianos" y fibras ópticas), manteniéndose las técnicas clásicas en aquellos servicios que emplean las ondas radioeléctricas fundamentalmente en su modalidad de difusión. Vamos a ver que, en estos casos, cabe hablar de soluciones mixtas en función de la aplicación.

Los servicios de radiodifusión sonora y de TV parece que constituirán durante muchos años el bastión donde se refugien las técnicas analógicas clásicas de modulación.

No se detecta por ninguna parte la tendencia a que la radiodifusión se digitalice. El enorme parque de aparatos receptores de usuarios lo impide. Incluso proposiciones no tan drásticas, como el paso a BLU de las emisiones de onda

corta, encuentran una fuerte resistencia para su implantación.

En estos sistemas de radiodifusión está clara la prevalencia de la concepción individualista sobre la comunitaria, por lo que no parecen procedentes ni la digitalización ni la integración.

Sin embargo, en sistemas con mayor tendencia comunitaria, cuyo exponente más claro es la radiodifusión por satélite, están actualmente en curso investigaciones conducentes a la transmisión digital de TV para la conexión Centro de producción — Satélite — Instalación receptora comunal, distribuyéndose luego la señal a los usuarios en forma convencional.

Asimismo, en aplicaciones profesionales restringidas a los medios de producción de radio y TV, se registra una incidencia creciente de las técnicas digitales. Podemos citar como representativas la grabación digital de programas, la transmisión del sonido de TV mediante MIC en los impulsos de sincronización en las conexiones a los centros emisores, las aplicaciones de videotex no interactivo. (teletexto)

Existen todavía algunas aplicaciones que se están comenzando a realizar prácticamente y que utilizan subportadoras de la portadora principal para transmitir informaciones adicionales con modulaciones analógicas y digitales.

En cuanto a la difusión por cable de señales sonoras y de TV, nada obsta, en principio, para que, previa digitalización y adaptación a la jerarquía digital apropiada, puedan difundirse a los usuarios a través de la RDSI.

En el ámbito de las radiocomunicaciones móviles se observa la misma tendencia general. En las redes privadas de escasa dimensión en las que prepondera el aspecto individual, se conservan las técnicas analógicas clásicas de modulación de frecuencia, de banda estrecha con preacentuación. Son conocidos los serios problemas derivados de la escasez de espectro que se agudiza paulatinamente, al intentar dar cabida a un número creciente de usuarios.

Cuando estos servicios móviles se profesionalizan y se establecen redes con conexión a la red telefónica pública bajo la tutela de la administración de telecomunicaciones o empresa privada reconocida, se aprovechan las ventajas de las técnicas digitales, comenzando por la señalización (llamada selectiva digital, procedimientos de localización de la esta-

ción móvil, etc.) y continuando con la propia señal de conversación, y así las técnicas de procesamiento digital de la señal vocal por vocodificación con predicción lineal o por compensadores silábicos con recuperación de silencios, permiten reducir a 1200 bit/s, la velocidad necesaria para la transmisión inteligible de la palabra hablada, manteniendo en cierto grado los aspectos intrínsecos de la personalidad.

La aplicación de estos métodos y la síntesis de portadoras controlada digitalmente en los terminales asociados a las estaciones de base, permite multiplicar por ocho la capacidad de las portadoras RF, en relación con la modulación analógica MF convencional.

Además de este notable incremento en la eficacia de utilización del espectro radioeléctrico, la señal telefónica así digitalizada es susceptible de integrarse en una red digital con sistemas de conmutación avanzados ("packetized voice").

Paralelamente a este tratamiento de la señal telefónica e información de señalización se investigan y ensayan nuevas técnicas digitales de modulación de la portadora RF, derivadas de la FSK clásicas, con el objetivo de reducir el espectro radiado fuera de banda a fin de minimizar la interferencia en canal adyacente.

Las modulaciones MSK (modulación por desplazamiento mínimo) y TFM (modulación de frecuencia moderada) pueden citarse como ejemplos típicos de estas tendencias.

Estas técnicas abren el cauce para la transmisión de datos e informaciones digitales en los sistemas móviles, tanto convencionales como de espectro ensanchado y, junto con los modernos sistemas de planificación celular, están logrando extender los servicios de comunicaciones, particularmente el telefónico, al ámbito móvil (automóviles privados, ferrocarriles, etc.).

Esta es, por otra parte, la tendencia para las futuras comunicaciones móviles por satélite en las que el pequeño factor de calidad G/T que puede alcanzarse económicamente en una estación móvil, se compensa con un menor ruido asociado a los sistemas de modulación.

Por último deben citarse los sistemas radioeléctricos de espectro ensanchado para aplicaciones de los servicios fijos y móviles que son intrínsecamente digitales en todas sus diversas variantes. ■