



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GSM  
DENTRO DE UN EDIFICIO CORPORATIVO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA

GARCIA CAUDILLO JUAN EDUARDO

ASESOR:

PÉREZ BAEZ JOSÉ LUIS

NEZAHUALCOYOTL, ESTADO DE MÉXICO

AÑO 2012



Capítulo I

Antecedentes Teóricos



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## ÍNDICE

<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>1</b>
<b>PREFACIO.....</b>	<b>2</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>5</b>
<b>ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....</b>	<b>6</b>
HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES.....	9
CRONOLOGÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES. ....	10
DE LO ANALÓGICO A LO DIGITAL. TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN. ....	42
<b>CAPÍTULO I ANTECEDENTES TEÓRICOS .....</b>	<b>49</b>
CONCEPTOS GENERALES EN LAS TELECOMUNICACIONES .....	50
1.- <i>Fundamentos de telecomunicaciones.</i> .....	50
2.- <i>Señales analógicas y digitales.</i> .....	52
3.- <i>Características en tiempo y frecuencia de las señales.</i> .....	54
4.- <i>Ancho de banda de la voz humana en telefonía.</i> .....	66
5.- <i>Conversión de voz analógica a digital.</i> .....	69
6.- <i>Multiplex en frecuencia y en tiempo.</i> .....	73
7.- <i>Modulación analógica y digital.</i> .....	80
8.- <i>Medios de transmisión</i> .....	91
9.- <i>Central Telefónica. Central para conmutación de circuitos.</i> .....	107
10.- <i>Digitalización de la red telefónica. Enlaces; R.D.S.I.</i> .....	131
TELEFONÍA CELULAR, ASPECTOS TÉCNICOS .....	154
1.- <i>Introducción</i> .....	155
2.- <i>Funcionamiento de la telefonía celular</i> .....	155
3.- <i>Hardware Parte física del sistema de telecomunicaciones.</i> .....	156
4.- <i>Cobertura</i> .....	164
5.- <i>Codificación de la señal de la célula</i> .....	165
6.- <i>Reutilización de frecuencias.</i> .....	167
7.- <i>Software del sistema de Telecomunicaciones.</i> .....	168
8.- <i>Capacidad. Formula de Erlang B.</i> .....	168
9.- <i>Subsistemas</i> .....	169
GENERACIONES DE TELEFONÍA CELULAR .....	172
1.- <i>Introducción. Generaciones de telefonía celular.</i> .....	173
2.- <i>Aspectos técnicos de la primera generación de celular. 1G.</i> .....	175
3.- <i>Aspectos técnicos de la segunda generación de celular. 2G.</i> .....	183
4.- <i>Aspectos técnicos de la tercera generación de celular. 3G.</i> .....	189
5.- <i>La historia de la telefonía celular en México</i> .....	193
6.- <i>Cuarta generación (4G)</i> .....	194
7.- <i>Introducción al estándar GSM</i> .....	195
<b>CONCLUSIONES DEL CAPITULO .....</b>	<b>198</b>

# Prólogo

Esta tesis sobre telecomunicaciones es una herramienta de trabajo tanto para ingenieros como para personas que están fuera de ese contexto. Explica detalladamente una nueva generación en el campo de las telecomunicaciones dentro de edificios corporativos, ya que estas estructuras no contaban, por lo menos en nuestro país, con un sistema y un diseño apropiados de telefonía celular en su interior, por ello la importancia de esta tesis, donde su redacción lleva paso a paso los logros de la humanidad en el avance en esta área y enseñará términos y conceptos de mucha importancia. Por lo que para este proyecto se ha definido en 7 capítulos.

La introducción se refiere en modo de cronología al avance de las telecomunicaciones, desde los antiguos habitantes de este mundo y como crearon sistemas de comunicaciones, que evolucionaron hasta nuestros días.

En el primer capítulo, Antecedentes Teóricos, se explica paso a paso cómo funcionan las telecomunicaciones, conceptos teóricos importantes para aquellos que no estén familiarizados con muchos conceptos en la telefonía celular.

En el segundo capítulo, Situación actual del sistema GSM dentro de un edificio corporativo, Es el contexto se encuentra México con relación a las telecomunicaciones. Además de la implementación de GSM dentro del edificio corporativo.

En el tercer capítulo, Tecnologías disponibles para implementarlas, Trata de comparativa de tecnologías que se utilizan en la telefonía celular, así como de sus ventajas y desventajas.

En el cuarto capítulo, Selección de tecnología y su razonamiento, explica porque se tomo la decisión de esa tecnología, justificando sus razones.

En el quinto capítulo, Planeación de diseño e implementación de sistema, cómo se conforma el proyecto, los pasos que se siguen desde un objetivo hasta su explotación.

En el sexto capítulo, Evaluación económica del proyecto, estudio económico del proyecto de implementación GSM y del mercado de las telecomunicaciones a nivel mundial.

En el séptimo capítulo, Conclusiones y razonamientos, es una evaluación del proyecto de implementación de telefonía GSM y de la visión a futuro que se tiene de este tipo de sistemas.

# Prefacio

Cualquier rama de la ingeniería tiene su interés y merece ser estudiada con detalle para descubrir todo cuanto nos ofrece. Pero, entre todas ellas, no cabe duda de que el mundo de las telecomunicaciones es uno de los más apasionantes, no sólo porque está en permanente cambio y es el de más rápida evolución, si no porque afecta a casi todas nuestras actividades cotidianas, tanto en el trabajo como en nuestros ratos de ocio: cuando nos conectamos a internet, cuando hablamos por nuestro teléfono celular, cuando utilizamos el cajero automático, cuando mandamos un SMS, o realizamos alguna búsqueda por medio de nuestro GPS.

Muchas veces utilizamos los servicios de telecomunicación que nos ofrecen sin saber apenas nada de ellos, y es un gran encanto, no nos hace falta saber, o no importa quién los da, ni por dónde llegan, ni cómo funcionan, simplemente, nos hace falta saber utilizarlos. Pues bien, tampoco nos vendrá mal conocerlos un poco mejor y así, posiblemente, le saquemos algún partido más o sentirnos de satisfacción íntima de saber lo que estamos haciendo.

# Justificación

Esta tesis está hecha con el propósito para los lectores que no tienen conocimientos técnicos, de comunicaciones, de matemáticas, de física, o de ninguna otra ciencia. No obstante, también está creada con la idea de si alguien tiene estos conocimientos puede aprovecharse de su lectura, pues se introducen, conceptos, tecnologías y servicios desde una perspectiva que, quizá no hayan visto antes, y que sin duda les educarán para ver las telecomunicaciones con una mente más abierta y le ayudará a comprender algunos temas que puede tener no muy claros.

A lo largo de esta tesis vamos a recordar algunos temas que vimos en la escuela o instituto y que son de aplicación en las telecomunicaciones modernas. No hay porqué asustarse, van a ser conceptos muy sencillos que todos vamos a recordar y ver cómo se aplican en un entorno distinto.

Se va a empezar con el origen de las telecomunicaciones, los conceptos más importantes que, básicamente, es el mensaje: el sonido, los datos, la imagen y el texto. Entendemos por telecomunicaciones que es el envío de información a distancia. Pues bien, esta información que enviamos, este mensaje que queremos enviar, es el punto de partida, y luego vamos a ver los medios físicos que transportan esos mensajes: por cables, fibra óptica o en este caso particular las ondas de radio, las cuales se llaman espectro radio eléctrico, terrestres o por satélite.

Un vez visto el mensaje y como se transporta a distancia, pasamos a ver las distintas tecnologías, para adecuar la señal de tal manera que se comporte mejor o se necesiten menos recursos para su manejo. Básicamente, vamos a comentar las técnicas de comunicación, por ejemplo, la compresión del sonido, los datos y la imagen. La digitalización de la señal y la modulación, tan importante esta última para la comunicación de datos a través de las redes telefónicas y el acceso a Internet a través de módems. Pero también veremos otras que se utilizan frecuentemente en telecomunicaciones.

En los capítulos siguientes se realizará el estudio de las redes de telefonía celular, donde se tendrá en cuenta su cobertura geográfica, así veremos las redes de área local, tan utilizadas en las empresas, y las redes de área extensa, empleadas por todo tipo de usuarios, fijas y móviles, tanto públicas como privadas. Para el estudio de servicios los clasificaremos según su contenido y su infraestructura que les sirve de soporte, dando algunos ejemplos de los que ofrecen algunos operadores.

Las telecomunicaciones hoy, no se entenderían sin haber visto como ha sido el proceso de liberación durante los últimos años, que han afectado directamente a la oferta de nuevos servicios y a la entrada de nuevos competidores, facilitando el costo de tarifas, una oferta mucho más amplia y adaptada a las necesidades de los usuarios. Por esta razón, la legislación de este medio en México así como en el resto del mundo.

Mi participación en este proyecto se ha basado en el desarrollo del diseño de las infraestructuras, a excepción del diseño del enlace entre la estación base y su controladora, la cual se realiza desde el propio departamento de transmisión del operador de telefonía móvil que contrata a la empresa para el desarrollo del proyecto. También en la participación de la fase de ejecución del proyecto realizando funciones de seguimiento y control de las instalaciones.

Esta tesis se basa en el diseño real de la infraestructura de una red GSM dentro de un edificio corporativo. Por compromisos de confidencialidad entre la empresa prestadora del servicio y la operadora para la que trabaja se han cambiado nombres y planos, para mantener la seguridad de las infraestructuras del edificio corporativo y los intereses de los operadores. Por esta misma razón no se aportan datos de capacidades de los equipos de radio.

En el proyecto se presenta la solución tecnológica adoptada para dotar de cobertura de telefonía celular por medio de la tecnología GSM al edificio corporativo.

# Introducción.

## **Objetivo:**

El propósito de esta tesis es presentar la propuesta de un sistema de telefonía inalámbrica móvil GSM, orientado a satisfacer las necesidades de telecomunicaciones dentro del edificio corporativo, su problemática, alternativas, sus limitaciones y beneficios.

Para ello, recorreremos histórica y cronológicamente los grandes acontecimientos y los avances tecnológicos. La telefonía celular y sus generaciones, el sistema GSM dentro de un edificio donde concurren las actividades de las grandes corporaciones, análisis de las tecnologías existentes, selección tecnológica y sus consideraciones, propuesta, diseño e implementación del sistema, evaluación económica, conclusiones y razonamientos.

Debido a la complejidad de este tema, se enunciarán, en los primeros capítulos, algunos conceptos básicos, para enlazarlos y profundizarlos posteriormente de forma lógica, coherente y consistente.

Deseamos sinceramente que este estudio despierte el interés en aquellas personas que, no siendo su ocupación principal de las telecomunicaciones, sea el camino que les facilite conocer y adquirir nuevos conocimientos en esta materia y para los profesionales un motivo y aliciente de investigación, impulsándolos a la formulación de futuros proyectos que se traduzcan en avances reales en el gran mundo y sin límites de las telecomunicaciones.

# ANTECEDENTES HISTORICOS

# Antecedentes.

## Historia de las telecomunicaciones.

Podemos afirmar que desde que surgieron, en los albores de la tierra, los seres vivos del reino animal surgió paralelamente la necesidad de relacionarse y transmitir sus primeras inquietudes y necesidades básicas, conformando un lenguaje susceptible de ser entendido e interpretado, sin embargo el hombre fue el único capaz de crear conceptos y los principios del habla vocal, para después dar paso al signado gráfico, y de ahí en una evolución permanente y al paso de millones de años llegar a envolver al mundo entero y parte del universo en una red invisible a sus ojos la que se encarga de llevar un número infinito de mensajes teniendo implícitos, textos, imágenes y voz en todas y cada uno de ellos en tiempos reales.

### **Primeros pasos en las telecomunicaciones.**

Sin poder precisar fecha, en el principio de esta evolución creciente, nos sorprendería saber que las telecomunicaciones, nacieron con el Hombre Erectus, que vivió hace 1,8 millones de años, antes del presente Pleistoceno inferior y medio, ya que según datos revelados, hicieron uso de este medio al través del sonido que hacían emitir en troncos huecos al ser golpeados, con diferentes ritmos y con una rudimentaria baqueta, emitiendo mensajes capaces de ser interpretados por sus oyentes, creando sistemas más eficientes tanto para la caza de animales mayores como para la protección de sus comunidades y territorios. Existen informes de científicos chinos que citan que el hombre de Pekín, en las cuevas de Zhoukoudian empezó a utilizar el fuego, como un medio de comunicación emitiendo señales a larga distancia.

Entre los vestigios más importantes de la prehistoria, en el paleolítico superior, año 15,000 al 12,000, AC., se encuentran las cuevas de Altamira en cuyos muros fueron descubiertas pinturas del arte rupestre, policromías de animales grabados con tintes negros, rojos, amarillos y violetas que representan animales, figuras antropomorfas, dibujos abstractos y no figurativos, siendo tal vez estas las primeras representaciones gráficas cuyo contenido llevaban mensajes de la vida cotidiana de aquellas comunidades.

Dado que siempre ha existido el desplazamiento y la disgregación de las comunidades, se fueron desarrollando diferentes medios de comunicación teniendo como fin llevar mensajes, cada vez a mayor distancia. Esto dio origen a una serie de medios, instrumentos y formas de evolución distinta e independiente. Citaremos algunos básicos sin restarles importancia ya que fueron los precursores de los descubrimientos actuales, para poder adentrarnos con mayor detalle posteriormente en aquellos que han tenido mayor relevancia. Así tenemos: Señales de humo; platos de metal y espejos; flechas; banderines y estandartes; disparos de armas de fuego; el sonido producido por el aire en instrumentos huecos como los caracoles de mar y los carrizos huecos, etc.

### **Cronología de las telecomunicaciones.**

En 600 AC., Tales de Mileto (a.C. 630 - 545 a. C.). Sus conocimientos a las ciencias en el campo de la geometría y magnetismo, sirvieron para crear lo modernos sistemas de telecomunicaciones que hoy en día conocemos. Considerado el primer filósofo de occidente, observa que frotando una varilla de ámbar con una piel o con lana, se obtienen pequeñas cargas (efecto triboeléctrico) que atraían pequeños objetos, y frotando mucho tiempo podía causar la aparición de una chispa. El efecto triboeléctrico es un tipo de electrificación causado por el contacto con otro material (por ejemplo el frotamiento directo). La polaridad y la fuerza de las cargas producidas se diferencian según los materiales, la aspereza superficial, la temperatura, la tensión, y otras características. Cerca de la antigua ciudad griega de Magnesia se encontraban las denominadas piedras de Magnesia, que incluían magnetita. Los antiguos griegos observaron que los trozos de este material se atraían entre sí, y también a pequeños objetos de hierro. Las palabras magneto (equivalente en español a imán) y magnetismo derivan de ese topónimo.

En 500 AC., Kerosenos y Demokleitos. En los años 3500 AC solo había comunicación a partir de signos abstractos dibujados en papel hecho de hojas de árboles. Hacia los años 500 AC dos ingenieros de Alejandría (Kerosenos y Demokleitos) usaban un sistema de recepción y transmisión de información solo en la noche, transmitir mensajes a distancia con señales de fuego, en el antiguo imperio Romano y Griego. El sistema constaba de dos pistas paralelas separadas por una distancia de 500 mts. Su longitud dependían de unas cuantas antorchas y como fueran acomodadas, así, para el mensaje "Cien cretenses han desertado" fueron utilizadas 173 antorchas y la transmisión duró alrededor de 1 hora y media.

En 360 AC., En Egipto se crean las Clepsidras. Son relojes de agua y de arena, estos se usaban especialmente durante la noche, cuando los relojes de sol perdían su utilidad. Los primeros relojes de agua consistieron en una vasija cerámica que contenía agua hasta cierto nivel, con un orificio en la base de un tamaño adecuado para asegurar la salida del líquido a una velocidad determinada y, por lo tanto, en un tiempo prefijado. El recipiente disponía en su interior de varias marcas de tal manera que el nivel de agua indicaba los diferentes periodos, tanto diurnos como nocturnos.

Los relojes de agua también se usaron en los atenienses para señalar el tiempo asignado a los oradores. Más tarde fueron introducidos en los tribunales de Roma, con el mismo fin, además se usaban en las campañas militares para señalar las guardias nocturnas. El reloj de agua egipcio, más o menos modificado, siguió siendo el instrumento más eficiente para medir el tiempo durante muchos siglos.

Telégrafos hidro-ópticos. Eran recipientes llenos de agua, con un grifo en su base y en su costado grabado una serie de divisiones horizontales con palabras escritas. Cuando el transmisor elevaba una antorcha, se abrían los grifos simultáneamente, del emisor y receptor, ocasionado descendiera el nivel de agua hasta que se bajaba la antorcha cerrándolos, dando como resultado la posibilidad de leer la palabra que correspondiera. Fueron utilizados primero en Grecia y más tarde por el Imperio Romano

## Antecedentes históricos

En 14 DC. Romanos establecen los servicios postales.

En 37 DC. Heliógrafo. Es un aparato para hacer señales telegráficas por medio de la reflexión de los rayos del Sol en un espejo movable o bien mediante la interposición de una especie de persiana cuya apertura o cierre hace que los rayos del sol lleguen y se reflejen en el espejo o no. Modernamente, con el uso de las comunicaciones por radio, este tipo de comunicación ha ido cayendo en desuso, aunque ha seguido siendo utilizado, por su simplicidad, hasta tiempos relativamente recientes.

Un inconveniente grave del uso de este medio de comunicación en campaña es que delata la presencia de quien está haciendo las señales.

Su primer uso de espejos para enviar mensajes por el emperador romano Tiberio.

En 100 DC, Se crean los primeros libros encuadernados en occidente.

En 105 DC. Tsai Lun de China inventa el papel como lo conocemos.

En 305 DC. Primeras prensas de impresión de madera, inventados en China. Los símbolos eran tallados en un bloque de madera.

En 500 DC., Arya-Bhatta, primer gran matemático y astrónomo de la era clásica India. Desarrolla el sistema de numeración decimal con el cual logró encontrar la facilidad de representar números largos con la adición de ceros decimales.

En 1049 DC. Pi Sheng. Fue el inventor de la imprenta en China. Su sistema de imprenta estaba elaborado a base de piezas de porcelana China y fue inventada entre los años 1041 y 1048.

En 1269 DC., Peter Peregrinus de Maricourt escribe sus experimentos sobre magnetismo y el primer tratado relativo a las propiedades de los imanes. Su trabajo se destaca por ser la primera discusión detallada sobre la brújula, demostrando que si a una piedra imantada en forma redonda se le aproxima una aguja esta se orienta inmediatamente hacia el norte. De esta forma trazando líneas sobre la superficie de la piedra el patrón que aparece corresponde precisamente a los círculos máximos que resultan ser completamente análogos al meridiano terrestre. Sorprendido por esta analogía denomina polos a estos dos puntos particulares de la piedra imán. En experimentos posteriores encuentra que la forma en la que los imanes se atraen entre sí está determinada solamente por la posición de sus polos, como si estos constituyeran el asiento de lo que se pensaba en la época era el poder magnético. Entre otro de sus trabajos se conoce su propuesta relacionada con el Movimiento Perpetuo Magnético, descrita como un dispositivo rotativo, el cual utiliza como fuerza motriz, la interacción de las fuerzas de atracción de varios imanes. Estos conceptos van a jugar un importante papel en el desarrollo de las teorías de polarización posteriores.

## Antecedentes históricos

En 1450 DC. Aparece la prensa en Europa. Las noticias se difundían por vía oral, por carta o por anuncio público

En 1455 DC. Johannes Gutenberg inventa la imprenta con tipos móviles de metal

En 1550 DC., Gerolamo Cardano distingue, quizá por primera vez, entre las fuerzas magnéticas y las eléctricas definiéndolas en su enciclopedia De Subtilitate.

En 1560 Camera Obscura inventado - lo que la imagen primitiva.

En 1600 DC., William Gilbert a partir de los experimentos pasados llega a la conclusión de que la Tierra es magnética y que este era el motivo por el cual las brújulas apuntaban al norte. Publica el "De magnete", magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure (Sobre los imanes, los cuerpos magnéticos y el gran imán terrestre), donde da a conocer sus estudios sobre la electricidad estática producida por el ámbar. El ámbar en griego se denomina elektron y electrum en latín, por ello Gilbert se refirió al fenómeno con el adjetivo electricus y el nombre electricitas, dando paso a los términos modernos eléctrico y electricidad.

En 1609 DC.- Se empezaron a publicar los primeros periódicos. Estos ejemplares, impresos en el norte de Alemania, se denominaban corantos y publicaban 'suelos' sobre sucesos en otros países. La palabra noticia se acuñó un siglo más tarde.

En 1650 el primer periódico diario - Leipzig.

En 1672 DC., Otto von Guericke, físico alemán (Magdeburgo, 20 de noviembre de 1602 – Hamburgo, 21 de mayo de 1686). Publica su obra Experimenta nova, ut vocatur Magdeburgica, de vacuo spatio, donde describe su célebre experimento con los hemisferios de Magdeburgo ante la Dieta Imperial de Ratisbona, demostrando la existencia y los efectos de la presión atmosférica, basados en los tratados de Blaise Pascal y Evangelista Torricelli. También comprobó que el sonido no puede propagarse en el vacío. En el transcurso de las investigaciones que realizó sobre electrostática observó que se producía una repulsión entre cuerpos electrizados luego de haber sido atraídos. Ideó la primera máquina electrostática y sacó chispas de un globo hecho de azufre, lo cual le llevó a especular sobre la naturaleza eléctrica de los relámpagos. Fue la primera persona que estudió formalmente la luminiscencia.

En 1714 Henry Mill (1683 Inglaterra – 1771) recibe la primera patente para una máquina de escribir.

En 1729 DC., Stephan Gray (diciembre de 1666, Canterbury; 7 de febrero de 1736, Londres) fue un físico y científico natural inglés. Descubre que la electricidad puede ser transmitida. En astronomía hizo contribuciones a la medición de eclipses de sol y luna. Se dedicó además a la observación astronómica de las manchas solares y al estudio de los satélites de Júpiter.

## Antecedentes históricos

En 1774 DC., Charles Augustin de Coulomb, (Angulema, Francia, 14 de junio de 1736 - París, 23 de agosto de 1806) fue un físico e ingeniero francés. Describe de manera matemática la ley de atracción entre cargas eléctricas. En su honor la unidad de carga eléctrica lleva el nombre de culombio (C) también estudió la electrización por frotamiento y la polarización, e introdujo el concepto de momento magnético. Entre otras teorías y estudios se le debe la teoría de la torsión recta y un análisis del fallo del terreno dentro de la Mecánica de suelos.

En 1794 DC., Claude Chappe (Brûlon, 25 de diciembre de 1763 – París, 23 de enero de 1805) fue un inventor francés. Desarrolla el Telégrafo Óptico con su propio alfabeto, este dispositivo consiste de una columna con 2 brazos movibles y un rayo de luz que atravesaba la estructura. Con las combinaciones de los rayos de luz es posible mostrar diferentes cuadros que incluían cerca de 196 caracteres (letras en mayúscula y minúscula, signos de puntuación, marcas, etc.) En 1792 se enviaron con éxito los primeros mensajes entre París y Lille. La red de telégrafos constaba de 22 estaciones que unían a la población de Lille con la capital de Paris, las que se encontraban separadas por una distancia de 240 km y tomaba solo de 2 a 6 minutos transmitir un mensaje, leerlo e interpretar los símbolos podía tomar alrededor de 30 horas.

En 1794 se informó a París, por vía telegráfica, de la captura de Condé-sur-l'Escaut (hasta entonces en poder de los austríacos), menos de una hora después del acontecimiento. Rápidamente se construyeron otras líneas, incluida la París–Toulon. El sistema, copiado ampliamente en otros países europeos, fue usado por Napoleón para coordinar el imperio y el ejército.

En 1750 DC., Benjamín Franklin, (Boston, 17 de enero de 1706 - Filadelfia, 17 de abril de 1790) fue un político, científico e inventor estadounidense. Con su famoso experimento de la cometa establece la ley de conservación de la carga y determina el principio cargas positivas y negativas. Ató una cometa con esqueleto de metal a un hilo de seda, en cuyo extremo llevaba una llave también metálica. Haciéndola volar un día de tormenta, confirmó que la llave se cargaba de electricidad, demostrando así que las nubes están cargadas de electricidad y los rayos son descargas eléctricas. Gracias a este experimento creó su más famoso invento, el pararrayos.

En 1780 DC., Charles Agustín de Coulomb mide fuerzas eléctricas y magnéticas utilizando una balanza de torsión que él mismo inventó. Tiene su fundamento en el péndulo de torsión, está constituida por un material elástico sometido a torsión (par torsor). Cuando se le aplica una torsión, el material reacciona con un par torsor contrario o recuperador.

En 1801 DC., Alejandro Volta, (18 de febrero de 1745 – 5 de marzo de 1827) fue un físico italiano famoso por su invento llamado "pila de Volta". La unidad de fuerza electromotriz del Sistema Internacional de Unidades lleva el nombre de voltio en su honor desde el año 1881

En 1814 DC., Joseph Nicéphore Niépce (Chalon-sur-Saône, Borgoña, 7 de marzo de 1765 - Saint-Loup-de-Varennes, 5 de julio de 1833) obtiene la primera imagen fotográfica.

## Antecedentes históricos

En 1809 DC., Samuel Thomas Soemmerring (28 enero 1755 a 2 marzo 1830) fue un médico alemán, anatomista, antropólogo, paleontólogo e inventor. Sömmerring descubrió la mácula de la retina del ojo humano. Sus investigaciones sobre el cerebro y el sistema nervioso, en los órganos sensoriales, en el embrión y sus malformaciones, sobre la estructura de los pulmones, etc., hicieron de él uno de los anatomistas alemanes más importantes. Inventa el telégrafo electroquímico cuyo principio se basaba en convertir agua en hidrógeno y oxígeno con electricidad.

En 1819 DC., Hans Cristian Oersted Rudkobing, Dinamarca, 14 de agosto de 1777 – Copenhague, Dinamarca 9 de marzo de 1851). Gran estudioso del electromagnetismo. Encuentra que un hilo por el que circula corriente eléctrica hace que se desvíe una aguja imantada, demostrando que la electricidad puede producir un efecto magnético.

En 1820 DC., André Marie Ampere (Poleymieux-au-Mont-d'Or, 20 de enero de 1775 - Marsella, 10 de junio de 1836), fue un matemático y físico francés. Amplia las observaciones de Oersted, inventa la bobina demostrando la magnetización. Casi simultáneamente George Simón Ohm publica la ley que relaciona la corriente, la tensión y la resistencia.

En 1821 DC., Charles Wheatstone (Gloucester, 6 de febrero de 1802 - París, 19 de octubre de 1875) fue un científico e inventor británico, que destacó durante la época victoriana, incluyendo el Estereoscopio (aparato que creaba la ilusión de ver imágenes tridimensionales), la técnica Playfair de codificación, y el caleidófono. Wheatstone es más conocido por el aparato eléctrico que lleva su nombre: el puente de Wheatstone, utilizado para medir las resistencias eléctricas. Reproduce el sonido en una caja de sonido primitivo - el primer micrófono.

En 1824 DC., James Clerk Maxwell (Edimburgo, Escocia, 13 de junio de 1831 – Cambridge, Inglaterra, 5 de noviembre de 1879). Formula la teoría de las ondas electromagnéticas. Las ecuaciones de Maxwell demostraron que la electricidad, el magnetismo y hasta la luz, son manifestaciones del mismo fenómeno: el campo electromagnético. Desde ese momento, todas las otras leyes y ecuaciones clásicas de estas disciplinas se convirtieron en casos simplificados de las ecuaciones de Maxwell. Su trabajo sobre electromagnetismo ha sido llamado la "segunda gran unificación en física", después de la primera llevada a cabo por Newton.

En 1826 DC., André-Marie Ampère (Poleymieux-au-Mont-d'Or), Publica su Colección de observaciones sobre electrodinámica y su Teoría de los fenómenos electrodinámicos. Ampère descubre las leyes que hacen posible el desvío de una aguja magnética por una corriente eléctrica, lo que hizo posible el funcionamiento de los actuales aparatos de medida. Descubre las acciones mutuas entre corrientes eléctricas, al demostrar que dos conductores paralelos por los que circula una corriente en el mismo sentido, se atraen, mientras que si los sentidos de la corriente son opuestos, se repelen. La unidad de intensidad de corriente eléctrica, el amperio, recibe este nombre en su honor.

## Antecedentes históricos

En 1831 DC., Michael Faraday (Newington, 22 de septiembre de 1791 - Londres, 25 de agosto de 1867) fue un físico y químico británico que estudió el electromagnetismo y la electroquímica. Demuestra que un campo magnético variable puede producir una corriente eléctrica, utilizando para ello un imán en movimiento enviando la corriente inducida en un hilo próximo.

En 1831 DC., Joseph Henry (Albany, 17 de diciembre de 1797 - Washington, 13 de mayo de 1878). Físico estadounidense conocido por su trabajo acerca del electromagnetismo, en electroimanes y relés. Descubrió la inducción electromagnética aunque primero fue Faraday. Inventa el primer telégrafo eléctrico.

1835 DC., Samuel Morse (Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 27 de abril de 1791 – Nueva York, 2 de abril de 1872). Fue un inventor contribuyó a la invención del telégrafo con Joseph Henry y del método de transmisión conocido como código Morse.

En los años 1833-1837 DC., Carl Friedrich Gauss y Wilhelm Weber inventan varios telégrafos electromagnéticos. Siendo los primeros en instalar la primera línea telegráfica de 1000 metros de longitud, de dos alambres. El receptor utilizaba los movimientos de una barra que se desplazaba por la acción del campo magnético de un bobinado. Esta barra estaba unida a un espejo que se desplazaba a izquierda y derecha conforme lo hacía la barra. Por medio de un anteojito el observador distinguía los movimientos del espejo reflejados en una escala. Este telégrafo unía el laboratorio de Weber en la universidad y el observatorio astronómico en el que trabajaba Gauss, una distancia aproximada de 3 km. Para esto, primero crearon un alfabeto basado en la amplitud de las señales dándole así una verdadera capacidad de comunicación a su invento.

En 1835 DC., Karl August Steinheil (12 Octubre 1801 Alemania – 14 Septiembre 1870) inician la transmisión de señales en rieles. En este mismo año Alfred Vail desarrolló el aislamiento de las corrientes y el código de puntos y rayas asociado a letras, números y signos especiales, mientras colaboraba Samuel Morse en la invención del telégrafo eléctrico.

En 1840 DC., Samuel Morse registra la primera patente del código de señales con base en puntos y rayas con su nombre Morse.

En 1842 DC., Joseph Henry, inventa la telegrafía de hilos, demostrando que con un circuito de descarga se podía magnetizar agujas situadas a distancia.

En 1843 DC., Samuel Morse inventa el primer sistema eléctrico de larga distancia de línea de telégrafos.

En 1843 DC., Alexander Bain (Aberdeen 11 de junio de 1818 - 18 de septiembre de 1903) Patenta la primera máquina de fax.

En 1844 DC., Samuel Findley Breese Morse, perfecciona el código Morse. Gracias a este avance se realiza la primera transmisión telegráfica entre Washington y Baltimore.

## Antecedentes históricos

En 1849 DC., Se construye la primera línea de larga distancia para transmisión telegráfica entre Berlín y Frankfurt. Parte del cableado se hizo bajo tierra y el resto aéreo.

En 1850 DC., Juan De la Granja, en la ciudad de México, Establece dos imprentas y una librería, para las que consigue la concesión del telégrafo. Realiza la primera demostración del telégrafo eléctrico, entre el Palacio Nacional y el Colegio de Minería.

En 1852 DC., Se establece la primera línea que se tendió de la ciudad de México al puerto de Veracruz y se inauguró 5 de mayo de este año, pasando por Nopalucan, San Andrés Chalchicomula (Cd. Serdán), Puebla, Orizaba y Córdoba, con una extensión de línea de 408 kilómetros a campo traviesa.

En 1853 DC., A la muerte de Juan de la Granja, los accionistas de la empresa telegráfica nombran en 1854, como Director a Don Hermenegildo de Villa y Cosío, que además de ser el principal accionista fue el albacea de De la Granja, quien no dejó familia. Después los directores de la empresa serían Cayetano Rubio, Manuel J. De Llano y José de la Vega.

La segunda línea telegráfica, nombrada "del interior" que enlazaría la Ciudad de México con la de León, Guanajuato, se inicia a finales de 1853, que celebran las autoridades con Octaviano Muñoz Ledo. Por su parte, William G Stewart, compadre y socio de Juan de la Granja se vuelve contratista de líneas hacia el Bajío y el Norte.

En 1851 DC., Se instalan las primeras alarmas de incendio por cable en Berlín y Múnich por la firma Siemens & Halske.

En 1852 DC., Se tiende el primer cable submarino uniendo al Reino unido y Francia el a través del Canal de la Mancha. Su punto más estrecho está en el paso de Calais, donde sólo 32,55 km de distancia separan Dover y el cabo Gris-Nez.

En 1853 DC., Se inventa el telégrafo por cable para transmisión simultánea en ambas direcciones (modo dúplex) con apoyo en el método de compensación, propuesto por el físico austriaco Julius Wilhelm Gintl.

En 1853 DC., Comienza la construcción de la segunda línea telegráfica (Ciudad de México-León, Guanajuato) nombrada "del Interior". La segunda línea telegráfica nombrada "del interior", enlazó a la Ciudad de México con la de León, Guanajuato a finales de 1853.

En 1855 DC., Se aprueba el proyecto para tender el primer cable trasatlántico que quedando fuera de servicio en poco tiempo. En 1865 se pone en marcha el segundo proyecto, empleándose para ello el mayor barco existente en ese entonces, el Grat Eastern. Este cable no llegaría a funcionar hasta el año 1866 uniendo a Irlanda y Terranova.

En 1858 DC., La primera comunicación eléctrica entre Norteamérica y Europa.

## Antecedentes históricos

En 1861 DC., Philip Reis inventa el primer teléfono con posibilidad de transmisión de sonido a 90 metros, la recepción se logra con un inductor galvánico. En este mismo año Maxwell desarrolla la teoría unificando la electricidad con el magnetismo publicándose la formulación de sus ecuaciones.

En 1861 DC., Estados Unidos comienza el Pony Express de entrega de correo.

En ese mismo año William Coffin Coleman dueño de Tiendas Coleman inventa el cinematoscópio - una máquina que lanzó una serie de fotografías en una pantalla.

En 1864 DC., A pesar de los deseos de Maximiliano por estatizar las líneas telegráficas, el gobierno se vio obligado a otorgar 8 concesiones particulares para el mantenimiento y la operación del sistema telegráfico, el cual atravesaba por un proceso de inoperancia originado por el constante estallido de guerrillas en contra de la intervención desarrolladas a lo largo del territorio nacional, lo cual obligó a tomar dicha decisión.

Tras la instauración del Segundo Imperio en nuestro país durante el gobierno de Maximiliano de Habsburgo, se buscó que las líneas telegráficas se convirtieran en propiedad del Estado tal y como ocurría en Europa en aquellos años sin embargo, ante las raquíticas condiciones económicas del Gobierno, se otorgaron 8 concesiones a particulares para mantener el servicio.

En 1865 DC., Se decreta el reglamento de telégrafos, bajo la premisa de que el Estado Mexicano era el único facultado para la construcción de infraestructura telegráfica.

En 1866 DC., Se tiende el primer cable submarino trasatlántico entre EEUU y Francia.

En 1867 DC., Christopher Lathan Sholes (14 de febrero de 1819 - 17 de febrero de 1890) de nacionalidad norteamericana, fue quien diseñó la primera máquina de escribir comercial y el teclado QWERTY que se usan en la actualidad.

En 1867 DC., Blas Balcárcel, ministro de Fomento, formula el primer Reglamento efectivo en México concretándose la dependencia de las Líneas Telegráficas en el Supremo Gobierno, conviniendo cuatro modalidades de propiedad: federales, subvencionadas por el Congreso, estatales y particulares.

En 1873 DC, James Clerk Maxwell, establece la interdependencia de la electricidad y el magnetismo. Publicó A treatise on Electricity and Magnetism la primera teoría unificada electromagnética, postulando que la luz es de naturaleza electromagnética y la posibilidad de la radiación a otras longitudes de onda.

En 1874 DC., Emil Baudot inventa el Código de su mismo nombre utilizándose en las primeras transmisiones telegráficas y radioeléctricas

## Antecedentes históricos

En 1875 DC., Tomas Alva Edison patenta el sistema de comunicaciones manipulando antenas monopolo con carga capacitiva.

En 1875 DC., Cuando el ingeniero de la Universidad de Bruselas, Claude García (1848-1930) inventó un sistema con la impresora de Juanez de 1749, en el que se podían mandar señales a gran distancia. Es considerado como un medio de comunicación de electrónico La primera emisión fue desde Bruselas hasta Washington donde Ulysses S. Grant leyó: "Here from the University of Brussels, today April 27, 1875, Mr. Grant will wish you a happy birthday. By the way has just patented the fax"

En 1876 DC., Alexander Graham Bell (Edimburgo, Escocia, Reino Unido, 3 de marzo de 1847 – Beinn Bhreagh, Canadá, 2 de agosto de 1922) fue un científico, inventor y logopeda británico. Patenta el primer teléfono, compuesto de micrófono y parlante, Este mismo año Elisa Gray patenta el micrófono.

En 1876 DC., Thomas Edison patenta el mimeógrafo - una máquina copiadora de oficina.

Alexander Graham Bell patenta el teléfono eléctrico. Melvyl Dewey escribe el sistema decimal de Dewey para ordenar libros de la biblioteca.

En 1877 DC., Se instala la primera Línea telefónica en Boston Somerville.

En 1877 DC., Thomas Edison patenta el fonógrafo - con un cilindro de cera como medio de grabación. Eadweard Muybridge inventa la fotografía de alta velocidad - la creación de imágenes en movimiento primero que capturó el movimiento.

En 1878 DC., Se crea la Dirección General de Telégrafos Nacionales en México iniciándose la "Era Dorada del Telégrafo": la red telegráfica se amplía de 8,000 Km. a más de 40,000 Km. de longitud en éste período. 1877-1910 El desarrollo de las líneas de telégrafo fue un punto muy importante durante los años de gobierno de Porfirio Díaz que después servirían también de gran ayuda al desarrollo del movimiento revolucionario durante todo su proceso.

En 1878 DC., Se instala la primera central Telefónica en New Haven, EEUU, con un cuadro controlador manual de 21 abonados.

En 1880 DC., Los hermanos Paul Jacques y Pierre Curie descubren piezoelectricidad, Con base en cristales asimétricos como el cuarzo y la sal Rochelle (Tartrato de Sodio Potasio) generan una carga eléctrica cuando se les aplica una presión, e inversamente, se obtienen vibraciones mecánicas al aplicar oscilaciones eléctricas a estos mismos.

## Antecedentes históricos

Poco después los Curies divisaron diversos instrumentos que utilizaban el efecto piezoeléctrico. Uno de estos fue el voltímetro piezoeléctrico, y otro el piezoelectrómetro que eventualmente se convertiría en el instrumento básico utilizado por Pierre y Marie Curie en el trabajo que llevaría al descubrimiento de la Radio. En otras formas, el efecto piezoeléctrico permaneció como una curiosidad de laboratorio por más de tres décadas, siendo uno de los pilares que dieron soporte y cabida a la creación de los circuitos digitales.

En 1880 DC., Tomas Alva Edison descubre, en la lámpara de incandescencia, el fenómeno de emisión en un filamento caliente.

En 1882 DC., Nikola Tesla construye un sistema AC (Potencia alterna) para reemplazar los generadores y motores de corriente directa (DC) que se encontraban en uso.

En 1883 DC., Tomas Alva Edison descubre el llamado "efecto Edison" sobre el que se basa la electrónica moderna.

En 1883 DC., Thomas Alva Edison, patenta el efecto Edison, que consiste en el paso de electricidad desde un filamento a una placa metálica dentro de un globo de lámpara incandescente, estableciendo los fundamentos de la válvula de la radio y de la electrónica.

En 1884 DC., Temistocles Calzecchi Onesti establece los fundamentos científicos del cohesor. Un cohesor es un dispositivo que permite la detección de ondas de radio y que se usó en los primeros años de la telegrafía sin hilos.

En 1886 DC., Los datos para el procesamiento del censo de EEUU son almacenados en tarjetas perforadas.

En 1887 DC., Emile Berliner inventa el gramófono - un sistema de registro que podrían ser utilizados una y otra vez.

En 1888 DC., George Eastman (Waterville, Nueva York, 12 de julio de 1854 - Rochester, Nueva York, 14 de marzo de 1932) Inventor del rollo de película Kodak para cámaras fotográficas.

De 1887 a 1888 DC., Heinrich Hertz (Hamburgo, 22 de febrero de 1857 – Bonn, 1 de enero de 1894) fue un físico alemán descubridor del efecto fotoeléctrico y de la propagación de las ondas electromagnéticas, así como de formas de producirlas y detectarlas. Prueba la validez de las teorías de Maxwell demostrando experimentalmente que las señales eléctricas pueden viajar a través del aire libre. Para su experimento utilizó, por primera vez, un dipolo alimentado su centro con las descargas de una bobina. Como antena receptora usó una espira cuadrada con un entrehierro en el que se producían descargas. Hertz consiguió sintonizar el sistema añadiendo esferas a los brazos del dipolo, equivalentes a carga capacitiva y bobinas serie y condensadores paralelos a la espira receptora, posteriormente.

## Antecedentes históricos

Las telecomunicaciones deben su existencia a este científico y es por ello por lo que, como homenaje, la comunidad científica dio su nombre a la unidad de frecuencia (el Hertz o hercio), decisión que se tomó en el año 1930 por la Comisión Electrotécnica Internacional.

En 1888 DC., Heinrich Hertz descubre y demuestra la transmisión de las radio ondas.

En 1889 DC., Almon Strowger (Enterrador) Patenta el teléfono de línea directa o central telefónica automática.

En 1891 DC., Edouard Branly construye el primer receptor de ondas electromagnéticas al que denominó cohesor. Consistía en un tubo lleno de limaduras de hierro conectado a una pila y un galvanómetro.

En 1892 DC., Se logra el primer intercambio telefónico automático usando marcación sin operadora.

En 1894 DC., Guglielmo (n. Bolonia, 25 de abril de 1874 - † Roma, 20 de julio de 1937) fue un ingeniero eléctrico, empresario e inventor italiano, conocido como uno de los más destacados impulsores de la radio transmisión a larga distancia, por el establecimiento de la Ley de Marconi así como por el desarrollo de un sistema de telegrafía sin hilos (T.S.H.) o radiotelegrafía, siendo el ganador del Premio Nobel de Física en 1909. Efectúa la transmisión de señales inalámbricas por primera vez, radio telegrafía. Utilizando un excitador Hertz y un cohesor Branly, establece la primera comunicación en morse a 36 metros de distancia.

En 1894 DC., Michael Pupin (Idvor, Banato, Serbia, 4 de octubre de 1854 - Nueva York EE. UU., 12 de marzo de 1935) Físico, desarrolló un sistema para aumentar en gran medida el alcance de las comunicaciones telefónicas, a través de líneas de hilo de cobre, mediante la inserción a intervalos regulares a lo largo de la línea de transmisión de unas denominadas bobinas de carga. Mejor conocido este sistema como la bobina de Pupin. La bobina de Pupin o bobina de carga es un inductor que colocado a intervalos regulares a lo largo de un circuito telefónico formado por hilos de cobre hace que disminuya la atenuación y la distorsión de retardo del circuito en la gama de las frecuencias vocales, con el consiguiente aumento del alcance de la comunicación. Este procedimiento fue desarrollado por Michael Pupin, basándose en los estudios realizados por Oliver Heaviside.

En sus estudios sobre los problemas de transmisión del cable submarino telegráfico trasatlántico, llegó a determinar la condición que debía cumplir un medio de transmisión ideal. Esta condición, que se denominó Condición de Heaviside.

En 1895 DC., Alejandro Popoff, Profesor ruso de matemáticas de la Universidad de Kazán, inventa la antena que asoció al tubo de limaduras de Branly para detectar tormentas lejanas. En este mismo año Guillermo Marconi realiza su primer experimento de transmisión de señales Morse, radioeléctricas sin ayuda de alambre de unión, a una distancia de milla y media.

## Antecedentes históricos

En 1896 DC., Guillermo Marconi patenta un dispositivo de perfeccionamiento en las transmisiones de impulsos y señales eléctricas, evolucionando a la radio-telegrafía.

En 1897 DC., Oliver J. Lodge (12 de junio de 1851 - 22 de agosto de 1940) patenta una serie de importantes avances, dipolos bicónicos, las cargas inductivas y la sintonía con circuitos resonantes.

En 1898 DC., Guillermo Marconi inaugura el primer servicio radiotelegráfico regular entre la isla de Wight y Bournemouth, de 23 km. de distancia. Se constituye en Londres la primera sociedad telegráfica, The Wireless Telegraph & Signal Co., siendo nombrado director para explotar la telegrafía sin hilos.

1898 DC., Primer teléfono contestadores automáticos.

1899 DC., Valdemar Poulsen (23 de noviembre de 1869 - 23 de julio de 1942) fue un inventor dinamarqués. Inventa la primera grabación magnética, con cinta magnetizada de acero como soporte de grabación. Esta es la base para el almacenamiento masivo de datos en disco y cinta. Comienza la industria de la grabación de música.

En 1899 DC., Guillermo Marconi asombra con la primera comunicación por radio entre Inglaterra y Francia a través del Canal de la Mancha. Las primeras palabras fueron para Branly, descubridor del cohesor.

En 1889 DC., Sídney George Brown y James Erskine-Murray, proponen la agrupación de antenas, aunque los primeros experimentos no se produjeron hasta 7 años después. (Nota: Las antenas de microondas, como reflectores parabólicos, lentes, bocinas y guías de onda se utilizaron un poco antes del año 1900 DC.).

En 1899 DC., Se inaugura la primera central automática en Princentown EEUU.

En 1900 DC., Enero, En Rusia. Un aparato construido por Alejandro Popov fue utilizado para enviar un mensaje al rompehielos Yermak, como resultado de haber quedado atrapado un pesquero entre los hielos del Golfo de Finlandia.

Este tipo de incidentes sirvieron para demostrar que la radio sería reconocida internacionalmente como medio de telecomunicación marítima, ya que su alcance era el mayor de la época y podía ser utilizada en cualquier condición ambiental, sea niebla, lluvia, tormenta, etc. con una fiabilidad probada del 94% y con el único requisito indispensable de un operador entrenado.

En 1901 DC., Guillermo Marconi establece la primera comunicación transoceánica entre Cornualles en Gran Bretaña y Terranova, en Canadá. La frecuencia utilizada fue de 820 KHz (366 m). La potencia del transmisor 15 kW. La antena transmisora era un monopolo en abanico, soportado por dos mástiles de 48 mts. Separados 60 mts. La antena receptora fue un hilo metálico, suspendido de una cometa.

## Antecedentes históricos

En 1902 DC., Pousulen inventa el Generador de Arco. Este se utilizó muchos años en las emisoras de telegrafía sin hilos y en las comunicaciones radioeléctricas para embarcaciones que navegaban alrededor del mundo usando código Morse.

En 1902 DC., Guglielmo Marconi transmite señales de radio desde Cornualles a Terranova - la primera señal de radio a través del Océano Atlántico.

En 1903 DC., Se produce la primera comunicación con un buque de pasajeros, el "LUCIANA", desde las bases de Poldhu y Grace Bay.

En 1904 DC., John Ambrose Fleming, colaborador de Guillermo Marconi, utiliza por primera vez una válvula termoiónica para detectar señales de radio.

En 1904 DC., Primer cómic regular.

En 1905 DC., Evolucionan las antenas británicas hacia un mono polo piramidal con carga capacitiva, a 70 KHz, y una estructura capacitiva con 200 radiales, a una altura de 60 m.

En 1906 DC., Lee DeForest inventó el tubo de amplificación electrónica o triodo - lo que permitió todas las señales electrónicas que se amplifica la mejora de todas las comunicaciones electrónicas es decir, teléfonos y radios.

En 1906 DC., Comienza la era Electrónica: rectificadores, tríodos, válvulas termoiónicas, amplificadores, etc. Se construye en América el primer sistema para transmisión de voz a través de ondas electromagnéticas.

En 1906 DC., Guillermo Marconi mide el primer diagrama de radiación de una antena de hilo paralela al suelo, siendo la precursora de las actuales antenas de onda progresiva, rómbicas y en V. Primer antecedente de la telefonía celular.

En 1907 DC., John Ambrose Fleming perfecciona su diodo termoiónico detector de radio.

En 1909 DC., Primer intercambio telefónico automático entre Berlín y Múnich (Alemania).

1910 Thomas Edison demostró la primera película hablada de movimiento.

De 1910 DC., a 1919 DC., Se consolida la construcción de transmisores con grandes antenas de baja frecuencia y elevada potencia.

De 1910 DC., a 1919 DC., Nace la transmisión AM, usando una frecuencia portadora modulada por señal de voz. En este mismo período se introducen nuevas técnicas, como las ayudas a la navegación, las comunicaciones con submarinos sumergidos y los sistemas de control a distancia.

En 1910 DC., Se desarrolla en América del Norte el tubo de vacío, conocido también como bulbo, tubo de electrones, o la válvula termoiónica (en otros lugares, especialmente en Gran Bretaña). Dispositivo que se basa en el flujo de corriente eléctrica a través del vacío, utilizándose para la rectificación, amplificación, conmutación, o modificación de una señal eléctrica.

## Antecedentes históricos

Su control permitió el desarrollo de la electrónica, la expansión y comercialización de la radiodifusión, televisión, radar, audio, redes telefónicas, computadoras analógicas y digitales, control industrial, etc. Algunas de estas aplicaciones son anteriores a la válvula, pero vivieron un crecimiento explosivo gracias a ella. Actualmente han sido sustituidos por estado sólido tales como transistores y otros semiconductores.

En 1911 DC., Se construyen las antenas de Radio Virginia, en Arlington, a la frecuencia de 137 KHz, con potencia de 100 kW.

En 1911 DC., Se realiza La primera electrificación española en ancho ibérico y única en sus características, realizada por la Compañía del Sur en el Gergal-Santa Fe (Almería). La línea aérea era de tipo tranviario y estaba constituida por dos hilos de contacto de cobre a 6000 V en corriente alterna trifásica.

En 1913 DC., Walter Meissner fabrica el primer oscilador, con lo cual se obtuvo un sistema estable y periódico, manteniendo una frecuencia y una forma de onda constante.

En 1914 DC., Se funda la A.R.R.L. (American Radio Relay League), primera organización de Radioaficionados en Estados Unidos

1914 Primera cruzada de teléfono continental llamada realizada.

En 1915 DC., Telégrafos del Oeste (EE.UU.) transmite la palabra por radiotelefonía desde Vermont a San Francisco, Hawái y París.

En 1916 DC., Primer radio con sintonizadores - las diferentes estaciones.

En 1916 DC., Guillermo Marconi realiza una serie de experimentos con señales de 2 y 3 m de longitud de onda, utilizando reflectores parabólicos cilíndricos, contruidos con hilos verticales. Los resultados de la experiencia aconsejaron la utilización de frecuencias de HF (High Frequency o altas frecuencias), siendo estas bandas el espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 3 MHz a 30 MHz., bases que impulsaron el descubrimiento de los enlaces troposféricos en 1932.

En 1916 DC., Primeras emisiones diarias de música en New Róchele, en el estado de New York.

En 1917 DC., Paul Langevin (París, 23 de enero de 1872 - 19 de diciembre de 1946) fue un físico francés, conocido por su teoría del magnetismo y por la organización del Congreso Solvay. Realiza la primera aplicación del efecto piezoeléctrico utilizando platos de cuarzo cortados en forma de X para generar y detectar ondas sonoras en el agua. Su objetivo era proveer un medio para la detección de submarinos y su trabajo llevó al desarrollo del Sonar y a la ciencia del ultrasonido.

## Antecedentes históricos

En 1918 DC., Edwin Armstrong Nueva York 18 de diciembre de 1890 - Nueva York 31 de enero de 1954, ingeniero eléctrico e inventor estadounidense. Graduado en 1913 en ingeniería eléctrica en la Universidad de Columbia. Proyecta el circuito superheterodino, utilizado en los receptores de radio AM (moduladores de amplitud) permitiendo superar ciertos obstáculos para obtener altas prestaciones en el diseño. Los receptores de radiofrecuencia sintonizada, utilizados anteriormente, carecían de estabilidad en sus frecuencias y de una muy pobre selectividad, dado que, incluso utilizando filtros con un alto factor Q, tenían un ancho de banda demasiado grande en la gama de las radiofrecuencias. En los receptores que utilizan este principio, todas las frecuencias recibidas son convertidas a una frecuencia constante más baja antes de la detección. Armstrong inventó la radio en Frecuencia modulada (FM).

Esta frecuencia constante se denomina Frecuencia intermedia, o FI. En los receptores domésticos de AM (Onda media), esta frecuencia es de 455 o 470 kHz; en los receptores de FM. (Frecuencia modulada o modulación de frecuencia), generalmente es de 10,7 MHz.

En 1919 DC., Se descubre la memoria binaria (conmutador) construido con dos tríodos.

En 1919 DC., David Sarnoff, presenta a la dirección comercial de la RCA el proyecto del primer receptor de radio para uso público, siendo rechazado por unanimidad por no considerarlo rentable.

En 1920 DC., La emisora Marconi Wireless de Chelsford, Inglaterra, transmite, en plan de ensayo el primer concierto de música clásica.

En 1920 DC., Se realizan los siguientes eventos:

La primera transmisión pública de radio en Koenigs-Wursterhausen – Alemania.

Aparece al público la revista "QST", órgano oficial de la A.R.R.L., (American Radio Relay League), primera organización de radioaficionados en los EE.UU

En Pittsburgh, EE.UU., se inaugura la emisora KDLA, siendo la primera que emite programas regulares de radio.

Edwin Armstrong desarrolla el circuito superheterodino.

En 1921 DC., La T.S.F. (modo de comunicación a distancia mediante ondas electromagnéticas moduladas como un vector) inicia en París los primeros ensayos de programas de radio para el público utilizando la Torre Eiffel como antena.

En 1922 DC., La BBC (British Broadcasting Corporation) emite su primer programa no experimental.

## Antecedentes históricos

En 1922 DC., Frederick Winslow Thomas Taylor y Young, del NRL (Naval Research Laboratory), detectan objetos en movimiento, midiendo las interferencias producidas en un sistema de radio de onda continua con una longitud de onda de 5m con el transmisor y receptor separados, antecedente de los sistemas de radar.

En 1924 DC., Radio Barcelona inaugura la primera emisora en España.

En 1923 DC., Se instala la primera central telefónica de larga distancia (Babaría, Alemania).

En 1923 DC., Vladimir Zworykin patenta su invento, el tubo de rayos catódicos usado más adelante como el principal elemento para la televisión. Los radioaficionados 1MO (FRED SCHENELL), en América, y 8AB (LEON DELOY), en Francia, establecen comunicación en la banda de 110 metros.

En 1923 DC., Vladimir Zworykin inventa el tubo para transmisión de señales de televisión.

En 1924 DC., Radioaficionados realizan los primeros QSO (Quality on services), entre Francia y Australia iniciando las primeras emisiones experimentales españolas de radio en la onda AM (Onda Media) desde el madrileño Prado del Rey n.18-22 a través de RADIO IBERICA, EAJ-6.

En 1925 DC., Breit y Tuve miden la altura de la ionosfera, utilizando para ello un radar pulsado.

En 1925 DC., John Logie Baird presenta un sistema de exploración mecánica de las imágenes. Siendo los primeros experimentos de televisión en Gran Bretaña.

En 1925 DC., Wolfgang Ernst Pauli da a conocer el principio cuántico de exclusión, mediante el cual se establece que no puede haber dos fermiones con todos sus números cuánticos idénticos (esto es, en el mismo estado cuántico de partícula individual).

En 1925 DC., Difusión de la banda AM (Onda Media). Desde principios de la radio (ya en los años 20), las ondas en estas frecuencias se utilizan para la radiodifusión debido a la facilidad con que atraviesan obstáculos y a la relativa sencillez de los equipos de aquella época. La radiodifusión en onda media tiene lugar en la «Banda estándar de radiodifusión», también conocida como «Banda de A.M.» por el tipo de modulación que utilizan estas emisoras se extiende entre los 520 a 1.700 kHz (576 y 176 metros). En las regiones 2 y 3 América y Australia, la radiodifusión entre las frecuencias de 520 y 540 es compartida con otros servicios.

Nota: Recientemente se han ampliado los servicios de radiodifusión en Onda Media hasta los 1700kHz, pero por lo general las frecuencias asignadas para estas emisoras llegan hasta los 1600 o 1610 kHz. También hay que recordar que mientras la separación entre emisoras en la Región 2 y 3 es de 10 kHz, en Europa se ha adoptado por una distancia de 9 kHz entre las mismas. La banda de onda media está evidentemente asignada para cobertura regional o incluso local, como puede deducirse de la distribución de las emisoras alrededor del mundo. Las primeras antenas de radiodifusión eran muy similares a las utilizadas para las comunicaciones punto a punto, pero pronto evolucionaron hacia el radiador, que ofrecía la ventaja de la cobertura omnidireccional.

## Antecedentes históricos

En 1925 DC., John Logie Baird transmite la primera señal de televisión experimental.

En 1926 DC., Warner Brothers Studios inventó una forma de registrar el sonido por separado de la película en discos grandes y sincronizar el sonido y las pistas en reproducción de imágenes en movimiento - una mejora en el trabajo de Thomas Edison.

En 1926 DC., Se expide la Ley de Comunicaciones Eléctricas en México en la se incluyen los conceptos de telegrafía, radiotelegrafía, telefonía, radiotelefonía y cualquier otro sistema de transmisión y recepción con hilos conductores o sin ellos, de sonidos, signos o imágenes. Asimismo, queda expresamente conferida la jurisdicción a la Federación delegando la facultad a la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas como la autoridad que determinará la clasificación de estaciones inalámbricas, servicios, ubicación y potencia, de entre otras.

En 1926 DC., Se funda la I.A.R.U. (International Amateur Radio Unión). Se comienza el uso de FM (Frecuencia modulada o modulación de frecuencia), con lo que se logra alta calidad del sonido para la radiodifusión.

En 1926 DC., Shintaro Uda realiza las agrupaciones de un solo elemento activo, con elementos parásitos. Dichas antenas denominadas "Yagi", fueron dadas a conocer por el japonés así llamado, en un artículo publicado en inglés en el año 1928. Estas antenas funcionan típicamente en la HF a las bandas de UHF (Alrededor de 3 MHz a 3 GHz), aunque su ancho de banda suele ser pequeño, con relación a la frecuencia central.

En 1927 DC., Primer enlace continental mediante radio de onda corta

En 1927 NBC comienza dos estaciones de radio. CBS fundada. Primeras emisiones de televisión en Inglaterra. Warner Brothers estrena "El cantor de jazz", el éxito de la primera película hablada de movimiento.

En 1928 DC., Paul Nipkow, inventor de la televisión realiza mejoras para la transmisión inalámbrica de imágenes.

En 1929 DC., Franklin desarrolla un radiofaro en Escocia. Se empezó a utilizar el sistema de búsqueda de dirección (DF) de Adcock consistente en cuatro mono polos.

En 1928 DC., Diamond y Dunmore desarrollan el primer ILS (Sistema de aterrizaje instrumental). El desarrollo de las microondas (1930-39) y el RADAR en los primeros decenios del siglo XX las frecuencias de trabajo, en las bandas de LF, MF y HF, hacían que las antenas tuvieran unas dimensiones mucho menores o comparables a la longitud de onda. En dichas bandas los circuitos se pueden considerar como de elementos concentrados. Las bandas de microondas no están claramente definidas, pero se entiende que empiezan a partir de UHF, hasta banda X. En dichas bandas las antenas son mucho mayores que la longitud de onda, y los circuitos son de elementos distribuidos.

## Antecedentes históricos

En 1930 DC., Radio popularidad se extiende con la "Edad de Oro" de la radio.

Primeras emisiones de televisión en los Estados Unidos.

Sistema Movietone de grabación de sonido de cine en una pista de audio a la derecha en la película inventada.

En 1930 DC., Walter Schottky y otros físicos descubren el mecanismo de los semiconductores, se invento el LED (Light-Emitting Diode), rectificadores y celdas fotovoltaicas. El físico alemán Fritz Schoter patenta un sistema que mejora la calidad de video.

En 1930 DC., Se detecta por primera vez un avión en vuelo, de una forma accidental por la NRL (L. A. Hyland del Naval Research Laboratory). Comprobándose un sistema DF (Direction finding), que al pasar un avión por las cercanías, se producía un incremento en la señal recibida.

En 1930 DC., Radioastronomía. Las interferencias que se producen en las comunicaciones de LF especialmente en el verano, hicieron que los laboratorios de la Bell encargaran a Karl G. Jansky, un estudio para que determinara dichas direcciones, a fin de diseñar las antenas con nulos en ellas. Jansky construyó una antena tipo cortina de Bruce 8 elementos con reflector, funcionando en la banda de 14 metros, rotatoria. Con dicha antena comprobó que el ruido estaba originado en las tormentas, descubrió además una fuente de ruido que estaba siempre presente, y que tenía una periodicidad de 24 horas.

Tras meses de observación Jansky determina que provenía de la tierra y del sol y además que había un ruido que provenía de la galaxia, con un máximo en el centro. Jansky había descubierto la Radioastronomía. Con las medidas del ruido se estableció el límite de sensibilidad que se podía alcanzar con un sistema receptor de onda corta.

En 1931 DC., Primera transmisión electrónica de imágenes de televisión en Berlín. ALLEN DUMONT. En esta misma fecha se inventa el osciloscopio.

En 1931 DC., Se establece el enlace entre Francia y Gran Bretaña utilizando antenas reflectores a 1760 MHz. Marconi mide el alcance sobre el mar de una transmisión a 500 MHz, sobre el Mediterráneo, encontrando que se podían recibir señales a una distancia igual a cinco veces el alcance visual, descubriendo lo que se conocería después como enlaces troposféricos.

En 1932 DC., JAMES LAMB fabrica el prototipo del receptor superheterodino en los laboratorios de la A.R.R.L (American Radio Relay League), en EE.UU., El día 26 de septiembre del mismo año comienzan las emisiones experimentales de EAQ-MADRI, la primera emisora de radiodifusión en Onda Corta de España.

En 1933 DC., La Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas en México decide unir en una sola las Direcciones de Correos y Telégrafos.

## Antecedentes históricos

En 1934 DC., Joseph Begun inventa la primera grabadora de cinta para la radiodifusión - la grabación magnética en primer lugar.

En 1935 DC., Sir Robert Watson-Watt estudia un haz destructor con ondas de radio, concluyendo la inviabilidad del proyecto, recomendando ensayar el problema de la detección de objetos. En 1935 expuso las condiciones de funcionamiento del radar. En 1935 se probó un sistema pulsado a 12 MHz, con un alcance de 40 millas. En 1936 se ensaya un sistema de interferencia de onda continua a 6 MHz. En el año 1938 se tiene en funcionamiento el famoso sistema de radar Chain Home, a, 25 MHz, con un total de 5 estaciones costeras, en este mismo año se detectan barcos con un prototipo de radar llamado FREY A en Alemania. La frecuencia de trabajo era de 125 MHz y el alcance entre 30 y 60 km. En otros países como Francia, Rusia, Italia y Japón también se hacen experimentos de interferencia en sistemas de comunicaciones de onda continua, e incluso Francia y Japón instalan sistemas que se revelaron poco útiles en general.

En 1935 DC., Edwin Armstrong Patentó la radio FM, (Frecuencia modulada o modulación de frecuencia), la que fracasó por competencia mercadológica de la RCA.

En 1935 DC., Se construyen los primeros cables coaxiales y multipar para propósitos de comunicación.

En 1936 DC., RADAR: La NRL (Naval Research Laboratory) perfecciona el sistema de radar CXAM, estando en posibilidad de detectar aviones a una distancia de 80 kilómetros del transmisor. Las primeras experiencias con un radar pulsado en EEUU se realizan con un sistema a la frecuencia de 28.3 MHz y un ancho de pulso de 5 microsegundos. Al cabo de unos meses el alcance se aumentó en 40 Km. Pronto se llegó a la conclusión de que era necesario subir en frecuencia, especialmente para los sistemas embarcados.

En 1937 DC., RADAR: La NRL (Naval Research Laboratory) desarrolla los primeros sistemas XAF a 200 MHz con una potencia de 6 Kw alcanzando una distancia de 50 millas instalándolo en el destructor Leary.

En 1938 DC., Grote Reber (Chicago, 22 de diciembre de 1911 - Tasmania, 20 de diciembre de 2002). Construye una antena parabólica de 9 metros de diámetro, que funciona en la banda de 2 metros, con la que establece el primer radio mapa del cielo. John D. Kraus descubre en 1946, en la Universidad de Ohio State, la antena hélice aplicándose a la construcción de un radiotelescopio en 1951 con una banda de funcionamiento de 200 a 300 MHz.

En 1938 DC., En la televisión es capaz de ser grabada y editar las emisiones.

En 1939 DC., Comienzan las emisiones de televisión programadas.

En 1936 DC., Edwin H. Armstrong desarrolla los estudios técnicos para la puesta en práctica de la FM (Frecuencia modulada o modulación de frecuencia). Konrad Zuse desarrolla el primer modelo de calculadora programable "ZUSE Z1" esta calculadora solo trabajaba con elementos mecánicos.

## Antecedentes históricos

En 1936 DC., Las primeras transmisiones experimentales de TV electrónica se realizan durante los juegos Olímpicos de Berlín en 1936. Las emisiones regulares de la BBC comienzan el mismo año. Se utilizaba la frecuencia de 45 MHz. La antena transmisora era una agrupación circular de dipolos.

En 1937 DC., Se desarrolla el tubo Klyston Reflex para generación de señales de microondas.

En 1938 DC., Enrico Fermi (Roma, 29 de septiembre de 1901 – Chicago, 28 de noviembre de 1954). Recibe el Premio Nobel de Física por sus trabajos sobre radioactividad inducida. Desarrolla el primer reactor nuclear y sus contribuciones al impulso de la teoría cuántica.

En 1938 DC., Werner Flechsig (1900-1981) inicia la construcción de los tubos de rayos catódicos a color.

En el Periodo, 1939 DC., a 1945 DC., La segunda guerra mundial originó un esfuerzo considerable en el desarrollo de todas las tecnologías a saber:

Comunicaciones y a los Sistemas de microondas, para aplicación a los sistemas de radar.

Se asentaron las bases para los perfeccionamientos futuras de técnicas orientadas a la población civil.

Se manipularon las guías de onda abiertas para alimentar reflectores o lentes, y las bocinas como radiadores poco directivos.

Se desarrollaron las bocinas con dos modos para controlar la distribución de Campos en la apertura, y las variaciones del reflector parabólico, como cilindros o sectores.

Se inventaron las antenas "pillbox" o "cheese".

Se deformaron los paraboloides o se utilizaron múltiples alimentadores para conformar el haz en forma de cosecante.

Se diseñaron arrays de guías ranuradas, en la cara estrecha o en la cara ancha, con diseños resonantes o de onda progresiva. Los trabajos de investigación fueron recopilados posteriormente por el "Radiation Laboratory", del M.I.T. , bajo la supervisión del "National Defense Research Coninúttee".

En 1940 DC., Harry Boot y John Randall descubren el magnetrón de seis cavidades permitiendo el desarrollo del radar en ondas cent métricas obteniendo una potencia media de 400 W y longitud de onda de 9.8 cm.

En este mismo año en Estados Unidos se construye el sistema EAGLE, con un array de 250 dipolos, a la longitud de onda de 3.2 cm, con la posibilidad de barrido en un margen de 60 grados.

## Antecedentes históricos

En 1936 DC., La RBC inicia la emisión de TV, utilizando sistemas mecánicos y electrónicos. Pronto se demostró la superioridad de los sistemas electrónicos. Durante la siguiente década se demostraron las ventajas de aumentar el ancho de banda y la frecuencia (VHF).

En 1939 DC., La NBC comienza la difusión de señales de televisión comercial.

En 1940 DC., Es instalado el primer servicio de radio teléfonos por "Deutsche Reichspost" entre Berlín y New York.

En 1941 DC., Konrad Zuse (22 de junio de 1910 - 18 de diciembre de 1995) fue un ingeniero alemán. Construye la primera computadora electrónica funcional de que se tiene noticia.

En 1941 DC., Se desarrolla la calculadora SUZE Z3 que incluía alrededor de 600 reles para cálculos y 2000 reles para memoria, trabajaba con el código binario "Leibnizsche. Son probados en USA los primeros programas de TV a color.

En 1942 DC., En México se separan las funciones del servicio postal y telegráfico, creándose con ello la Dirección General de Telecomunicaciones.

En 1942 DC., Se inventa el casete para grabación magnética de audio.

En 1942 DC., Thomas (Tommy) Harold Flowers, propone el sistema electrónico digital Colossus que usaba 1500 válvulas (tubos vacíos), habiendo sido de los primeros dispositivos calculadores usados por los británicos para leer las comunicaciones cifradas alemanas durante la Segunda Guerra Mundial.

En 1944 DC., Computadoras como Harvard Mark I de puesta en servicio del público - propiedad del gobierno - la edad de Ciencias de la Información comienza.

En 1944 DC., Howard H. Aiken's diseña en Estados Unidos el primer computador programable llamado MARK1

En 1945 DC., Arthur C. Clarke, propone en 1945 la utilización de los satélites geoestacionarios para los sistemas de comunicaciones de cobertura mundial. Un satélite en órbita circular ecuatorial de radio 42.242 vería siempre en la misma zona. Un satélite cubriría casi un hemisferio y con tres satélites espaciados 120 grados se tendría una cobertura mundial.

En 1946 DC., Tras la segunda guerra mundial se produce el resurgimiento de la radio-astronomía. Se construyen grandes instalaciones de observación. La primera de ellas fue la de Manchester (Jodrell Bank). En la actualidad destacan varias instalaciones, como el de Instituto Max Planck, de 100 metros de diámetro y 3200 toneladas. Puede funcionar hasta 30GHz. Otra gran instalación es el reflector esférico fijo de 305 m de diámetro construido en Arecibo, Puerto Rico. El alimentador primario está soportado por cables y tres toues. Es posible un budio de unos 20 p grados desde el cenith. En San Agustín, Nuevo México se encuentra el array VLA (Very large array), con 27 antenas cassegrain 'de 25 Km de largo que se pueden desplazar sobre tres ejes (separados 120 grados) de 21 Km de largo. Un radio-interferómetro de 5 km se encuentra en Cambridge.

## Antecedentes históricos

En 1946 DC., John Presper Eckert y John William Mauchly, desarrollan la primera computadora totalmente electrónica conocida como, Electronic Numerical Integrator And Computer (ENIAC), la cual contenía 1500 relés y acerca de 18000 tubos. El consumo de energía era de 150 kW, su peso de 30 toneladas aproximadamente y cubría un área de 140 metros cuadrados además era 1000 veces más rápida que MARK1.

En 1946 DC., Comenzó la gran expansión de la televisión. También Edwin H. Armstrong demostró la mejora de sonido en las transmisiones de radio, utilizando modulación de frecuencia en la banda de VHF.

En 1947 DC., Marcum y Swerhng presentan la teoría estadística de la detección.

En 1948 DC., Los investigadores estadounidenses John Bardeen y Walter H. Brattain patentan el transistor y B. Shockley los efectos del transistor como amplificador. El 1 de Julio la firma de los EE.UU. Bell Telephone Laboratories, anuncia por todos los medios de difusión norteamericanos el sensacional descubrimiento del transistor. Se definen regulaciones telefónicas para uso de los teléfonos de marcación directa antes de la 2da guerra mundial, nace el conteo de duración de llamada por impulsos. El transistor permite la miniaturización de los dispositivos electrónicos.

En 1949 DC., En México el servicio telegráfico es nacionalizado por la Dirección General de Telecomunicaciones, controlando totalmente el servicio manejado por las concesionarias, en sus propias instalaciones. En ese mismo año se crea el Departamento de Servicio Telegráfico Internacional.

En 1949 DC., Se substituye el computador e Integrador Numérico Electrónico, ENIAC) en la misma institución la Electronic Discrete Variable Automatic Computer (EDVAC), a diferencia de la ENIAC, no era decimal, sino binaria y tuvo el primer programa diseñado para ser almacenado. Este diseño se convirtió en el estándar de arquitectura para la mayoría de las computadoras modernas y un hito en la historia de la informática. A los diseñadores anteriores se les había unido el gran matemático John von Neumann. La EDVAC recibió varias actualizaciones, incluyendo un dispositivo de entrada/salida de tarjetas perforadas en 1953, memoria adicional en un tambor magnético en 1954 y una unidad de aritmética de punto flotante en 1958. Dejó de estar en activo en 1961.

En 1949 DC., Se inventan las primeras tarjetas de circuitos impresos con el fin facilitar la localización de los componentes y abaratar los costos de los equipos electrónicos.

En 1951 DC., Howard H. Aiken desarrolla el gran computador electromagnético. Las computadoras se empiezan a vender comercialmente.

En 1958 DC., Chester Carlson inventó la fotocopiadora o máquina Xerox.

## Antecedentes históricos

En 1953 DC., IBM anuncia la primera producción a gran escala de la computadora, IBM 650; se fabricaron 2,000 unidades desde 1954 hasta 1962. Este diseño estuvo orientado hacia los usuarios de las máquinas contables anteriores, como las tabuladoras electromecánicas (con tarjetas perforadas) o el modelo IBM 604. Pesaba alrededor de 900 kg, y su unidad de alimentación era 1350w. Cada unidad estaba en un armario separado, de 1,5 x 0,9 x 1,8 metros. Su costo oscilaba entre los \$500.000 Dls. y 550,000 Dls., y su alquiler por \$3.500 Dls. al mes.

En 1953 DC., Woodward propone la función de ambigüedad.

En 1953 DC., Enrico Fermi desarrolla el primer reactor nuclear, haciendo públicas sus contribuciones al desarrollo de la teoría cuántica, la física nuclear y de partículas, y la mecánica estadística.

En 1954 DC., México adquiere el primer equipo de microondas de manufactura francesa, con el propósito de mejorar los servicios telegráficos y telefónicos públicos, construyéndose la Ruta de Microondas de Occidente; fue la primera que se instaló en América Latina.

En 1954 DC., -RADAR- se introduce la técnica M.T.1 para la visualización de blancos móviles.

En 1954 DC., Se crea el primer radio-telescopio de 76 metros en Inglaterra.

En 1955 DC., Se instala el primer sistema de marcación telefónica a larga distancia en Basel Suiza. Se descubre el diodo varactor.

En 1956 DC., Bell y Howel desarrollan la cámara de video electrónica.

En 1957 DC., México inicia la telegrafía privada Telex (Teleprinter Exchange) y su revolucionaria modalidad de conmutación de circuitos basado en técnicas analógicas.

En 1957 DC., La URSS lanza al espacio el primer satélite, una esfera con un diámetro de 58 centímetros y un peso de 84 kilogramos, su nombre Sputnik

En 1958 DC., -EE.UU- 18 de Diciembre de 1958 se lanza el SCORE (Signal Communicating by Orbiting Relay Equipment). La órbita era elíptica de baja altitud, con un período de 101 minutos. El satélite grababa el mensaje al pasar por una estación reproduciéndola frente a otra estación receptora. La longitud máxima del mensaje era de 4 minutos, equivalente a un canal vocal o setenta canales de teletipo de 60 palabras por minuto. La frecuencia del enlace ascendente era 150 MHz y el descendente de 132 MHz. Había -un radiofaro a 108 MHz. Las baterías del sistema fallaron a los 35 días.

En 1958 DC., Se desarrolla el circuito integrado. Primeras transmisiones de radio estereofónicas.

## Antecedentes históricos

En 1960 DC., La NASA de EEUU pone en órbita al satélite "Echo I A", primer satélite de comunicaciones, una gran esfera metálica de 30m de diámetro localizada a una altitud de 1600 Km la que reflejaba las señales radioeléctricas que recibía. Repetidor pasivo, sin ningún tipo de baterías. Los períodos de rotación eran de 118 y 108.8 minutos. La órbita era muy baja, por lo que los satélites sólo eran visibles simultáneamente desde dos estaciones unos pocos minutos. La potencia de los -transmisores era de 10 kW, las frecuencias de 960 MHz y 2390 MHz, y las antenas de 25 y 18 m de diámetro.

En 1961 DC., IBM Alemania introduce el concepto de Tele-Procesamiento. Los datos transmitidos serial o paralelamente a través de una línea telefónica pueden ser reprocesados directamente en un computador. En el mes de Diciembre es puesto en órbita el primer satélite artificial "OSCAR I" para el uso de los radioaficionados.

En 1962 DC., el 20 de mayo el satélite "TELSTAR I" puesto en órbita por 10 días, permite la primera transmisión de imágenes de televisión entre USA y Francia. Órbita baja, Primer satélite con repetidores de banda ancha 4/6 GHz.

En 1963 DC., TELSTAR II, lanzado en 1963.

En 1963 DC., Desarrollado el Diodo Emisor de luz (LED)

En 1963 DC., Primer mini-computador comercial

En 1963 DC., -RADAR- se publica la teoría del filtro adaptado, que ya se había usado durante el período de la guerra. En la década de los 60 se introducen las técnicas digitales.

En 1964 DC., Inicia la tercera generación de equipos electrónicos con la IBM 360, y con ello la primera en la historia en ser atacada con un virus informático. Fue la primera en usar el término byte para referirse a 8 bits (con cuatro bytes creaba una palabra de 32-bits) y la incorporación de circuitos integrados. Popularizo la computación remota, con terminales conectadas a un servidor, por medio de una línea telefónica. Fue una de las primeras computadoras en realizar tanto, análisis numéricos, administrativos y/o procesamiento de archivos.

De 1963-1964 DC., Los satélites SVNCON II, y III fueron los primeros puestos en órbita geoestacionaria, en 1963 y 1964. El primero, de la serie falló durante el lanzamiento. La utilización era militar.

En 1964 DC. Washington establece las bases de la red satelital INTELSAT (International Telecommunications Satellite Corporation), convirtiéndose en el primer sistema global de comunicaciones satelitales.

En 1964 DC., USA enlaza por un canal de radio satelital el hospital de la Universidad de Nebraska, el Instituto Psiquiátrico de Omaha y el Hospital de Norfolk empezando así la Telemedicina.

## Antecedentes históricos

En 1964 DC., - La NASA de EEUU pone en órbita al satélite ECHO II lanzado con la finalidad de continuar con los experimentos de comunicación pasiva (enviándosele señales a 162 MHz), de densidad y de presión de radiación. Además fue usado para realizar mediciones geodésicas. Usó un sistema de inflado mejorado para conseguir una superficie más suave y esférica. Llevaba sensores de temperatura para mediciones de la superficie del globo y sensores de presión para controlar la presión interna. Llevaba dos transmisores alimentados por baterías recargables mediante células solares y que transmitían a 136,16 MHz y 136,02 MHz.

En 1965 DC. Se realiza el lanzamiento de “Pájaro Madrugador” (Early Bird, INTELSAT I) primer satélite comercial de comunicaciones, que ocupó la órbita geoestacionaria.

En 1965 DC., Se logran la primeras fotografías del planeta Marte transmitidas desde el satélite Mariner 4. Comienza la comunicación comercial vía-satélite

En 1965 DC., Primer satélite comercial en órbita geoestacionaria fue el INTELSAT I, también llamado Early Bird. Estuvo en operación hasta 1969. Tenía dos transpondedores de 25 MHz de ancho de banda. Los enlaces ascendentes estaban a 6301 MHz para Europa y 6390 MHz para Estados Unidos. Los enlaces descendentes estaban a las frecuencias de 4.081 MHz y 4161 MHz. Con dicho satélite se inicia la actual época de telecomunicación espacial.

La organización INTELSAT inició sus actividades en 1964, con 11 países miembros, en la actualidad tiene 109 miembros y da servicio a 600 estaciones terrenas en 149 países. Las series de satélites van desde los INTELSAT I a INTELSAT VII.

El INTELSAT I podía transmitir 240 canales vocales o un canal de TV.

En 1968 DC., Los satélites de la serie INTELSAT III se empezaron a lanzar en 1968, podían transmitir 1200 circuitos telefónicos y 2 canales de TV.

En 1967 DC., México se vuelve el miembro del consorcio INTELSAT iniciándose en las comunicaciones espaciales.

En 1968 DC., México construye la primera estación terrena (Tulancingo I), para realizar la transmisión a color de los Juegos Olímpicos vía satélite.

En 1971 DC., Los de la serie IV se empezaron a lanzar en 1971, con 4000 canales y 2 de TV.

En 1979 DC., Se crea INMARSAT, (Organización Internacional de Satélites Marítimos), permitiendo la comunicación a través de satélite con barcos. Se utilizan satélites MARECS.

En 1981 DC., La serie V se inicia en 1981, con 12000, canales vocales y 2 de TV. Finalmente los de la serie VI triplican la capacidad del anterior. Multiplica por 150 la capacidad del primer INTELSAT 1. El número de transpondedores es de 38, en la banda C y 10 en la banda Ku.

## Antecedentes históricos

Dichos satélites distribuían inicialmente la señal a las estaciones locales y redes de cable, pero en la actualidad pueden ser recibidos por usuarios individuales. Destacan los satélites europeos ECS y ASTRA, que trabajan en la banda de 10.9 a 11.7 GHz y los satélites americanos en la banda de 3.7 a 4.2 GHz.

Los satélites de difusión directa DBS tienen asignadas unas frecuencias diferentes, de 11.7 a 12.5 GHz, y podrán ser recibidos con antenas de diámetro reducido y receptores de bajo coste.

En 1966 DC., El científico Charles Kao nacido el 4 de noviembre de 1933 en Shanghái, China. Es el primero en usar la luz a través de un conductor de fibra de vidrio en la transmisión de llamadas telefónicas

En 1968 DC., -FAX- La firma electrónica alemana Grundig introduce el concepto de Foto-telegrafía al permitir la transmisión de imágenes a través de líneas telefónicas.

En 1969 DC., Nacimiento de Internet, gracias al desarrollo de la red de computadores ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) fue creada por encargo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos ("DOD" por sus siglas en inglés) como medio de comunicación para los diferentes organismos del país. El primer nodo se creó en la Universidad de California, Los Ángeles y fue la espina dorsal de Internet hasta 1990, tras finalizar la transición al protocolo TCP/IP iniciada en 1983.

En 1970 DC., Se uso oficialmente el método de Múltiplexación por división de tiempo (TDM) para intercambio telefónico.

En 1970 DC., Primer microprocesador Intel 4004 disponible comercialmente e integrado en un chip, conteniendo todos los elementos necesarios para conformar una unidad central de procesamiento de 4 bits (UCP o CPU: Central Process Unit), construido con 2.300 transistores.

En 1971 DC., Rank Xerox coloca la primera tele-copiadora en el mercado. Desarrollo con base en los micro-procesadores.

En 1972 DC., Segundo microprocesador Intel 8008, con un CPU de 8 bits, y 3.300 transistores, dando paso a la construcción de los ordenadores personales.

En 1972 DC., Primeras 2839 conexiones de TV cable construidas en EEUU.

En 1974 DC., Primera calculadora programable de bolsillo lanzada por Hewlett-Packard

En 1975 DC., La compañía IBM desarrolla la primera impresora láser tipo IBM 3800, SONY saca al mercado el "Betamax", se inaugura en Toronto/Canadá el TV más grande del momento (553.33 m).

## Antecedentes históricos

En 1976 DC., SIEMENS desarrolla el teletipo, Motorola introduce la tecnología TTL para desarrollos de nuevos microprocesadores.

En 1977 DC., Fue el año con mayor número de lanzamientos de satélites de comunicación (SIRIO I , CS , INTELSAT4), Siemens empezó la producción en masa de las centrales telefónicas EWS.

En 1978 DC., Se logro tener información acerca de la atmósfera de Venus. Primera fibra óptica puesta en operación en Berlín.

En 1979 DC., Se introduce el servicio de Telefax en Frankfurt. SONY desarrolla el primer radio cassette. El 16 de julio se funda INMARSAT. Japanese Matsushita Inc. patenta la pantalla de televisión de cristal liquido.

En 1980 DC., Varias firmas japonesas lanzan al mercado los primeros receptores de radio sin condensador variable de sintonía, que es sustituido por un sintetizador PLL y un teclado numérico para marcar las frecuencias. Se incrementan las capacidades de almacenamiento en los microchips 64megas. Se posiciona en el mercado el primer computador portátil. Se introduce la tecnología de banda ancha para transmisión usando Mhz de BW. Se pueden realizar videoconferencias.

En 1981 DC., México configura su primer sistema satelital doméstico, con la ayuda del satélite norteamericano Westar II y la red INTELSAT, haciendo uso de la Estación Terrena Tulancingo 3. A mediados de éste año comenzó a rentarse el servicio de tres satélites: dos del consorcio INTELSAT, para comunicaciones nacionales e internacionales y el norteamericano Westar III, para cubrir emisiones televisivas.

En 1981 DC., Finlandia, Suecia, Noruega y Dinamarca: sistema NMT (Nordic Mobile Telephone), 450MHz-.

En 1981 DC., Se introduce la tecnología de sonido multicanal. Los primeros CD player y discos compactos se posicionan en el mercado.

En 1982 DC., España, NMT a 450MHz

En 1982 DC., European Telecommunications Standards Institute (ETSI) establece un patrón común: El Groupe Special Mobile (GSM). Para una futura red celular de ámbito Europeo.

En 1982 DC., El nuevo sistema de teletipo llamado Telefax se introduce en Alemania, Suiza y Gran Bretaña, tiene capacidad de procesamiento digital y velocidad de transmisión 1200 bit/s.

En 1983 DC., Es el año de los computadores personales, discos flexibles y dispositivos de almacenamiento de información.

En 1984 DC., por primera vez, imágenes de un cometa son transmitidas a la tierra por un satélite

En 1985 DC., Se lanza el primer sistema de satélites mexicano, con la puesta en órbita de los satélites Morelos I y Morelos II.

## Antecedentes históricos

Para la comunicación vía satélite, en 1985 el gobierno adquirió dos satélites de comunicación fabricados por la empresa Hughes Aircraft Company: El Morelos I, un HS 376 llevado hasta su órbita el 17 junio de 1985, habiéndose construido para entonces el Centro de Control de Iztapalapa en México D.F. Posteriormente sería lanzado el Morelos II el 27 de noviembre del mismo año. Lo anterior, representó el principio del sistema satelital doméstico (Satmex), administrado y operado por TELECOMM (Telecomunicaciones de México). Con este sistema satelital integrado por el Morelos I y II, se pretendía conectar todo el territorio nacional mediante un sistema de comunicaciones que contara con los más recientes adelantos tecnológicos. Su utilización se pensó originalmente para fines educativos y para proporcionar a las entidades federativas un medio de comunicación que le permitiera integrar las diversas regiones de las que se compone.

En 1985 DC., Se lanzan satélites estadounidenses para aplicaciones militares, aviones, misiles etc...

En 1986 DC., La sonda Giotto se aproxima a 500 km del centro del cometa Halley y transmite datos físicos a la tierra

En 1987 DC., Se empieza a utilizar el Nuevo formato de audio digital (DAT) donde la portadora de sonido excede en velocidad de grabación.

En 1987 DC., Tecnología del GSM es Time Domain Multiple Access (TDMA).

En 1989 DC., Se crea Telecomunicaciones de México (TELECOMM) organismo público descentralizado, para auxiliar al Ejecutivo Federal en la prestación de los servicios públicos de telégrafos y de radiotelegrafía, considerados estratégicos, así como para la comunicación vía satélite.

En 1989 DC., Sistemas de radiodifusión satelital digital en Alemania. Hay entonces TV de alta definición. Con el Voyager 2 se capturan datos de 4.4 billones de kilómetros más allá del planeta Neptuno. Se establece el primer sistema de comunicaciones RDSI en el área de Rotterdam

En 1990 DC., México amplía la legislación en materia del uso de los sistemas satelitales, buscando promover su manejo al público usuario. El Reglamento de Telecomunicaciones publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de octubre de 1990, fue el instrumento legislativo que permitió la ampliación de la utilización de los servicios satelitales por el público usuario, lográndose con ello la asignación total de la capacidad del sistema de satélites Morelos

En 1990 DC., La comisión europea Rocket Ariane lanza uno de los más grandes satélites de comunicación en el Eutelsat IIF1 con un peso de 1.8 tons y 16 canales que pueden soportar 17000 llamadas telefónicas o 16 canales de TV a color en el tráfico de datos.

En 1991 DC., Dockent 91-228 introduce los identificadores de llamada.

## Antecedentes históricos

En 1992 DC., Se cancela oficialmente el sistema Morse del Sistema Telegráfico Mexicano. En las oficinas de la Central de Telégrafos en la Calle de Tacuba # 8 a 141 años de distancia del envío del primer mensaje telegráfico en 1851, justamente al mismo destino del primer telegrama desde Nopalucan, hoy De la Granja, en el Estado de Puebla.

En 1992 DC., Nace Internet comercialmente

En 1992 DC., Empieza a funcionar el GSM

En 1993 DC., México pone en órbita el satélite Solidaridad I. Primero de la segunda generación de satélites mexicanos puestos en órbita. Éste, al igual que sus predecesores -los satélites Morelos I y II- fue construido también por el Grupo de Espacio y Comunicaciones de Hughes Aircrat Co. Tanto el Solidaridad I y el Solidaridad II serían enviados bajo un contrato dado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Sería un cohete Ariane el que pondría en órbita al Solidaridad I el 19 de noviembre de 1993, pero sería hasta el año 2000 cuando éste dejaría de operar antes de cumplir con su vida útil debido a fallas técnicas.

En 1993 DC., México Ingresa a la organización INMARSAT, establecida en 1979, a fin de participar en los servicios básicos civiles.

En 1994 DC., México pone en órbita el satélite Solidaridad II que al igual que su satélite gemelo el Solidaridad I, fue puesto en órbita por un cohete Ariane. En un principio el satélite prestó servicios a particulares y al gobierno, pero actualmente sólo opera en órbita inclinada para la Secretaría de defensa, la Procuraduría General de la República, la Secretaría de Seguridad Pública y la Marina Armada de México en Banda "L", siendo el único satélite restante que puede operar señales cifradas, voz y datos para éstas instituciones gubernamentales.

En 1994 DC., Después de 25 años desde Arpanet, EEUU privatiza el manejo de Internet.

En 1995 DC., México permite constitucionalmente la inversión privada en la comunicación vía satélite, al reformarse el cuarto párrafo del artículo 28 con el que la comunicación vía satélite dejó de ser regulada como un área estratégica para ser considerada como área prioritaria para el desarrollo nacional, se dio apertura a la inversión privada y se estableció en la Ley Federal de Telecomunicaciones la posibilidad de otorgar concesiones mediante el procedimiento de licitación pública a empresas mexicanas, con el límite de participación extranjera del 49 por ciento para ocupar posiciones orbitales geoestacionarias y órbitas satelitales asignadas al país.

En 1996 DC., Terry Wynne da la idea del más grande proyecto en cuanto a redes a nivel mundial el WWW; Se desarrolla el software para transmitir voz telefónica y música de alta calidad a través de Internet; Es privatizada parcialmente por Telefónica de España, lo que ha resultado de los mayores éxitos en la privatización de operadores públicos de telecomunicaciones.

## Antecedentes históricos

1997.- Se privatiza el sistema satelital mexicano, que en esas fechas operaba los Satélites Morelos II y Solidaridad I y II. El 15 de Octubre de 1997 se privatiza el 75% del sistema satelital mexicano, que en esos años era operado por el Gobierno Federal a través de TELECOMM (quien conservó los telepuertos y el servicio móvil satelital en banda de frecuencia "L"). Con ello se otorgó la concesión de los satélites Morelos 2, Solidaridad 1 y 2, así como los centros de control de Iztapalapa y Hermosillo, a manos de la empresa Satélites Mexicanos (SATMEX).

En 1998 DC., Se lanza el satélite Satmex 5. Fue el primer satélite comercial mexicano lanzado desde la iniciativa privada. Es un satélite geosíncrono modelo HS 601 HP, único satélite Latinoamericano que ofrece cobertura continental desde Canadá hasta Argentina, en una sola huella satelital. Transmite con una potencia de 49 dBW y transporta una carga útil de 24 transpondedores en banda "C" y 24 en banda "Ku".

En 1998 DC., Sistemas de redes Ópticas pueden transmitir 3.2 Tera bits por Segundo (equivale a 90.000 volúmenes de una enciclopedia). Crean el Chip DSL (Suscriptor de Línea Digital) que puede bajar datos a 1.5 megabits por segundo, 30 veces más rápido que los módems análogos.

En 1999 DC., Se declara en quiebra IRIDIUM el Primer sistema de comunicaciones Móviles de Tercera Generación, que iba a implantarse en el mundo.

## Década del 2000 al 2012

- Google primer lugar entre las preferencias de los usuarios de Internet.
- Internet de banda ancha es actualmente un elemento tan natural como la electricidad en un gran número de hogares.
- Facebook, Myspace, Twitter posibilidad de crear redes y subredes donde intercambiar información, fotografías, vídeos, entre otros.
- Conexión Inalámbrica a Internet.
- iPod: reproductores MP3 con disco duro de 6Gb.
- iPhone.
- Pantallas planas de TV.
- Vídeo de alta resolución.
- La "nube": almacenamiento de datos en la red.
- Navegación GPS para comunicadores.

En 2001 DC., La compañía DoCoMo lanza comercialmente la telefonía UMTS o de tercera generación en Europa.

## Antecedentes históricos

En 2006 DC., Se lanza el satélite Satmex 6. Es un satélite artificial construido para México por Space Systems Loral (SSL) y fue puesto en órbita el 27 de Mayo del 2006 mediante un cohete ARIANE 5. EL satélite fue llevado hasta su posición geoestacionaria de 113° longitud Oeste que dejó libre el satélite Solidaridad 2, mismo que fue reubicado a la posición 114.9° longitud Oeste. El satélite está diseñado para tener una vida útil de 15 años. Cuenta con 50% más potencia que el SATMEX 5 y mayor ancho de banda. Es el satélite de comunicaciones más grande que ha construido Space Systems Loral (SSL)

2010.- Sistema Satelital Mexsat.

El gobierno mexicano, a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, decidió comprar tres nuevos satélites con fines de seguridad del Estado mexicano, los cuales se llamarán Mexsat 1, 2 y 3, respectivamente. Serán dos satélites gemelos, uno respaldo del otro, para operar en banda "L" y "Ku" y otro que opere en banda "C". El 8 de noviembre de 2010, el Ejecutivo Federal dio a conocer que el nuevo Sistema Satelital Mexicano será operado por Telecomunicaciones de México (Telecomm-Telégrafos) considerando su experiencia en materia de operación y administración de sistemas similares. Se espera que antes de que termine 2012 el primer satélite (Mexsat 1) sea puesto en órbita.

2010.- 24 de enero: En Venezuela deja de emitir el canal privado de televisión RCTV Internacional, por incumplir la ley resorte.

2010.- 2 de abril: En España, dentro del plan nacional de transición a la Televisión Digital Terrestre (TDT) se produjo el apagón analógico.

2010.- 14 de junio: La sonda espacial japonesa Hayabusa, tras un viaje de siete años, aterriza en Woomera (Australia), habiendo recogido muestras del suelo del asteroide Itokawa en noviembre de 2005.<sup>138</sup>

2010.- Fin del programa del transbordador espacial.

2011.- 15 de enero: Wikipedia cumple su décimo aniversario (Wikipedia en inglés)

2011.- 16 de marzo: Wikipedia en español cumple su décimo aniversario.

2011.- En el CERN se consiguen crear unos 300 átomos de antihidrógeno y mantenerlos aprisionados durante 16 minutos.<sup>184</sup>

2011.- El proyecto Hi-Gal de la ESA fotografía una estructura hasta el momento solo concebida teóricamente. Se trata de un anillo de 650 años luz de diámetro, que gira alrededor del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea.<sup>185</sup> El anillo se localiza a 28 000 años luz de la Tierra, posee 10 veces más materia que el agujero negro al que circunvala.

## Antecedentes históricos

2011.- 16 de mayo: El Transbordador Espacial Endeavour, despegó en su vigésima quinta y última misión espacial.

2011.- 9 de junio: Desde la Base Vandenberg en Santa Bárbara (California), la NASA (agencia estadounidense) y la CONAE pone en órbita el satélite argentino SAC-D Aquarius, que medirá la salinidad de todos los océanos del planeta.

2011.- 21 de julio: Se pone fin a los viajes en transbordadores espaciales con el aterrizaje del Atlantis en su última misión.

2011.- 20 de julio: El Telescopio Espacial Hubble ha descubierto un cuarto satélite de Plutón. Según las primeras estimaciones, la pequeña luna mide entre 13 y 34 km de diámetro. Es denominada provisionalmente como P4.

2011.- El 23 de julio la revista Astrophysical Journal Letters, publica el hallazgo de lo que hasta el momento se configura como la mayor reserva de agua en el Universo. El descubrimiento fue realizado por un grupo de astrónomos del JPL (Jet Propulsion Laboratory) de la NASA y del Caltech (California Institute of Technology).

2011.- 23 de septiembre. En un experimento conjunto entre el CERN y el laboratorio de partículas nucleares del Gran Sasso, distantes 730 km, se ha podido medir la velocidad de los neutrinos, que han superado la velocidad de la luz. El descubrimiento revoluciona toda la concepción actual de la física. Las mediciones rigurosamente controladas son el resultado del trabajo de 160 científicos, de 11 países, coordinados por el científico italiano Antonio Ereditato.

2011.- 29 de septiembre: A las 13:16 GMT China lanza el primer módulo de laboratorio espacial Tiangong-1, no tripulado, germen de la futura estación espacial china que proyectan construir para 2020

2011.- Se lanza a la venta el iPad 2 de Apple.

2012.- 10 de enero: La expedición británica en los fondos de las Islas Caimán en el Caribe descubre fuentes hidrotermales a profundidades mayores a los 5.000 m debajo del nivel del mar. En estos ambientes extremos, se descubren nuevas especies de vida marina, en condiciones hasta el momento no imaginables.

2012.- 6 de febrero: Investigadores de Rusia alcanzaron tras más de tres décadas de perforación la superficie del lago Vostok que se encuentra a unos 3.800 metros bajo el casquete glacial de Antártida y podría guardar rastros de microorganismos antiguos.

2012.- 6 de marzo: Tormenta solar de dimensiones muy superiores a las habituales.

2012.- 6 de junio: Segundo tránsito del planeta Venus en el siglo XXI.

### **De lo analógico a lo digital. Televisión de alta definición.**

La sustitución de señales analógicas por digitales es uno de los avances tecnológicos que mayor impacto ha tenido sobre las telecomunicaciones y la radiodifusión en las últimas décadas. La conversión de emisiones de voz (telefonía), audio (radio) y video con audio asociado (televisión) a señales electromagnéticas digitales para su transmisión por redes de telecomunicaciones o de radiodifusión constituye un enorme avance respecto al pasado analógico. A diferencia de la señal analógica, la señal digital se presta a ser comprimida, procesada con tecnologías informáticas, y almacenada. Lo anterior se traduce en mayor eficiencia, flexibilidad e innovación y en mejores servicios.

Las ganancias de eficiencia que ofrece la digitalización son evidentes. Por la misma línea de cobre donde antes sólo podía transmitirse una llamada telefónica analógica a la vez, ahora pueden viajar simultáneamente varias llamadas telefónicas digitales.

En el mismo canal del espectro radioeléctrico donde antes cabía una sola señal de televisión analógica, ahora caben seis diferentes señales equivalentes de televisión digital.

Las ganancias de flexibilidad que la digitalización trae consigo son todavía más espectaculares. Por las nuevas redes de telecomunicaciones la voz, la música, el texto, y el video se convierten en datos, conjuntos de ceros y unos que viajan juntos e indistinguibles entre sí hasta que son decodificados, reconstituidos y entregados en la terminal de su destino. Si las señales telefónicas, las de música, las de datos y las televisivas pueden viajar juntas, la convergencia de diferentes servicios de telecomunicaciones y radiodifusión deja de ser una posibilidad utópica y se vuelve una realidad tangible. Por otra parte, si las diferentes señales digitalizadas pueden ser almacenadas fácilmente, los servicios adquieren dimensiones y funcionalidades diferentes: la pieza musical que transmite la estación de radio y el programa de televisión pueden grabarse y reproducirse cuando el usuario lo desee, a la velocidad que el usuario lo desee, saltándose —si así lo desea el usuario— las partes de la transmisión que no considere atractivas (por ejemplo, los anuncios comerciales).

La televisión de alta definición o HDTV (siglas en inglés de high definition television) es uno de los formatos que, junto a la televisión digital (DTV), se caracterizan por emitir señales televisivas en una calidad digital superior a los sistemas tradicionales analógicos de televisión en color (NTSC, SECAM, PAL).

Anteriormente el término se aplicaba a los estándares de televisión desarrollados en la década de 1930 para reemplazar a los modelos de prueba. También se usó para referirse a modelos anteriores de alta definición, particularmente en Europa, llamados D2 Mac, y HD Mac, pero que no pudieron implantarse ampliamente.

### **Transición analógico-digital en la televisión abierta estadounidense y en la mexicana**

La adopción de tecnologías digitales es un proceso en el que voluntariamente se involucran las empresas de servicios de telecomunicaciones y de radiodifusión, habida cuenta de que las nuevas tecnologías permiten reducir los costos de dichas empresas al utilizar de manera más eficiente sus medios de transmisión existentes, así como aumentar sus ingresos al permitir la prestación de nuevos servicios sobre la misma infraestructura.

Pero la adopción de tecnologías digitales por las empresas de telecomunicaciones y radiodifusión puede no ser exclusivamente un proceso de adopción tecnológica voluntaria. Es también un proceso guiado y apoyado por la regulación por razones de interés público. Este ha sido el caso de la transición de la televisión analógica a la digital en países como Estados Unidos y México.

En el proceso de adopción de la televisión digital nuestro país ha seguido de manera cercana el modelo sui generis establecido por los legisladores y reguladores de Estados Unidos. Dada la influencia significativa que ha tenido el modelo estadounidense para el caso mexicano, conviene revisar la historia del primero y destacar algunas de las fuertes críticas a que ha sido sujeto.

#### **La transición a la televisión digital en México**

Aunque tiene algunos aspectos particulares diferentes, el camino seguido por México para regular la transición de la televisión analógica a la digital de alta definición sigue las pautas establecidas por la normatividad estadounidense. Lo anterior se observa en la adopción del estándar estadounidense de televisión digital de alta definición, y en un proceso de transición regulado operado por las empresas radiodifusoras de televisión abierta preexistentes, a las cuales el Estado asigna de manera gratuita nuevas frecuencias para difundir señales digitales de televisión.

Formalmente, la regulación de la transición de la televisión analógica a la digital de alta definición en México ha procedido al amparo de cuatro acuerdos secretariales, tres de ellos publicados en los últimos dos años de la administración del presidente Ernesto Zedillo, y uno más reciente publicado en el cuarto año de la administración del presidente Vicente Fox. El primer Acuerdo Secretarial, de julio de 1999, estableció un Comité Consultivo abocado al estudio de las tecnologías digitales de radiodifusión y facultado para emitir recomendaciones sobre las mismas al secretario de Comunicaciones y Transportes. El segundo Acuerdo Secretarial, de marzo de 2000, reservó diversas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para la introducción de la radiodifusión digital. El tercer Acuerdo Secretarial, de octubre de 2000, modificó los títulos de concesión y permisos de las estaciones de radio y de televisión para incorporarles condiciones que establecen la facultad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para resolver sobre las tecnologías de radiodifusión digital a ser adoptadas en México, y para establecer la obligación de los concesionarios y permisionarios de implantarlas conforme a lo dispuesto por la SCT.

## Antecedentes históricos

Este Acuerdo también introduce en los títulos de concesión y permisos de los radiodifusores mexicanos los elementos esenciales de lo que acabará siendo el esquema mexicano de transición regulada a la televisión digital. El cuarto Acuerdo Secretarial, de julio de 2004, es el instrumento regulatorio fundamental de la transición a la televisión digital en México, pues en él se establece el estándar de televisión digital adoptado por México, la transmisión simultánea de señales analógicas y digitales por los concesionarios de radiodifusión, el calendario de transición a la televisión digital, la asignación gratuita de frecuencias adicionales a los radiodifusores, y la prórroga gratuita y hasta 2021 de las concesiones de radiodifusión preexistentes.

En adición con lo dispuesto en los acuerdos secretariales, la reforma a las Leyes de Telecomunicaciones y Radio y Televisión, de abril de 2006, también resulta de la mayor importancia para normar el desarrollo futuro de la transición a la televisión digital de alta definición. Dicha reforma sujetó la materia de radio y televisión a la autoridad reguladora de la Cofetel, y estableció normas relativas a la prestación de servicios adicionales con el espectro concesionado para radiodifusión.

A continuación revisaremos varios aspectos destacados de la regulación mexicana de la transición a la televisión digital.

### **Adopción del estándar estadounidense de televisión digital**

México acabó resolviendo adoptar el estándar estadounidense para la transmisión digital terrestre de radiodifusión de televisión. Para llegar a esa decisión, las autoridades mexicanas establecieron desde 1999 un Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión facultado para emitir recomendaciones a la SCT sobre “la adopción de tecnologías digitales en materia de radio y televisión”.<sup>12</sup> Posteriormente, en octubre de 2000, la SCT acordó modificar los títulos de concesión y permisos de los radiodifusores mexicanos para incorporar en éstos una condición que los obliga a “implantar la o las tecnologías que así resuelva la Secretaría y, al efecto... observar y llevar a cabo todas las acciones en los plazos, términos y condiciones que le señale la propia Secretaría...”.<sup>13</sup> El Comité analizó los tres grandes estándares disponibles (el ATSC de Estados Unidos, el DVB-T europeo, y el ISDB japonés) y recomendó la adopción del estándar A/53 de ATSC, mismo que la SCT resolvió adoptar en julio de 2004.<sup>14</sup>

La adopción mexicana del estándar estadounidense de televisión digital no resulta sorprendente. En materia de espectro radioeléctrico, la frontera común obliga a coordinar el uso de frecuencias entre México y Estados Unidos, situación que se facilita si las frecuencias de referencia son utilizadas para los servicios con características similares (si los servicios de uno y otro lado de la frontera son diferentes, es más fácil que se presenten casos de interferencia perjudicial). Además, la vecindad geográfica y la integración comercial hacen que en principio resulte más fácil y económico para empresas radiodifusoras y usuarios mexicanos acceder a equipos de televisión que utilicen la misma tecnología que los estadounidenses.

### **Cronología de la televisión de alta definición en México**

Durante la primera mitad de 2005, al menos un proveedor de cable en la Ciudad de México (Cablevisión) empezó a ofrecer cinco canales en HDTV a los suscriptores que comprasen un grabador digital de vídeo (DVR).

A mediados de abril de 2010, el servicio de pago satelital SKY lanzó su servicio HD para los suscriptores que comprasen un decodificador SKY+HD. Actualmente el servicio de SKY ofrece dos decodificadores con tecnología HD y Full HD, los cuales son SKYHD y SKY+HD; ambos decodificadores ofrecen 35 canales con estas tecnologías, además de ofrecer diferentes eventos comprados individualmente.

En diciembre de 2010, el servicio de pago satelital Dish Network México lanzó su servicio HD con 6 canales más una antena HD.

TV Azteca transmite desde 2005 los canales 24HD, 25HD y 26HD de televisión abierta con señal HDTV. Y en el Mundial de Alemania también presentó transmisiones en HDTV en ciudades fronterizas, Monterrey, Guadalajara y México, D. F. El canal 24 anteriormente transmitía otro contenido a 1080i, principalmente de terceros (películas, documentales, series de TV) y posteriormente comenzó a transmitir la misma señal del canal 7 analógico, mientras que canal 25 transmite prácticamente la misma señal que el canal 13 analógico, simplemente re-escalando el contenido a 1080i y alargando la imagen de 4:3 a 16:9 causando que las personas y objetos aparezcan desproporcionados, sin embargo algunos programas "clave" como ciertas novelas, programas de revista y partidos de fútbol (Venga la alegría, Para Todos, Ventaneando, Hechos) se presentan en 1080i/16:9 verdadero.

El 1 de enero de 2008 El canal de las Estrellas comenzó la distribución de todo su contenido de noticias en HD 1080i/16:9. El 7 de enero de 2008 TV Azteca comenzó la distribución de todo su contenido de noticias en HD 1080i/16:9.

En Monterrey están disponibles los canales Azteca 13 y 7HD de TV Azteca, Canal 5, el Canal de las Estrellas, Monterrey Televisión y Galavisión México por parte de Televisa, además de Multimedia Televisión que también emite una parte de su señal abierta en HDTV.

## Antecedentes históricos

En Ciudad Juárez, se emite señal abierta de las cadenas TV Azteca y Televisa, también por ser frontera influye la ley digital de los Estados Unidos. Recordar que sólo los canales analógicos son de funcionamiento diferente al digital, SD y HD ya que para estos formatos se necesita caja convertidora o una HDTV. Se emiten las señales de Azteca 7 (20 analógico y 20.1 HD), Azteca 13 (11 y 11.1 HD), XEJ-TV y Galavisión (5 analógico, 5.1 SD, Alternativo 5.2 HD), Canal 5 (Televisa México 56 analógico), Canal de las Estrellas (32 analógico, 32.1 HD y 32.2 SD), CBS (4.1 HD), My Network (4.2 digital), ABC (7.1 HD), The CW (7.2 SD), Channel Weather (7.3 digital), Azteca América (7.4 digital), NBC (9.1 HD), Estrella TV (9.2 digital), PBS (13.1 HD), Art Channel (13.2 digital), FOX (14.1 HD), RTV (14.2 digital), Univisión (26.1 HD, Telemundo 26.2 SD, LATV 26.3 SD), Christian Channel (38.1 digital), Canal Cristiano (38.2 digital), Christian Channel-2 (38.3 digital), Telemundo (48 analógico y 47.1 HD), Telefutura (65.1 HD, 65.2 SD), LATV (65.3 digital), Televisa Ciudad Juárez (2 analógico), Milenio TV/Multimedios TV (26 analógico, en esta señal se transmiten programas de ambas cadenas) y Canal de las noticias/Cadena tres (44 analógico, 44.1 HD, Alternativo 44.2 SD en esta señal se transmiten programas de ambas cadenas, Televisión Universitaria 44.3 SD).

En Mexicali se emiten las señales de los canales Azteca 7 (7HD, en la sintonía 25.1), Azteca 13 (13 HD, en la sintonía 28.1) así como el Canal de las Estrellas (en la sintonía 14.1). Además están disponibles varios canales estadounidenses transmitidos en HD (Univisión, en la sintonía 7.1,; LATV en la sintonía 7.2; FOX, en la sintonía 9.1; ABC, en la sintonía 9.2; CW, en la sintonía 9.3; Telemundo, en la sintonía 9.4; NBC, en la sintonía 11.1; This TV, en la sintonía 11.2; CBS, en la sintonía 13.1; CBS Sports Channel, en la sintonía 13.2; y TeleFutura, en la sintonía 54.1).

En Puebla se encuentran disponibles los canales HDTV, TV Azteca empieza transmisiones en HD transmitiendo en formato 1080i desde 2007, Televisa abre su señal en alta definición el 8 de octubre de 2010.

Canal 3 Televisa Puebla - Canal 3.1 (asignación Cofetel Canal 29) (requiere antena aérea a 4 m de altura) Canal 6 Azteca 13 - Canal 6.1 (asignación Cofetel Canal 24) (fácil de sintonizar) Canal 8 XHGC Canal 5 - Canal 8.1 (asignación Cofetel Canal 42) (requiere antena aérea a 4 m de altura) Canal 10 Canal de las estrellas(2) - Canal 10.1 (asignación Cofetel Canal 36) (requiere antena aérea a 4 m de altura) Canal 12 Azteca 7 - Canal 12.1 (asignación Cofetel Canal 27) (fácil de sintonizar) Canal 32 Galavisión - Canal 32.1 (asignación Cofetel Canal 47)(requiere antena aérea a 4 m de altura)

En Querétaro están disponibles los canales Azteca 13 (13 HD, en la sintonía 9.1) así como Azteca 7 (7HD, en la sintonía 36.1), transmitidos en 1080i.

## Antecedentes históricos

En Toluca están disponibles los canales Azteca 13 (13 HD, en la sintonía 6.1) así como Azteca 7 (7HD, en la sintonía 19.1 o 45.1), transmitidos en 1080i.

En León están disponibles los canales Azteca 13 "Analógico 13" (13 HD en la sintonía 12.1) Azteca 7 "Analógico 8" (7 HD en la sintonía 7.1) El Canal de las Estrellas (11.1) Canal 5 (25.1) CDC (2.1)

En Cuernavaca están disponibles los canales Azteca 13 (13 HD, en la sintonía 13.1) así como Azteca 7 (7HD, en la sintonía 28.1), transmitidos en 1080i.

En Culiacán, Televisoras Grupo Pacífico introdujo los canales 3.1 y 3.2 en HD, actualmente se transmiten programas en vivo en HD.

En Durango, Canal 10 introdujo el canal 10.1 en Alta definición, para programas como "Aclarando amanecer", "Tiempo y espacio", "Pa' la raza grupera", entre otros.

Actualmente TV Azteca emite Azteca 7, Azteca 13 y Proyecto 40 en formato de Alta Definición.

En 2009 Tv Azteca lanzó un servicio llamado Hi-tv que consiste en un decodificador que emite las señales de Tv Azteca y Televisa y también otros canales digitales que son los siguientes: Azteca Novelas, Frizbee, Pelimanía, Az Mix, AYM Sports, Nuestra Tele Noticias 24 Horas, Antena.Neox, Zala TV, TV Mex, Azteca 7 -2h y Azteca 13 -2h.

En 2007 Televisa realizó su primera telenovela en HD presentada en 1080i/16:9: Pasión.

El estándar seleccionado para la transmisión de estas señales fue el estadounidense ATSC.

# CAPITULO I

## Antecedentes Teóricos

Conceptos generales en las  
telecomunicaciones.

## 1.- Fundamentos de telecomunicaciones

### Información, comunicación y telecomunicaciones.

Información es un conjunto de datos que representan ideas mediante las cuales se incrementa nuestra conciencia, inteligencia o conocimiento. Desde el punto de vista de telecomunicaciones, información es un concepto perfectamente definido que se puede cuantificar mediante la ecuación de Shanon (Ecuación 1.1):

$$C=B \log_2 (1+RSR) \quad (1.1)$$

Donde:

C Capacidad del canal

B Es el ancho de banda.

RSR Es la Relación Señal a Ruido; S/N

S Es la potencia de la señal útil, puede estar expresada en vatios, milivatios, etc., (W, mW, etc.)

N Es la potencia del ruido presente en el canal, (mW,  $\mu$ W, etc.)

Por otro lado, comunicación se define como la impartición envío o intercambio de información entre diferentes entidades. Se puede realizar mediante lenguaje, imágenes, instrucción, movimiento, olor, etc. O puede ser simplemente una mueca.

Telecomunicaciones significa transmisión a distancia de información mediante procedimientos electromagnéticos.

Dentro del contexto específico de telecomunicaciones, la información puede ser una página de texto, escrito, una conversación, una imagen de televisión, etc. La información requiere de la conversión a forma eléctrica (señal) para que sea enviada por medios de telecomunicación. Pero existen muchos tipos diferentes de información, de modo que existen diferentes sistemas.

La información que se envía sobre los sistemas de telecomunicaciones normalmente se clasifica como información analógica y de datos (digital). La señal analógica es de un tipo de onda eléctrica cuya forma es directamente análoga a la información que representa (por ejemplo, voz o una imagen de televisión). Datos por otro lado, es el término que se emplea para describir la información en la forma de texto y números (Caracteres alfanuméricos).

Los dos diferentes tipos de información de datos y analógica requieren tratamiento diferente. Por ejemplo, cuando se conversa con alguien, se espera que las respuestas lleguen inmediatamente después de nuestra propia voz, pero cuando enviamos una carta esperamos la respuesta en varios días. La analogía es directa con las telecomunicaciones; esto es, la representación eléctrica de la conversación debe permitir que el oyente responda inmediatamente. Pero en el caso de la comunicación de datos, existe un tiempo ligeramente mayor, pues una computadora está preparada para aceptar tiempos de respuesta de uno a dos segundos. Un humano encontraría esta magnitud de retardo intolerable en la conversación cotidiana.

Otra diferencia entre las representaciones eléctricas diseñadas para diferentes aplicaciones sería la velocidad con la cual la información se puede transferir. Normalmente a esto se le conoce como velocidad de información o ancho de banda. Un circuito de voz requiere más ancho de banda para transportar los diferentes tonos de voz de lo que necesita un circuito telegráfico simplemente para transportar el mismo texto.

#### Sistema básico de telecomunicaciones

Para la transferencia de información deben de existir cuatro componentes básicos:

- 1.- Un dispositivo de transmisión.
- 2.- Un mecanismo de transporte
- 3.- Un dispositivo de recepción y
- 4.- Que el transmisor envíe la información que sea compatible para el receptor.

Estos componentes forman un sistema básico de telecomunicaciones.

Un ejemplo en sistema de comunicaciones consiste en dos personas que hablan entre sí, el dispositivo de transmisión es la boca, el mecanismo de transporte es el aire sobre el que el sonido se desplaza y el dispositivo de recepción es el oído de la otra persona.

Considerando que ambas personas hablen el mismo idioma, el cuarto requisito queda también satisfecho y la conversación se puede realizar. La codificación y el método de transferencia de información sobre el mecanismo de transporte se conocen como protocolo. En el ejemplo anterior el protocolo será el idioma. La parte más pesada del diseño de un sistema de telecomunicaciones a menudo es la necesidad de asegurar la compatibilidad del protocolo. En algunos casos, esta necesita el suministro de dispositivos de interoperación. Este puede ser un traductor de Polaco al Español.

En la siguiente figura 1.1 se muestra un sistema simplex. Donde están los elementos principales de las telecomunicaciones.

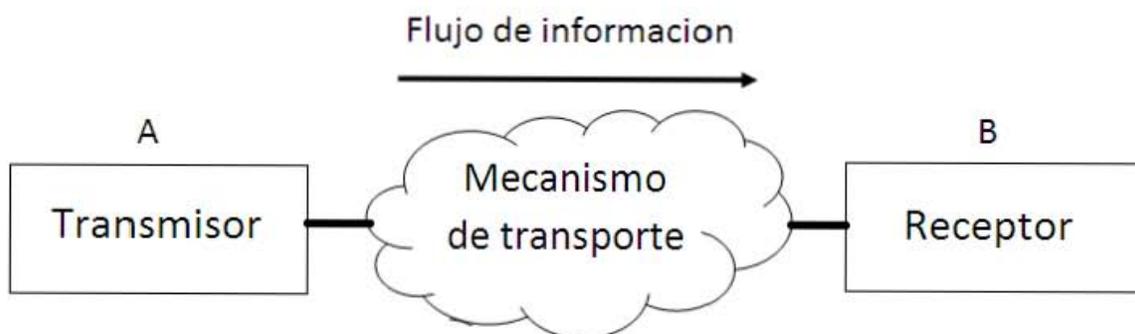


Figura 1.1 Sistema Simplex

Para muchos otros ejemplos de comunicación, la operación bidireccional o dúplex es necesaria. Para este tipo de operación, se debe proveer un transmisor y un receptor en ambos extremos de la conexión. Como se muestra en la siguiente figura 1.2:

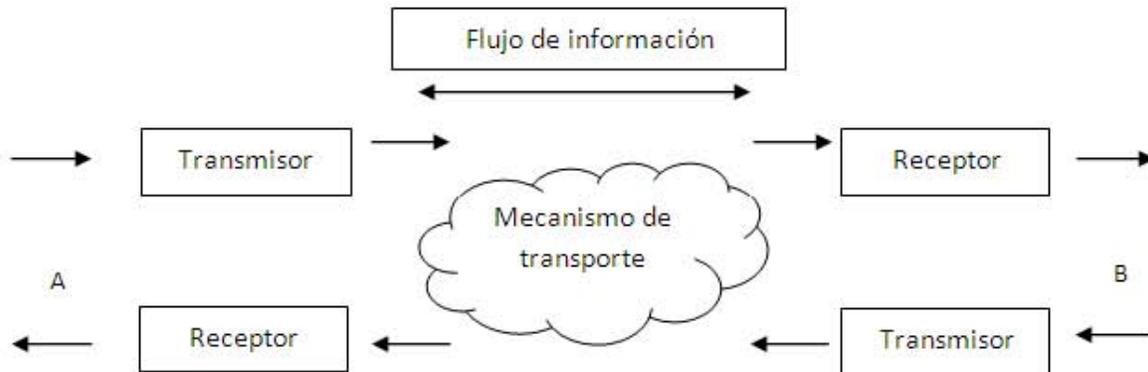


Figura 1.2 Flujo de información

La mayoría de los mecanismos de transporte requieren codificar la información o los datos en una forma de señal apropiada para su envío sobre los medios eléctricos de transmisión.

Tipos comunes de sistemas de telecomunicaciones. Con el fin de satisfacer diferentes necesidades de comunicación, con el tiempo se han desarrollado diferentes tipos de sistemas de telecomunicaciones. En un orden cronológico son:

Telegrafía, telefonía, télex, Redes de datos (Conmutación de circuitos o de paquetes), redes de computadoras (LAN y WAN), redes integradas de voz y datos.

## 2.- Señales analógicas y digitales

### Codificación y mensaje eléctrico

Para que la información se pueda transportar adecuadamente sobre las redes de telecomunicaciones, primero se debe codificar en forma eléctrica, es decir, como mensaje eléctrico (señal). Únicamente tales señales se pueden enviar sobre los conductores y centrales que forman el mecanismo de transporte de las redes de telecomunicaciones. Así definimos que señal como la manifestación eléctrica de la información.

### Transmisión analógica y digital.

El mecanismo de transporte más simple que se emplea en telecomunicaciones es el par conductores eléctricos. Este permite el envío de una corriente eléctrica de señal desde el transmisor en un extremo del par hasta el receptor en el otro extremo.

Existen dos métodos básicos de codificación de información que se pueden utilizar para transmitir en forma eléctrica dicha información. Estos son la codificación y transmisiones analógicas y la codificación y transmisión digitales.

La codificación analógica implica la creación de una forma eléctrica (señal) análoga a la forma de onda original Figura 1.3. De esta manera la señales de forma similar a la voz o a la forma de onda de la información original. Las líneas de transmisión analógicas se emplea para enviar señales con codificación analógica, e históricamente han predominado en los enlaces de las redes de telecomunicaciones del mundo. Las centrales analógicas han suministrado las interconexiones nodales entre enlaces de este tipo.

En la codificación digital, la información se convierte en una serie de pulsos eléctricos binarios que se pueden asumir alguno de sólo dos valores posibles de amplitud. Se dice que se envía como una serie de dígitos y de aquí el término de transmisión digital. En la figura .1.4 se observa esta técnica se ha convertido en el principal método de transmisión de telecomunicaciones. Esto se debe a los beneficios significativos que ofrece la transmisión digital, tanto en términos de funcionamiento como de costo.

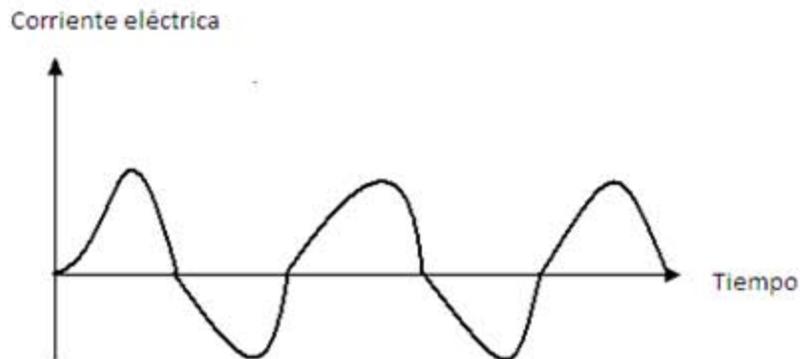


Figura 1.1.3 Señal eléctrica

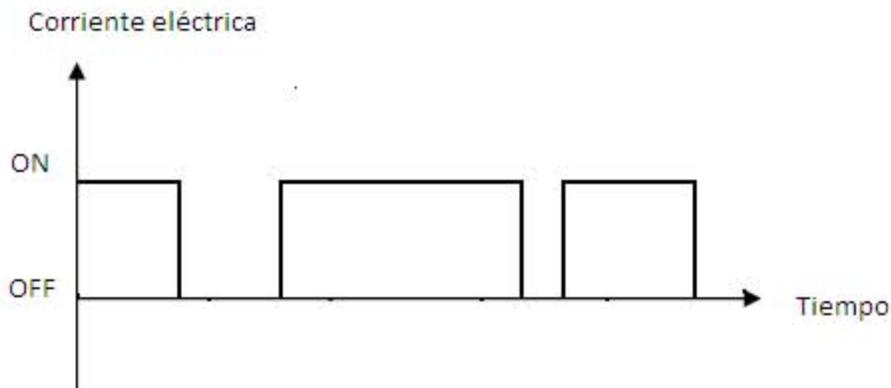


Figura 1.1.4 Señal digital típica

### 3.- Características en tiempo y frecuencia de las señales.

En el contexto de la información y las telecomunicaciones, las señales y los sistemas, no es únicamente donde han adquirido importancia; también en otros campos del conocimiento, tales como aeronáutica, astronáutica, acústica, sismología, ingeniería biomédica, medicina en general (como electrocardiogramas y electroencefalogramas, tomografías axiales computarizadas y los estudios de resonancia magnética), sistemas de generación y distribución de energía eléctrica, control de procesos de transformación (ingeniería química) y de manufactura (ingeniería industrial o mecánica), uso doméstico (horno de microondas) y entretenimiento (CD en los cuales se genera audio y video).

En cada una de esas áreas del conocimiento, las señales utilizadas son de distinta naturaleza: en acústica se trata de señales generadas por fuentes de sonido como la voz, la música o cualquier clase de ruido; en control de procesos pueden ser señales de tipo térmico, mecánico o eléctrico generadas por los procesos mismos; en medicina pueden ser señales eléctricas o magnéticas generadas por el organismo humano; en sismología se trata de señales mecánicas, es decir, movimientos de la corteza terrestre. Sin embargo, todas ellas tienen algo en común: cada señal tiene una o más características que reflejan el comportamiento de uno o varios fenómenos físicos; es decir, que en alguna de sus características contiene información acerca de los fenómenos físicos que entran en juego.

Como ejemplo el área de la sismología. El fenómeno físico participante en la generación de un sismo es el movimiento brusco de las capas que forman la corteza terrestre. Como estos movimientos generalmente son de tipo "impulsivo", producen, a su vez, movimientos en la superficie terrestre, ocasionando lo que se conoce como un sismo. Dicho movimiento tiene ciertas características, tales como intensidad y naturaleza ondulatoria. Si el movimiento de la superficie terrestre se traduce de alguna manera a una señal eléctrica, las características de la señal sísmica se preservan, pero en este caso se contaría con una señal que podría ser estudiada con mayor facilidad que la señal mecánica original. Considerando que un posible futuro gran sismo que afectaría de manera muy negativa a la ciudad de México podría generarse en la costa del estado de Guerrero, recientemente se instaló en esa zona un conjunto de sensores (sistemas que detectan los movimientos de las capas terrestres con base en aceleraciones) que generan señales eléctricas características de los movimientos de tipo mecánico por lo común asociadas a los sismos. Estas señales son transmitidas vía radio a la ciudad de México. Como los movimientos generados por el sismo viajan a lo largo de la superficie terrestre a una velocidad de aproximadamente 300 metros por segundo, y las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, las señales eléctricas transmitidas por este medio son recibidas en México antes de la llegada de las ondas sísmicas (es decir, del temblor). Con ello, los habitantes de la ciudad de México dispondrán de un tiempo valiosísimo antes de la llegada del sismo, durante el cual, si la población está bien capacitada y entrenada, se pueden realizar labores de evacuación.

Con este ejemplo se aprecia la dependencia que existe entre el tiempo y una señal: cualquier persona que haya estado presente durante un sismo, recordará que conforme avanza el tiempo los movimientos de la tierra cambian de sentido, se percibe una especie de "vaivén" o de "sube y baja", y, afortunadamente, también conforme avanza el tiempo, la intensidad de los movimientos disminuye hasta que todo vuelve a su estado inicial de reposo.

Esta dependencia del tiempo es una de las características más importantes de casi todas las señales. En términos un poco más formales, las características de la señal son "una función del tiempo". Para ilustrar esto se presentan dos señales aparentemente iguales en forma, pero distintas entre sí porque su relación con el tiempo es diferente: la primera tiene una duración de 5 segundos, elevándose a su valor máximo en 3 segundos, mientras que la segunda sube a su valor máximo en 2 segundos y tiene una duración total de  $11/3$  segundos.

En lo sucesivo, para indicar de manera explícita que la señal es función del tiempo, se utilizará la siguiente notación:

- y, x,        u otra letra indica la amplitud de la señal;
- t            representa el tiempo.
- y(t) o x(t)    indica que y o x son función del tiempo.

En la siguiente figura 1.5 a y b se muestran dos graficas de igual forma pero en distinta relación temporal.

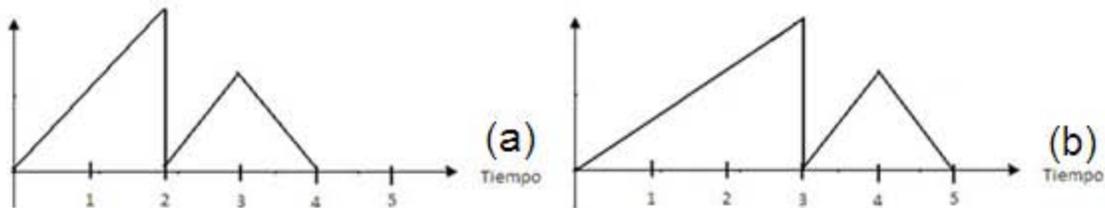


Figura 1.5 Graficas de diferente relación temporal

En el ejemplo anterior las señales varían de una manera continua en función del tiempo; esto significa que conforme avanza el tiempo la señal adquiere valores dentro de un intervalo continuo. Ello se puede aclarar si se analiza un ejemplo donde esto no ocurra.

Imaginemos una señal proveniente de un contador del metro al pasar los usuarios por el torniquete. En este caso, el valor que adquiere la señal de conteo puede ser uno de los números asociados con un proceso de conteo: a lo largo del tiempo pueden haber pasado por el torniquete 1, 82 ó 138 personas (usuarios), pero el número de usuarios no puede haber sido 66.3.

A diferencia del primer caso, en que se habla de "señales continuas en amplitud" o "señales analógicas", esta segunda clase de señales se denomina "señales continuas en el tiempo, discretas en amplitud": la señal únicamente puede tomar, a lo largo del tiempo, valores de un cierto conjunto, que en este ejemplo, son los números enteros 0, 1, 2, 3, 4, 5... etc. Los cambios entre los valores enteros pueden ocurrir en cualquier instante (este hecho es lo que la hace continua en el tiempo).

En la siguiente figura 1.6 se ilustra una señal  $x(t)$  que es continua en el tiempo y continua en amplitud, y una señal  $y(t)$  que es continua en el tiempo pero discreta en amplitud.

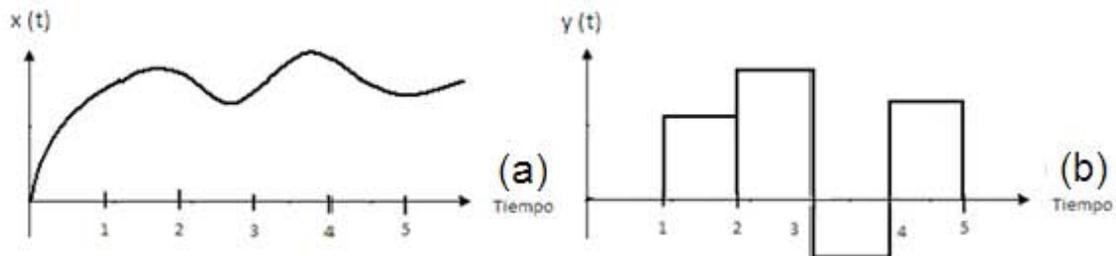


Figura 1.6 Graficas de señal  $x(t)$  continua en tiempo y amplitud -  $y(t)$  continua en tiempo discreta en amplitud

Por otra parte, ambas clases de señales tienen un valor determinado para cada valor del tiempo. Sin embargo, existe la posibilidad de que una señal adquiera valores únicamente en ciertos instantes de tiempo (por ejemplo, cada segundo, cada minuto o cada año). Esto puede deberse, ya sea a que así es el fenómeno físico asociado, o bien porque no se tienen los mecanismos para medir las características de las señales más que en determinados instantes.

Para ilustrar esta clase de señales, denominadas "discretas en el tiempo", a diferencia de las primeras que son "continuas en el tiempo", supongamos que la señal de interés proviene de las imágenes captadas por una cámara de cine. Una cámara de cine toma en realidad fotografías fijas a razón de entre 24 fotografías por segundo (esta velocidad es lo suficientemente grande como para engañar al ojo humano y dar la impresión de que se trata de imágenes de objetos en movimiento). En este ejemplo se trata de muestras de imágenes en movimiento, captadas lo suficientemente rápido como para que su contenido de información no se pierda. Este fenómeno, interesante e importante dentro de las telecomunicaciones, se denomina teorema del muestreo.

H. Nyquist lo postula de la siguiente manera: No es necesario observar todo el tiempo una señal analógica o continua en el tiempo para poder decir cuál es su valor en cualquier momento, aunque la señal no haya sido observada en ese instante. Es suficiente observar sus valores en instantes suficientemente cercanos entre sí, para poder reconstruir la señal de la misma manera que si no se hubiera dejado de observar la señal en ningún instante. La restricción es que el tiempo entre las observaciones (técnicamente éstas se conocen como las "muestras" de la señal) debe ser lo suficientemente pequeño para poder captar aun las variaciones más rápidas

Este principio, si bien no es válido universalmente, sí es lo suficientemente general para ser aplicable a una gran cantidad de señales (las señales que de alguna manera son de interés práctico), y, de hecho, es uno de los pilares de las telecomunicaciones digitales (esto será analizado más adelante). Sus implicaciones son muy profundas: por ejemplo, en lugar de tener que guardar toda la evolución de una señal a lo largo del tiempo, es suficiente guardar un conjunto de las muestras de la señal, sin perder la posibilidad de reconstruir toda la señal a partir de sus muestras.

En el ejemplo de la cámara de cine, cada cuadro de la película que representa una imagen fija de la escena filmada es una muestra de la realidad continua, y la reconstrucción de la señal a partir de dichos cuadros o muestras fijas la realizan el ojo y el cerebro humanos de manera tal que el observador en ningún momento se percata de la naturaleza discreta de lo que está viendo.

En la siguiente figura 1.7 a y b se muestra una señal analógica  $x(t)$ , así como su versión muestreada, que designaremos  $x[mT]$ , donde las muestras ocurren en los instantes en que el tiempo  $t$  toma los valores  $T, 2T, 3T...$ , etc. Estos instantes se llaman tiempos de muestreo, y al tiempo entre muestras consecutivas se le llama intervalo de muestreo.

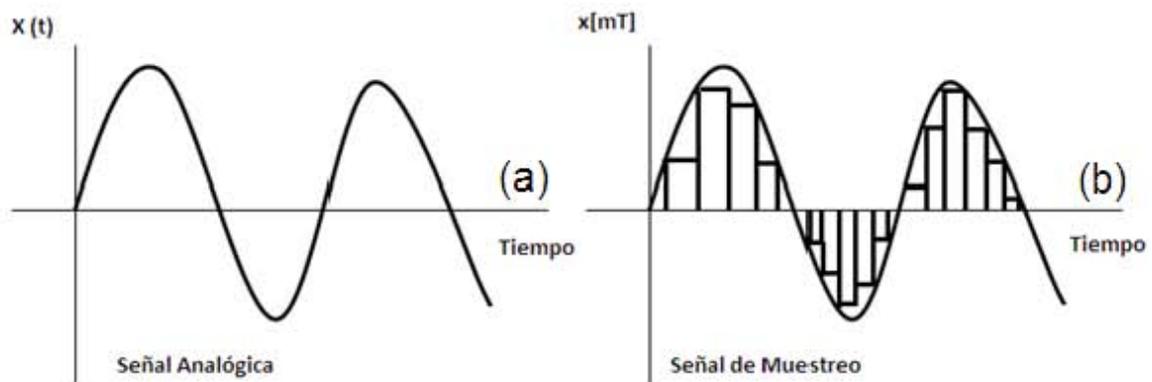


Figura 1.7 (a) Señal analógica  $x(t)$  - (b) Señal analógica muestreada

Finalmente, cuando una señal discreta en el tiempo sólo puede tomar valores de amplitud discretos, entonces se trata de una señal discreta tanto en el tiempo como en amplitud. Este tipo de señales ha cobrado una gran importancia en las comunicaciones digitales, ya que los sistemas modernos de telecomunicaciones son eficientes y efectivos precisamente debido a este tipo de señales. A las señales que son discretas en el tiempo y en amplitud se les denomina señales digitales, y cuando la amplitud de la señal solamente puede tomar uno de dos valores entonces se trata de una señal digital binaria.

Se denomina "sistema" al conjunto de componentes o dispositivos del mundo físico que interactúan entre sí, que aceptan señales como entradas, las transforman y generan otras señales a su salida.

En la siguiente figura 1.8 donde  $x(t)$ ,  $S[x(t)]$ ,  $y(t)$ , representan, respectivamente, la entrada al sistema, el sistema que transforma la señal de entrada, y la salida del sistema.

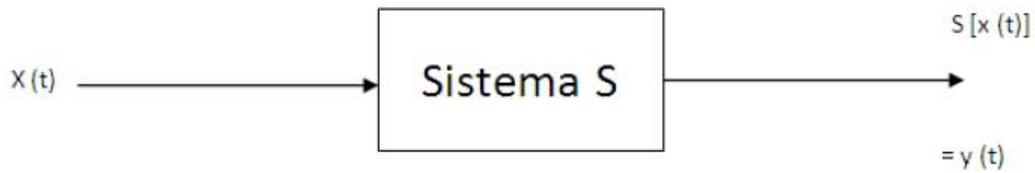


Figura 1.8 Entrada de sistema que transforma una señal.

Un sistema puede ser visualizado como una caja negra del mundo físico que transforma la señal a su entrada para generar la señal a su salida.

Los siguientes son ejemplos sencillos de sistemas, y en cada caso se identifica cuál es la entrada y cuál la salida:

a) Equipo de sonido. La entrada es una señal de música (codificada eléctrica, mecánica u ópticamente) que puede provenir de un disco fonográfico (LP), una cinta magnética (casete), un disco compacto o una antena de radio; la salida es una señal de audio. De hecho, el equipo de sonido puede ser considerado como un conjunto de sistemas, donde las salidas de unos son las entradas de otros; por ejemplo, el primer sistema puede ser el toca discos de CD. Su entrada es una señal grabada precisamente en el CD; esta señal es procesada ópticamente por el sistema, y se genera a la salida una señal eléctrica que a su vez es la entrada del amplificador. La salida del amplificador es una réplica de la entrada. Si además se cuenta con altavoces, entonces la señal eléctrica amplificada es convertida por los altavoces en réplicas acústicas.

b) Televisor. La entrada es una señal eléctrica proveniente de una antena, de un cable o de una videograbadora, y la salida es una señal visual en la pantalla del televisor y una señal acústica en los altavoces de éste.

c) Muestreador. Este sistema tiene como entrada una señal continua en el tiempo, y a su salida una señal discreta en el tiempo, donde cada muestra tiene una amplitud igual o proporcional a la de la señal original en el tiempo de muestreo. Como se muestra en la siguiente figura 1.9.

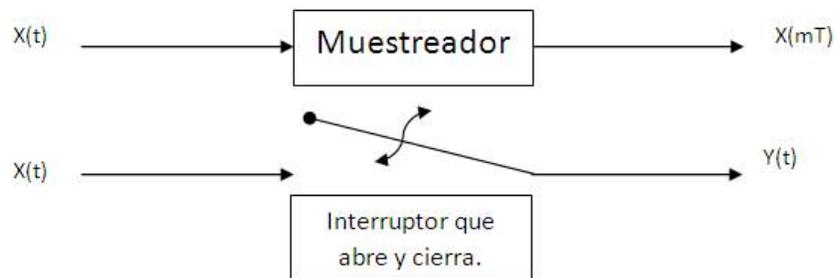


Figura 1.9 Muestreador. Interruptor que abre y cierra.

d) Cuantizadores. También tienen funciones importantes en las telecomunicaciones. Visto como sistema, la entrada a un cuantizador es cualquier señal continua, y la salida es una versión cuantizada de la misma; si la entrada es continua en el tiempo y en amplitud, la salida es continua en el tiempo, pero discreta en amplitud. Como se observa en la siguiente figura 1.10:

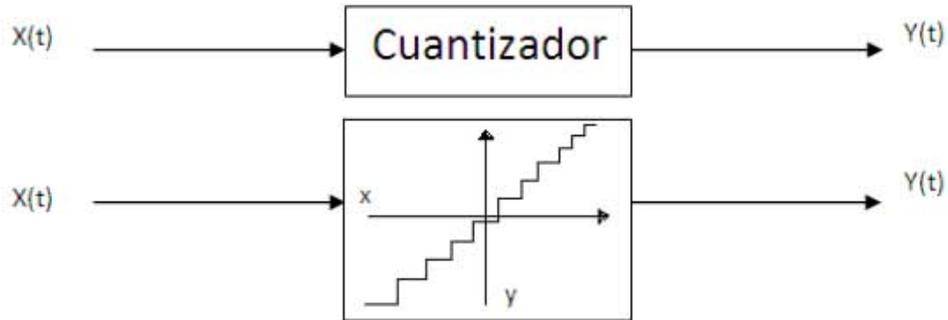


Figura 1.10 Cuantizador

Los ejemplos del equipo de sonido y el televisor ilustran que es posible interconectar sistemas, de manera tal que la salida de unos sean las entradas de otros, generando de esta manera sistemas más generales. En la siguiente figura 1.11 se ilustra la conexión en serie de dos sistemas S1 y S2. Se puede observar que la salida de S1 es la entrada de S2, y que la salida de S2 es la transformación que realiza la conexión de ambos sistemas sobre la entrada de S1.

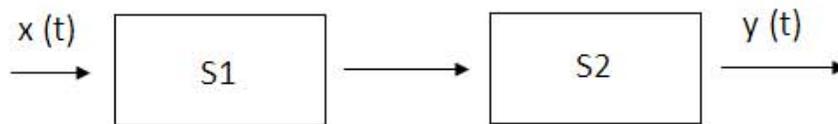


Figura 1.11 Sistemas S1 y S2

Habiendo establecido los conceptos básicos de un sistema es posible hablar ahora con más detalle sobre las señales digitales. Una señal digital es discreta en el tiempo, y únicamente puede tomar valores de un conjunto finito de símbolos o valores (cuando el número de símbolos es 2, por ejemplo, 0 y 1, se trata de una señal binaria).

Una señal digital puede provenir de los siguientes tipos de fuentes:

1) Una fuente discreta en el tiempo, que genera señales digitales, como números, letras o texto. Estas señales son digitales porque los números o letras que genera la fuente (símbolos de la fuente o alfabeto de la fuente) sólo pueden pertenecer a un conjunto finito de símbolos. Si son números decimales, cada símbolo que genera la fuente únicamente puede ser un número perteneciente al conjunto 0, 1, 2, 3..., 9. Si son letras del abecedario, cada símbolo puede ser una letra del conjunto A, B, C..., X, Y Z.

2) Una fuente que genera señales discretas en el tiempo y continuas en amplitud, caso en el cual hay que generar una señal discreta en amplitud a partir de las señales continuas. Para realizar este proceso, se necesita cuantizar cada valor de la fuente, es decir, aproximar cada valor continuo por medio de uno discreto. La cuantización puede ser, por ejemplo, por redondeo de cada muestra, es decir, redondeando cada valor continuo al valor discreto más cercano (más adelante se verá esto con más detalle).

3) Una fuente continua en el tiempo y continua en amplitud. En este caso es necesario muestrear la señal continua, para posteriormente cuantizarla de acuerdo con lo descrito anteriormente.

Como ya se ha mencionado en repetidas ocasiones, aunque una señal contiene información de interés en alguna de sus características —por ejemplo, en la variación respecto al tiempo de la amplitud o la duración—, no debe ser confundida con la información que contiene. En la figura 1.12 se presentan dos señales que aparentemente tienen la misma forma, pero que difieren en su duración; de hecho, estas dos señales podrían corresponder a un "punto" y una "raya" de una señal telegráfica.

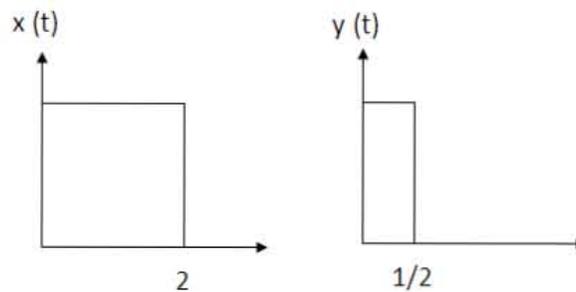


Figura 1.12 Señal misma forma distinta duración.

Partiendo entonces de las ideas anteriores, y estando claro que, si bien una señal contiene información, no es lo mismo una señal que la información que ésta contiene, cabe plantearse la siguiente pregunta: ¿en qué parte o en qué característica de una señal está contenida la información? La respuesta a esta cuestión ha sido una de las razones de ser de los ingenieros en telecomunicaciones de las últimas décadas. Más específicamente, ha habido un interés definitivo en la manera de hacer que una señal contenga la información de interés en alguna de sus características, tratando de que ello ocurra de manera eficiente y económica.

Para profundizar más en esto es importante introducir el concepto de una señal senoidal. Recuerdese que  $y(t)$  representa una señal; se dice que una señal  $z(t)$  es una señal senoidal, cuando su representación es del tipo; Ecuación 1.1.2 :

$$z(t) = a(t) \text{ sen } wt \quad (1.1.2)$$

En esta expresión,  $a(t)$  es la amplitud de la señal (en este momento se puede suponer que  $a(t)$  es una constante, es decir,  $a(t) = a$ ;  $\sin$  representa la función trigonométrica del seno;  $t$  es el tiempo; y  $w$  la frecuencia de la señal. En la figura 1.1.13 se ilustran señales senoidales en las cuales  $a = 1$ , y la frecuencia  $w$  toma los valores 1, 2 y 4.

Se puede apreciar que cuando  $w = 4$  la frecuencia de la señal es mayor que cuando  $w = 1$ , y esto se traduce en una variación mucho más rápida de la señal respecto al tiempo ver la figura 1.13. La frecuencia de una señal se mide en hertz (Hz), en memoria de H. Hertz, quien por primera vez estudió el fenómeno, o bien en kilohertz (1 kHz = 1000Hz), o incluso, megahertz (1 MHz = 1 000 000 Hz). Un Hz representa una variación de un ciclo completo en un segundo; 1 MHz representa 1 millón de ciclos por segundo.

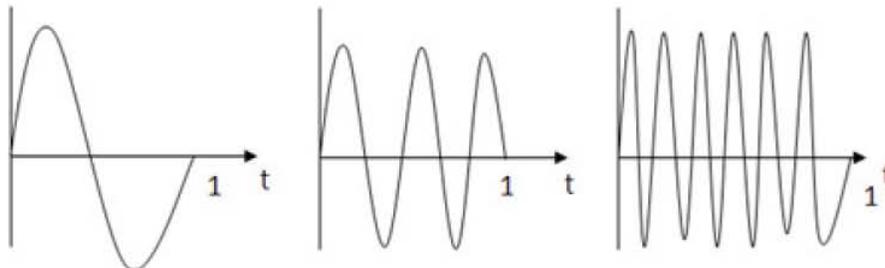


Figura 1.13 Señales senoidales con diferentes frecuencias

Aparte de que por sí mismas son de gran interés matemático, la importancia de las ondas o señales senoidales radica en que, en un conjunto de condiciones generales, muchas señales pueden ser expresadas como la suma de ondas o señales senoidales. Este hecho fue establecido en 1822 por el matemático J. Fourier (1768-1830). Un ejemplo ilustrativo de la composición de señales por medio de ondas senoidales es la música generada por órganos o sintetizadores electrónicos: las tonalidades que generan son la suma de distintas combinaciones de tonos "puros". En ingeniería de comunicaciones, una señal senoidal (de una sola frecuencia) es lo que en acústica (señales auditivas) sería un "tono puro". Como se muestra en la siguiente figura 1.14

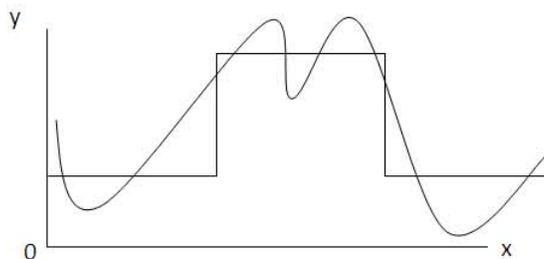


Figura 1.14 Señal Senoidal Fourier

No todas las personas pueden escuchar las frecuencias más altas (tonos agudos) generados por el órgano, y hay combinaciones de tonos que al oído de una persona le parecen agradables y al de otra desagradables. En la ingeniería de comunicaciones a este fenómeno se le conoce como respuesta en frecuencia de un sistema (en este caso, del oído humano).

El rango de frecuencias contenidas en una señal se conoce como el ancho de banda de la señal. Por ejemplo, existen pequeños silbatos que generan tonos de frecuencias muy altas, que no pueden ser escuchados por el promedio de los seres humanos porque las frecuencias son más altas que las que su oído les permite percibir (son de "ultrasonido", es decir, "de un sonido más allá de los que el oído percibe"), pero que se usan para dar órdenes a los perros, que sí perciben dichos sonidos, lo cual quiere decir que el oído de un perro tiene una respuesta en frecuencia más amplia que el oído de un ser humano.

Para ilustrar aún más este concepto, considérese por ejemplo, la música reproducida por medio de un equipo electrónico. Normalmente, al ser humano le parece más agradable, más real, la música reproducida por medio de un equipo que tenga el calificativo de "alta fidelidad". Ello significa que este equipo es capaz de reproducir señales cuyas frecuencias son tan altas que un equipo que no es de "alta fidelidad" no alcanza a reproducirlas, pero que en una sala de conciertos sí podría escuchar. En una sala de conciertos, la información la generan los instrumentos musicales; las vibraciones mecánicas producidas por ellos son transportadas en lo que comúnmente se conoce como ondas acústicas que llegan a los oídos del auditorio. Es interesante notar que cada uno de los instrumentos puede generar en cualquier instante de tiempo un tono de cualquier frecuencia o combinaciones de ellas (dentro de un rango especificado por una frecuencia mínima y una máxima), y con cualquier intensidad, nuevamente en un rango de intensidades mínima y máxima.

Un equipo de alta fidelidad debe ser capaz de reproducir señales hasta de 20 kHz (que está por arriba de la frecuencia máxima que percibe el oído humano), y los silbatos para perros a que se ha hecho referencia generan tonos cuyas frecuencias son del orden de 30 kHz.

Así como una señal puede ser caracterizada por su dependencia respecto al tiempo, también existe la posibilidad de caracterizarla de acuerdo con las señales senoidales que pueden ser sumadas para formar la señal. Esto se conoce como "espectro en frecuencia de la señal". Se entiende por el "ancho de banda de una señal" la cantidad de frecuencias que están contenidas en una señal.

Para entender estos conceptos, analicemos la posibilidad de transmitir música utilizando una línea telefónica. Realizando este experimento se puede comprobar que no es posible transmitir música de alta fidelidad por este canal, debido a que la música tiene componentes en frecuencia cercanos a 20 kHz, mientras que el canal telefónico sólo es capaz de transmitir tonos hasta de cerca de 4 000 Hz. Los 20 kHz son el ancho de banda de la señal, y los 4 000 Hz son el ancho de banda del canal telefónico. Si se realiza el experimento, se notará que la música que se escucha difiere de la versión original; a este efecto se le conoce como "distorsión": la música de alta fidelidad es distorsionada por el canal telefónico.

El efecto de transmitir una señal de gran ancho de banda por un canal de un ancho de banda menor se muestra en la figura siguiente 1.15:

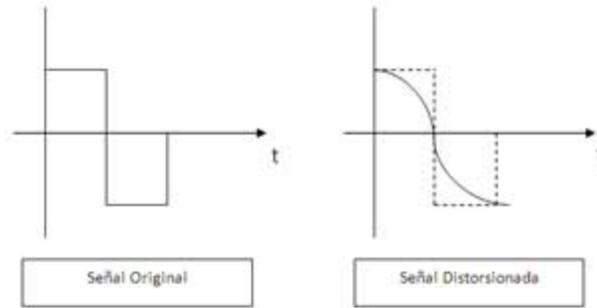


Figura 1.15 Distorsión por anchos de banda diferentes

Como parte de esta introducción a las señales y los sistemas, se presentan a continuación algunos problemas interesantes en los sistemas de telecomunicaciones, que se resuelven procesando una señal por medio de algún tipo de sistema:

- a) Amplificación de una señal. Como ya se vio anteriormente, un amplificador es un sistema que tiene a su salida una réplica de la señal de entrada, cuya amplitud fue amplificada por el sistema.
- b) Suma de señales. Este sistema tiene dos o más señales de entrada, y la salida de este sistema es precisamente la suma de las entradas. Como se muestra en la siguiente figura 1.16

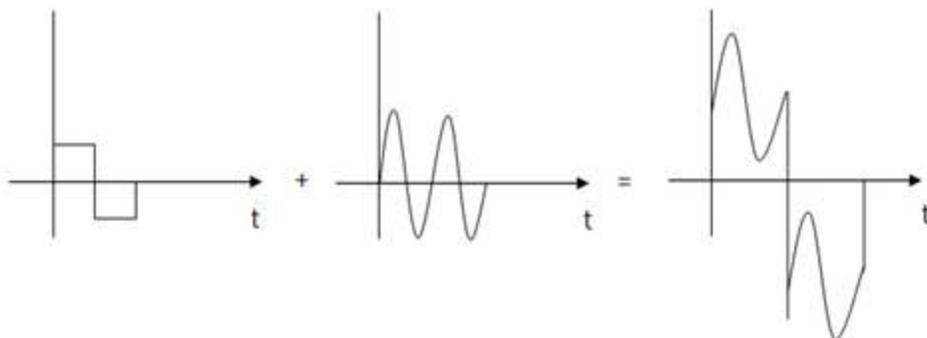


Figura 1.16 Suma de señales

- c) Multiplicador de señales. Este sistema, como el anterior, tiene dos o más señales de entrada, y la salida es el producto de ellas. Se conoce también con el nombre de modulador de amplitud, ya que, si una de las señales (de baja frecuencia) multiplica a otra de alta frecuencia (portadora) la salida del sistema genera un espectro igual al de la señal moduladora, pero trasladado a la frecuencia de la portadora.

Esto es la base de lo que se conoce como AM (amplitud modulada o modulación de amplitud). En este proceso se "sobrepone" el contenido de información de la señal moduladora sobre otra señal (portadora). Como se muestra en la siguiente figura 1.17

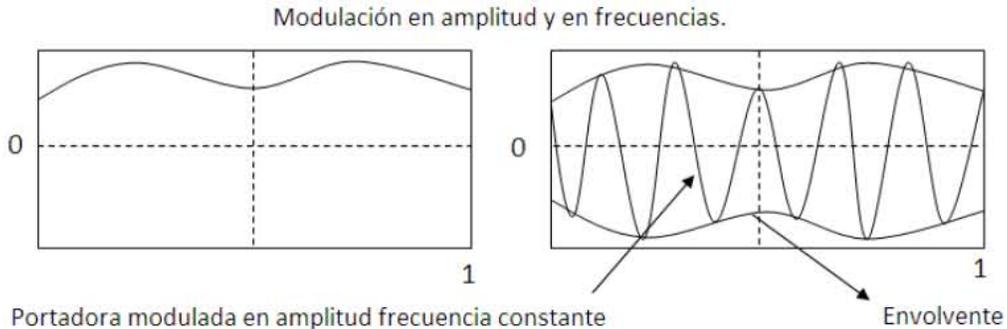


Figura 1.17 Modulación en amplitud y enlace. Portadora modulada en amplitud frecuencia constante.

d) Codificación de la fuente. Este sistema fue mencionado en la introducción, y realiza el procesamiento necesario para convertir una señal analógica (continua en el tiempo y en amplitud) en una señal digital. Este sistema consiste en la conexión en serie de un muestreador, un cuantizador y un codificador. Como se muestra en la siguiente figura 1.18:

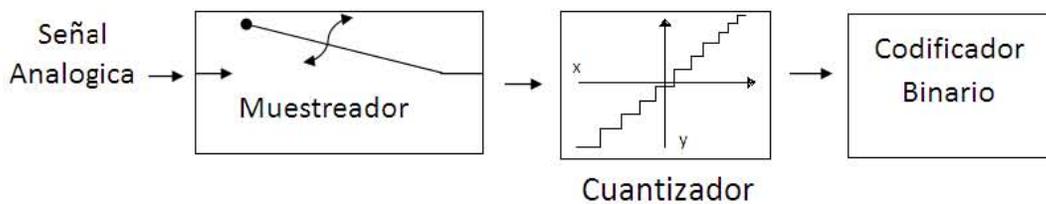


Figura 1.18 Codificación de fuente

e) Filtrado. Por medio de un filtro se eliminan ciertas componentes de frecuencia de una señal. Un ejemplo de esto fue planteado al hablar de la posibilidad de transmitir música por un canal telefónico. Existen diversos tipos de filtros que, dependiendo de la porción del espectro que eliminen, pueden ser paso-bajas (eliminan las frecuencias altas), paso-altas (eliminan las frecuencias bajas), paso-banda (sólo dejan pasar frecuencias dentro de una banda) o supresor de banda (eliminan las componentes dentro de una banda).

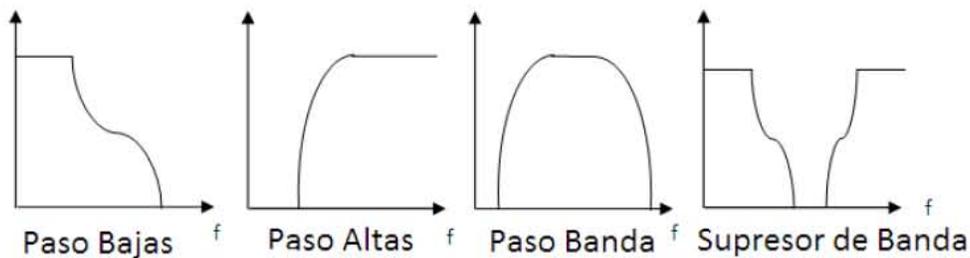


Figura 1.19 Diferentes tipos de frecuencias y sus filtros

Cabe mencionar que si en alguna o algunas frecuencias la amplitud es cero, esto significa que de la señal de entrada se eliminan todas las componentes en las frecuencias donde esto ocurre, generando de esta manera la señal filtrada. Como se muestra en la figura 1.19.

El ruido (a pesar de ser enemigo de las telecomunicaciones, es un aliado de los ingenieros en telecomunicaciones, ya que, de no haber ruido en las transmisiones, no habría ingenieros cuya función fuera eliminar su efecto).

Así como en el lenguaje cotidiano el ruido es aquello que molesta, que perturba, que impide realizar alguna tarea, el "ruido" en las telecomunicaciones es todo aquello que modifica el contenido de información de una señal. Como la fuente desea que la información llegue a su destino lo más parecida a aquella generada por la fuente, el hecho de que se introduzca ruido actúa en contra del proceso de comunicación.

El ruido en las telecomunicaciones es, por lo tanto, una distorsión: en el sonido, en el caso de la telefonía; en la imagen, en el caso de la televisión; errores, en el caso de la telegrafía, etc. No es posible hasta el momento tener un sistema de comunicaciones en el cual no haya ruido. Pero, por fortuna, los distintos procesos de ruido en los canales han sido modelados matemáticamente, de manera tal que estos modelos reflejen con verdad la realidad y, por lo tanto, el efecto del ruido pueda ser disminuido. En la siguiente figura 1.20 se muestra una señal de ruido.

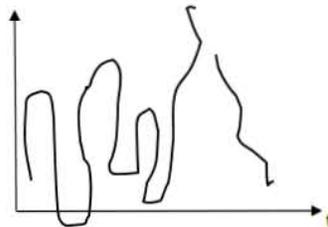


Figura 1.20 Señal de ruido

Se puede apreciar que en todos los casos las representaciones del ruido tienen trayectorias que son aleatorias, difícilmente predecibles, por lo cual es necesario recurrir a modelos probabilísticos para su análisis. Para apreciar realmente lo que es el ruido, conviene "sintonizar" un radioreceptor en una frecuencia en que no haya ninguna transmisión, preferentemente en AM. Como puede escucharse, existe una especie de "zumbido", que es precisamente el ruido en el canal.

El ruido puede afectar de diversas maneras una transmisión (sumándose o multiplicándose con la señal que contiene la información). Esto se ilustra en la siguiente figura 1.21, donde se muestra una señal binaria (que toma valores positivos o negativos), el ruido en la transmisión y la suma de la señal más el ruido.

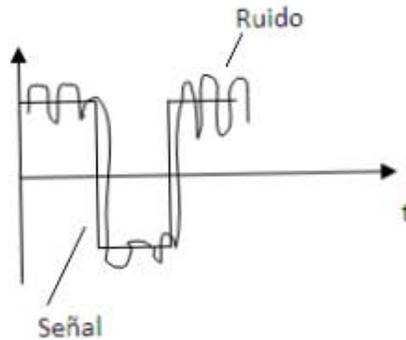


Figura 1.21 Señal binaria ruido en la transmisión.

Las ideas anteriores permiten plantear un problema adicional de las telecomunicaciones y que se presenta principalmente en las comunicaciones en que las señales son digitales. Supongamos que se transmite una señal binaria a través de un canal ruidoso, tal como se presentó en la figura anterior, al recibirse la señal en el receptor, la señal que fue transmitida tiene una forma diferente a la que se transmitió. Entonces, una de las principales funciones del receptor consiste en tomar una decisión, basada en la señal distorsionada, acerca de la señal que se transmitió: ¿se trata, en cada instante, de un "1" o se trata de un "0"? Este problema se conoce con el nombre de "detección".

El problema de detección también tiene mucha importancia en algunos aspectos de navegación aérea: como será analizado más adelante, el sistema conocido como "radar" (que significa radio detection and ranging, (detección y medición de distancias por radio)) consiste en la emisión de pulsos electromagnéticos de duración corta; cuando en su trayectoria encuentran algún obstáculo, parte de la energía se refleja en dicho objeto extraño, y esa energía reflejada, a su vez, es recibida en una central. Como la señal reflejada normalmente contiene poca energía, tiene una amplitud pequeña, que puede ser distorsionada con facilidad por el ruido atmosférico. Entonces es necesario tomar una decisión entre las dos siguientes posibilidades: ¿la señal recibida proviene de una onda reflejada, o se trata únicamente de ruido?

#### 4.- Ancho de banda de la voz humana en telefonía.

La voz genera formas de onda acústicas que se propagan por el aire, transmitiendo energía física. Cuando hablamos, se generan formas de onda que alternan alta presión y baja presión. Esas formas de onda se denominan analógicas. Se denominan así, porque su variación es continua, no discreta, y va cambiando gradualmente de alta presión a baja presión, y viceversa. Por supuesto, esas formas de onda no son visibles, ya que corresponden a variaciones de presión.

El micrófono del aparato telefónico transforma las oscilaciones de presión del aire en energía eléctrica. Las características de la forma de onda eléctrica son similares a las de la forma de onda acústica. Las formas de onda poseen tres características muy importantes para la comunicación de datos: amplitud, frecuencia y fase. La amplitud de la señal se mide en relación con su voltaje, y puede tomar valores positivos y negativos. Obsérvese el aspecto analógico de la señal. Se va incrementando gradualmente hasta llegar a un valor máximo, después decrece hasta valer cero, pasa a valores negativos, adquiere su valor mínimo, y vuelve a cero de nuevo. Cada oscilación completa recibe el nombre de ciclo. La frecuencia mide el número de ciclos que se completan por segundo, o, lo que es lo mismo, el número de oscilaciones por segundo. La unidad de medida de la frecuencia es el hertzio (Hz), que describe el número de formas de onda que pasan por un punto determinado en un segundo.

El término baudio hace referencia a la velocidad de cambios de señal (el canal, independientemente de la información que la señal lleve. Por ejemplo, una señal de 1800 Hz puede cambiar 1200 veces por segundo. Los 1800 Hz describen la frecuencia de "portadora", y los 1200 cambios hacen referencia a los baudios. Mucha gente utiliza el término "velocidad baudio", que es redundante, ya que el término baudio ya implica una velocidad.

La fase de la señal representa el punto que dicha señal ha alcanzado en el ciclo. Como puede verse en dicha figura, cuando el ciclo ha recorrido una cuarta parte de su fase (punto A), se dice que ha recorrido 90 grados, de la misma forma que al recorrer un cuadrante de la circunferencia se recorre 90 grados.

Una transmisión de voz está constituida por muchas formas de onda de diferentes frecuencias. La distribución relativa de dichas frecuencias determina el tono y timbre particular de cada persona. La voz humana ocupa la banda de frecuencias que va desde 200 Hz a 15,000 Hz, aproximadamente. El oído humano puede detectar un rango de frecuencias mayor, desde 40 Hz hasta 18,000 Hz, aproximadamente. El rango de frecuencias se denomina ancho de banda, un término utilizado en redes de computadoras. En ese contexto, el ancho de banda se refiere al rango de frecuencias de transmisión que se envían por la línea de comunicaciones. El ancho de banda es un concepto crítico en el diseño de redes, ya que la capacidad de transmisión (bits por segundo) está relacionada con él.

La mayoría de los fenómenos físicos con los que estamos familiarizados se manifiestan en forma de variación de frecuencias. Dichas frecuencias se distribuyen desde las frecuencias de audio hasta las frecuencias elevadísimas de los rayos X o los rayos gamma. El espectro va desde las frecuencias bajas que se encuentran en la voz hasta las frecuencias altas que se transmiten por cable coaxial, vía microondas, y las frecuencias altísimas de la luz visible.

La idea de ancho de banda es a veces algo confusa, pero su efecto se puede ver muy rápidamente con algunos ejemplos sencillos. El ancho de banda se calcula restando la frecuencia más baja de la señal de la frecuencia más alta que aparezca en la misma.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

El canal telefónico ocupa la banda que va desde 300 Hz a 3300 Hz (realmente es un poco más ancho, pero hemos redondeado por conveniencia). Al restar la frecuencia inferior de la superior, obtenemos un ancho de banda de 3000 Hz, o 3 KHz. Esos conjuntos de frecuencias se utilizan para transmitir la voz humana y las comunicaciones de datos mediante señales analógicas o digitales.

Si el canal telefónico ocupa un ancho de banda de 3 KHz, los 9,000 Hz equivalen aproximadamente a tres canales de voz:  $9,000/3,000 = 3$  canales (aunque aplicando otras tecnologías se podrían obtener más canales). Sin embargo, podemos observar que el ancho de banda entre 107 y 108 es de 90'000,000 Hz. Si dividimos 3,000 Hz, el ancho de banda del canal telefónico, podríamos obtener teóricamente 30,000 canales de voz (en realidad, son menos, debido a la necesidad de separar unos canales de otros). Hablando en términos muy simples, a medida que subimos en el espectro de frecuencias pueden ocurrir más cosas y más rápido. A altas frecuencias, se pueden obtener más canales.

Si transmiéramos señales de audio a sus frecuencias originales, encontraríamos que es imposible transmitir más de una señal por un mismo canal; las diferentes señales en la banda de 300 a 3,300 Hz se interferirían entre sí. No obstante, los grandes anchos de banda que permiten el cable coaxial o la transmisión por microondas hacen posible transmitir más de un canal simultáneamente ocupando diferentes partes del espectro.

El ancho de banda es un factor que limita la capacidad de transmisión de canal. Otros factores que también la limitan son la potencia de la transmisión y el ruido del canal. El ruido del canal es un problema inherente al mismo y que nunca se puede eliminar completamente. Está producido por varios factores. Por ejemplo, el ruido atmosférico está producido por perturbaciones eléctricas en la atmósfera terrestre. El ruido espacial procede de la energía electromagnética radiada por el sol y otras estrellas, y su espectro de frecuencias es muy ancho. El movimiento aleatorio de los electrones causa también ruido en las líneas conductoras y cables coaxiales.

La capacidad de información de un sistema de comunicaciones es una medida de cuánta información de la fuente puede transportarse por el sistema, en un periodo dado de tiempo. La cantidad de información que puede propagarse a través de un sistema de transmisión es una función del ancho de banda del sistema y el tiempo de transmisión.

La relación entre el ancho de banda, tiempo de transmisión y capacidad de información fue desarrollada en 1920 por R.Hartley de los Laboratorios Bell. De manera sencilla, la ley de Hartley es la ecuación 1.3:

$$I \propto B \times t \quad (1.3)$$

En donde

I = capacidad de información

B = ancho de banda en hertz

t = tiempo de transmisión en segundos

La ecuación demuestra que la capacidad de información es una función lineal y directamente proporcional al ancho de banda del sistema y al tiempo de transmisión. Si se modifica el ancho de banda o el tiempo de transmisión, ocurrirá un cambio directamente proporcional en la capacidad de información. Se requiere aproximadamente 3 KHz de ancho de banda para transmitir señales telefónicas con calidad de voz. Se requieren más de 200 KHz de ancho de banda para la transmisión de FM comercial de música de alta fidelidad y se necesita casi 6 Mhz de ancho de banda para las señales de televisión con una calidad de radiodifusión. Es decir, cuando mayor sea la cantidad de información por unidad de tiempo, mayor será la cantidad de ancho de banda requerida.

### 5.- Conversión de voz analógica a digital

El término analógico en las telecomunicaciones significa todo aquel proceso entrada/salida cuyos valores son continuos. Algo continuo es todo aquello que puede tomar una infinidad de valores dentro de un cierto límite, superior e inferior.

El término digital de la misma manera involucra valores de entrada/salida discretos. Algo discreto es algo que puede tomar valores fijos. El caso de las comunicaciones digitales, esos valores son el cero (0) o el uno (1); Bits.

#### **Ventajas de la comunicación digital**

La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales entre dos puntos, en un sistema de comunicación. La información de la fuente original puede estar ya sea en forma digital o en señales analógicas que deben convertirse en pulsos digitales, antes de su transmisión y convertidas nuevamente a la forma analógica en el lado del receptor.

Algunas de las VENTAJAS de la transmisión digital con respecto a la analógica son:

A.-La ventaja principal de la transmisión digital es la inmunidad al ruido. Las señales analógicas son más susceptibles que los pulsos digitales a la amplitud, frecuencia y variaciones de fase. Esto se debe a que con la transmisión digital, no se necesita evaluar esos parámetros, con tanta precisión, como en la transmisión analógica. En cambio, los pulsos recibidos se evalúan durante un intervalo de muestreo y se hace una sola determinación si el pulso está arriba (1) o abajo de un umbral específico (0).

B.-Almacenamiento y procesamiento: Las señales digitales se pueden guardarse y procesarse más fácilmente que las señales analógicas.

C.- Los sistemas digitales utilizan la regeneración de señales, en vez de la amplificación, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.

D.- Las señales digitales son más sencillas de medir y evaluar. Por lo tanto es más fácil comparar el rendimiento de los sistemas digitales con diferentes capacidades de señalización e información, que con los sistemas analógicos comparables.

E.- Los sistemas digitales están mejor equipados para evaluar un rendimiento de error (por ejemplo, detección y corrección de errores), que los analógicos.

F.- Los equipos que procesan digitalmente consumen menos potencia y son más pequeños, y muchas veces con más económicos.

Algunas de las DESVENTAJAS de la transmisión digital son las siguientes:

A.- La transmisión de las señales analógicas codificadas de manera digital requieren de más ancho de banda para transmitir que la señal analógica.

B.- Las señales analógicas deben convertirse en códigos digitales, antes que su transmisión y convertirse nuevamente a analógicas en el receptor.

C.- La transmisión digital requiere de sincronización precisa, de tiempo, entre los relojes del transmisor y receptor.

D.- Los sistemas de transmisión digital son incompatibles con las instalaciones analógicas existentes.

La conversión Analógico-Digital consta de tres procesos, ilustrados en la siguiente figura 1.22:

- 1.- Muestreo.
- 2.- Cuantización.
- 3.- Codificación.

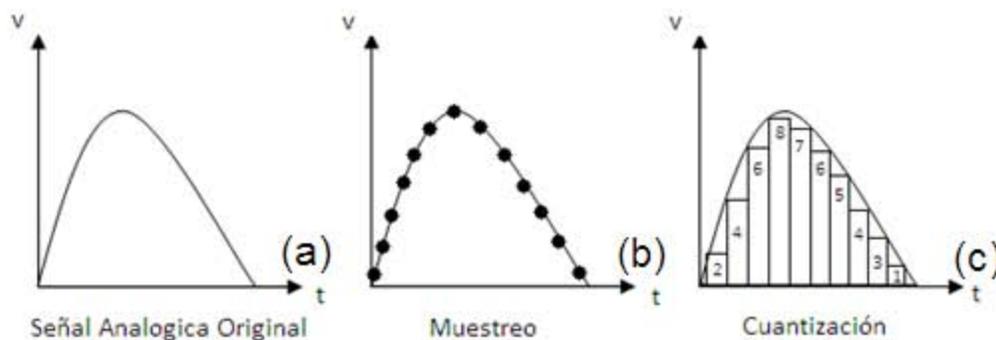


Figura 1.22 Conversión Analógico-Digital

1.- Muestreo: Toda la tecnología digital está basada en la técnica de muestreo. En música, cuando una grabadora digital toma una muestra, básicamente toma una fotografía fija de la forma de onda y la convierte en bits, los cuales pueden ser almacenados y procesados. Comparado con la grabación analógica, la cual está basada en registros de voltaje como patrones de magnetización en las partículas de óxido de la cinta magnética. El muestreo digital convierte el voltaje en números (0s y 1s) los cuales pueden ser fácilmente representados y vueltos nuevamente a su forma original.

La frecuencia de muestreo de una señal en un segundo es conocida como razón de muestreo medida en Hertz (Hz).  $1 \text{ Hz} = 1/\text{seg}$

La razón de muestreo determina el rango de frecuencias ancho de banda de un sistema. A mayores razones de muestreo, habrá más calidad o precisión.

Por ejemplo en audio digital se usan las siguientes razones de muestreo:

24,000 = 24 kHz - 24,000 muestras por segundo. Una muestra cada  $1/24,000$  de segundo.

30,000 = 30 kHz - 30,000 muestras por segundo. Una muestra cada  $1/30,000$  de segundo.

44,100 = 44.1 kHz - 44,100 muestras por segundo. Una muestra cada  $1/44,000$  de segundo.

48,000 = 48 kHz - 48,000 muestras por segundo. Una muestra cada  $1/48,000$  de segundo.

Una señal de audio muestreada a 48 KHz tiene una mejor calidad [el doble], que una señal muestreada a 24 KHz. Pero, una señal muestreada a 48 KHz, ocuparía el doble del ancho de banda que la de 24 KHz. Por lo que si queremos mayor calidad, lo perdemos en ancho de banda.

La calidad de un disco compacto (CD) equivale un muestreo de 44.1 KHz a 16 bits, éste es el estándar. Si decimos que los archivos MP3 tienen calidad de CD, es que están muestreados a 44.1 KHz a 16 bits.

2.- Cuantización: Es el proceso de convertir valores continuos (voltajes) en series de valores discretos.

Mientras que el muestreo representa el tiempo de captura de una señal, la cuantización es el componente amplitud del muestreo. En otras palabras, mientras que el muestreo mide el tiempo (por instancia 44,100 muestras por segundo), la cuantización es la técnica donde un evento analógico es medido dado un valor numérico.

Para hacer esto, la amplitud de la señal de audio es representada en una serie de pasos discretos. Cada paso está dado entonces por un número en código binario que digitalmente codifica el nivel de la señal. La longitud de la palabra determina la calidad de la representación.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

Una vez más, una palabra más larga, mejor la calidad de un sistema de audio (comparando una palabra de 8 bits con una de 16 bits o 32 bits).

El bit de resolución de un sistema define el rango dinámico del sistema. 6 dB es ganado por cada bit.

Por ejemplo: 8 bits equivale a 256 estados = 48 dB (decibeles)

16 bits equivalen a 65,536 estados = 96 dB.

Entonces, se debe de tomar muestras a tiempos menores y se debe de cuantizar a mayores niveles (bits), si sucede lo contrario suceden errores de cuantización.

3.- Codificación: La codificación es la representación numérica de la cuantización utilizando códigos ya establecidos y estándares. El código más utilizado es el código binario, pero también existen otros tipos de códigos que son empleados.

A continuación se presenta una tabla donde se representan los números del 0 al 7 con su respectivo código binario. Como se ve, con 3 bits, podemos representar ocho estados o niveles de cuantización.

En general

$2(n)$  = Niveles o estados de cuantización donde n es el número de bits.

Número	Código binario
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

Como se ilustra en la siguiente figura 1.23:

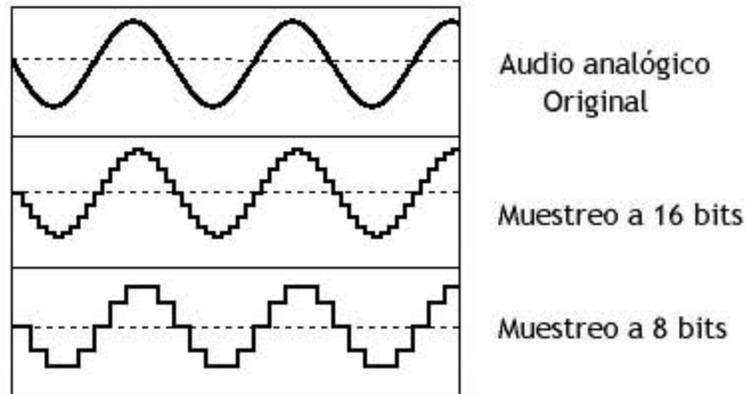


Figura 1.23 Muestreo de señal. Analógico a 16 bits y 8 bits

## 6.- Multiplex en frecuencia y en tiempo.

### Multiplex en frecuencia

Cuando se necesita un número fuerte de canales individuales de comunicación entre dos puntos separados entre dos puntos deparados por una gran distancia, el suministro de muchos circuitos físicos resulta una solución sumamente costosa. Por esa razón se desarrollo lo que se conoce como multiplexaje. Que permite hacer un mejor uso de la planta de líneas. El miltiplexaje permite la transmisión de muchos canales compartiendo el mismo par de conductores o cualquier medio de transmisión. Requiere equipo terminal de línea de transmisión (ETL) costoso y sofisticado, pero el potencial de ahorro en el costo total es importante, debido a que el número de pares de conductores que se necesita entre los puntos extremos se puede reducir considerablemente.

El método de multiplexaje que se emplea en las redes analógicas se conoce como multiplexaje por distribución de frecuencia (MDF). El MDF necesita una línea de transmisión de cuatro hilos de alto grado individual (o su equivalente) y ambos pares deben ser capaces de soportar un ancho de banda muy grande. Algunos cables para MDF tiene el ancho de banda de 12 MHz y hasta 60 Mhz. Esto contrasta con el modesto 3.4 KHz que se necesita en el canal telefónico único.

El ancho de banda más bajo que constituye los sistemas MDF es el ancho de banda de una canal de 4 KHz. Esto incluye los 3.4 KHz que se necesitan para el canal normal de 4 Khz. Esto incluye los 3.4 Khz que se necesitan para el canal normal de voz, junto con un ancho de banda de protección para conseguir separación entre canales en el sistema como un todo. Los otros anchos de banda estándar son múltiplos enteros del canal de 4KHz.

El ancho de banda total de la línea de transmisión MDF es igual a uno de los anchos de banda estándar, entonces se divide en cierto número de sub-anchos de banda, llamados tributarios. El equipo que realiza esta segregación de ancho de banda se llama equipo de translación. Así, el equipo de translación de grupo (ETG) subdivide a un súper grupo en sus cinco grupos componentes y el equipo de translación de canal (ETC) subdivide a un grupo en doce canales individuales.

No todo el ancho de banda disponible se necesita subdividir en canales individuales de 4 KHz. Si es necesario, algo de él se puede emplear directamente para aplicaciones de gran ancho de banda como música de grado de concierto o transmisión de TV.

En la figura 1.24 se muestran dos circuitos de 48 KHz se derivan del súper grupo, junto 36 canales telefónicos individuales. El mismo principio se puede aplicar a otros niveles de la jerarquía. Así por ejemplo todos los súper grupos de un hipergrupo podrían dividirse en sus grupos componentes empleando ETH y ETS.

Alternativamente, alguno de los súper grupos se podría emplear directamente para aplicaciones de banda de 240 KHz. Antes del multiplexaje, las señales de audio que se van a multiplexar primero se convierten a la transmisión de cuatro hilos, si es que no lo están así.

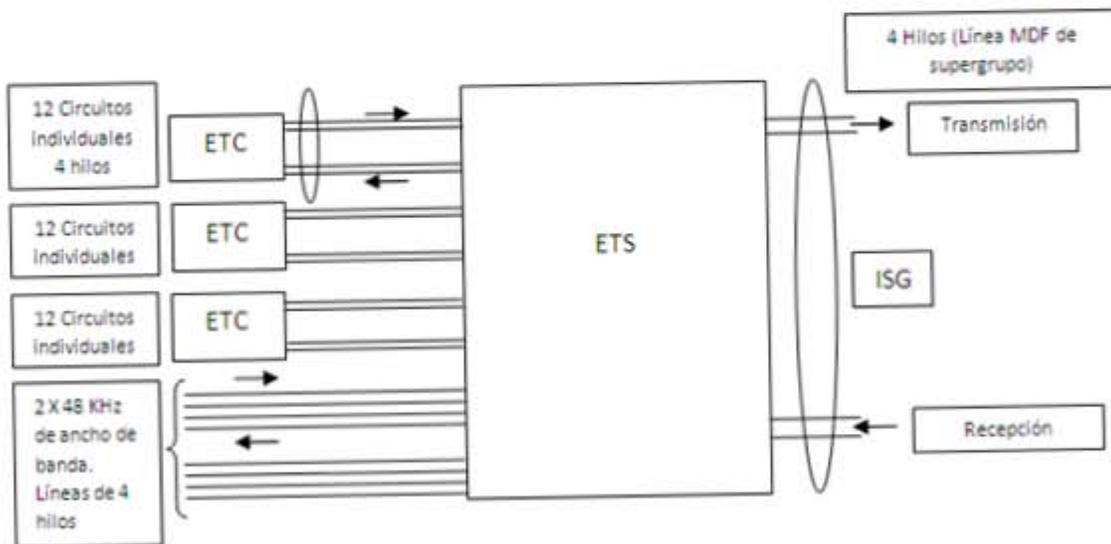


Figura 1.24 Subdivisión del ancho de banda en MDF

Las señales en cada par de transmisión se filtran entonces con precisión para que se supriman todas las señales ajenas al ancho de banda asignado. De hecho, un canal telefónico se filtra para que tenga únicamente el ancho de banda de 3.4 KHz (de los 4 kHz disponibles). El restante 0.6 KHz es una separación que evita la interferencia de voz entre canales adyacentes. Los grupos se filtran a 48 KHz, los súper grupos a 240 KHz, etc.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

Cada señal filtrada modula entonces una señal portadora, que tiene el efecto de convertir las frecuencias situadas en otra parte del espectro. Por ejemplo, un canal telefónico con un rango original de 300 – 3400 Hz puede trasladarse al rango de 4600 – 7700 Hz. Otro podría desplazarse al rango de 8300 - 11400 Hz, etc.

El ETC se encarga de desplazar en frecuencia cada canal individual a una posición diferente dentro de la banda disponible de 48KHz para formar un grupo MDF que puede transportar entonces un total de 12 canales individuales. De igual manera, ETS se encarga de trasladar en frecuencia cada uno de los cinco grupos ya formados de 48 KHz para distribuirlos en el ancho de banda de 240 KHz para formar el súper grupo MDF que contiene entonces un total de  $12 \times 5 = 60$  canales individuales.

La traslación de frecuencia se consigue mediante la modulación de los anchos de banda constitutivos con portadoras de diferente frecuencia. La frecuencia de la señal portadora que se emplea para la modulación con la señal original (banda base) es igual al valor del desplazamiento en frecuencia deseado. Cada señal portadora debe de ser generada por el equipo de traslación.

La modulación de una señal con banda de frecuencias de 300 a 3400Hz que emplea la frecuencia portadora de 8000 Hz produce el ancho de banda de señal de 4600Hz (8000-3400) a 11400Hz (8000+3400). El espectro original de 300-3400 Hz se produce en dos bandas imagen espejo, llamadas bandas laterales. Una banda lateral está en la banda de 4600-7700Hz y la otra está en el rango de 8300 – 11400Hz. Ambas bandas se ilustra en la siguiente figura 1.25

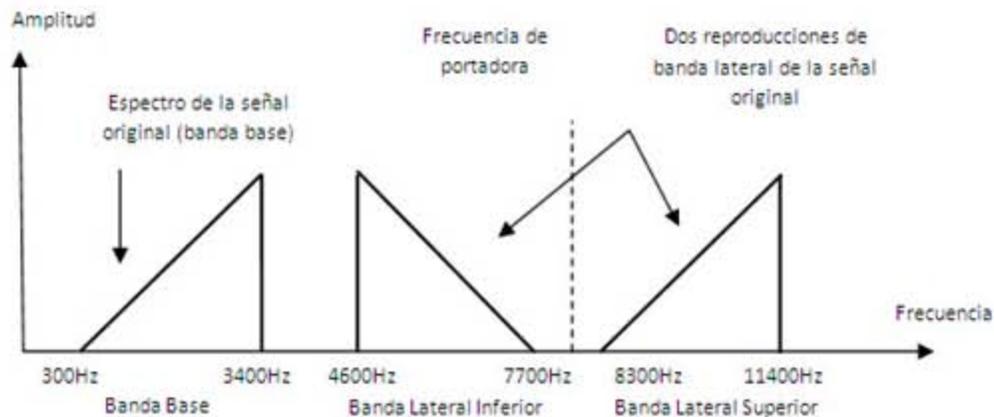


Figura 1.25 Traslación de frecuencia mediante modulación

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

Como toda la información está contenida en ambas bandas, sólo es necesario transmitir una de las bandas laterales. Para economizar la potencia eléctrica que se necesita transmitir en la línea, es normal que los sistemas MDF operen con la técnica de la banda lateral única portadora suprimida (BLU-PS). La señal original se reconstruye en extremo receptor modulando ahora una portadora que se genera localmente.

La operación de BLU también se puede emplear en los sistemas de radio, pero la portadora no se suprime en este caso, ya que a menudo resulta inconveniente disponer de un generador de señal portadora en el receptor. Cuando la portadora no se suprime, se puede emplear un detector mucho más simple y barato.

Cada señal de banda base que se incluye es un sistema MDF modula a una frecuencia portadora distinta, la banda lateral inferior se filtra para su emisión. Puede parecer ineficiente no duplicar el empleo de las frecuencias portadoras adoptando la alternación de las bandas laterales superior e inferior de los diferentes canales, pero mediante el empleo siempre de la banda lateral inferior se obtiene una estructura total mejor, que permite más fácilmente la extracción de canales individuales de sistemas MDF de orden más alto. Las frecuencias portadoras que se necesitan para producir estándar son entonces 64kHz, 68kHz, 72kHz,... 108kHz y toda la estructura se ilustra en la siguiente imagen. Los súper grupos e hipergrupos pueden ser modulados de manera similar, empleando frecuencias portadoras apropiadas y la operación de banda lateral única.

En la tabla 1.1 se muestra la jerarquía de multiplexaje por distribución de frecuencia (MDF).

Ancho de Banda (Nombre)	Consiste en	Ancho de Banda	Banda base Usual	Número de canales
Canal (1 Canal Telefónico)	24 subcanales telegráficos. 120Hz de espaciamiento	4 kHz	0 – 4 kHz	1
Grupo	12 Canales	48 kHz	60 – 108 kHz	12
Súper Grupo	5 Grupos	240 kHz	312 – 552 kHz	60
Hipergrupo Básico (o Supergrupo Maestro)	15 supergrupos (3 grupos maestro)	3.7 MHz (Emplea 3.6 MHz) 240 KHz por supergrupo con 8 KHz de espaciamiento	312 – 4028 kHz (4MHz línea)	900
Hipergrupo Básico (alternativo)	16 Supergrupos	4 MHz	60 – 4028 kHz	960
Grupo Maestro	5 Supergrupos	1.2 MHz	312 – 1548 kHz	300
Hipergrupo (12 MHz)	9 Grupos maestro	1.2 MHz	312 – 12336 kHz	2700
Hipergrupo (60 MHz)	36 Grupos maestro	60 MHz	4404 – 59580 kHz	10800

Tabla 1.1 Jerarquía de multiplexaje

Figura 1.26 de la subdivisión del ancho de banda en MDF.

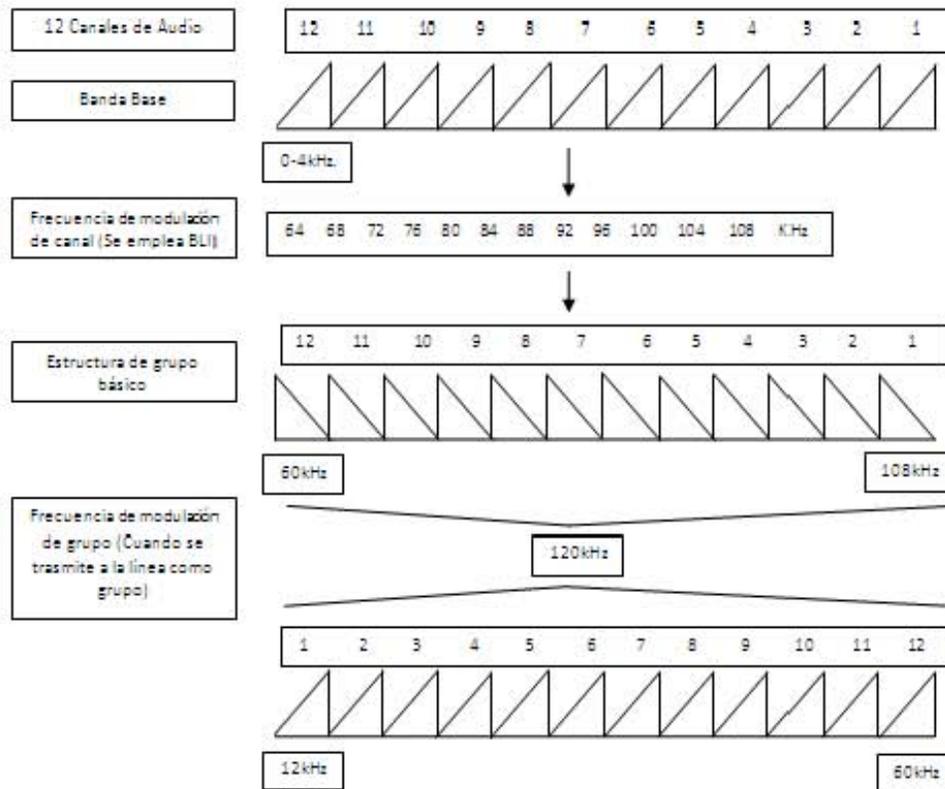


Figura 1.26 Subdivisión de ancho de banda

### Diafonía y atenuación en los sistemas MDF

En los sistemas MDF puede existir tanta diafonía y atenuación como en el canal individual o en los circuitos de audio. Requieren por lo tanto una planeación similar, o aún mayor, pues los sistemas MDF son en general más sensitivos y complejos.

### Multiplex en tiempo

Como la transmisión digital es a base de pulsos discretos y no de señales continuas, es posible transmitir sobre la misma trayectoria la información de más de un canal de 64 kbits/s, siempre que la tasa de trasmisión (la tasa de bits) sea lo suficientemente alta para transportar los bits procedentes de varios canales. En la práctica esto se lleva intercalando los pulsos de los diferentes canales de tal manera que la secuencia de 8 pulsos (byte u octeto) procedente del primer canal sea seguida de la secuencia de ocho pulsos que procede del segundo canal y así sucesivamente. Como se ilustra en la figura 1.27.

En la que el equipo MDT se podría considerar como un interruptor giratorio que capta por vez 8 bits (Un byte) de cada uno de los canales de entrada A, B, C. Así, el tren de bits de salida del equipo MDT comprenderá, a su vez, el byte A1 (del canal A), el byte B1 (del canal B), el byte C1 (del canal C), después, reiniciando el ciclo, el byte A2, byte B2, Byte C2, etc.

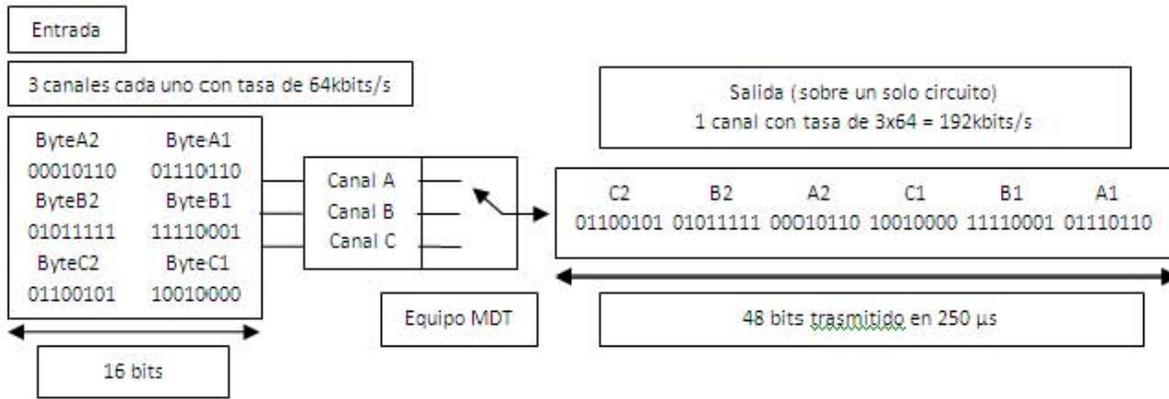


Figura 1.27 Principio de Multiplexaje por distribución de tiempo.

Nótese que se necesita una tasa de bits más elevada en la salida, para asegurar que todos los datos de entrada procedentes de los tres canales se pueden enviar hacia la línea. Como  $3 \times 2 = 6$  bytes de datos se reciben en el lado de entrada en el período de  $250 \mu s$  (1 byte de cada canal cada  $125 \mu s$ ), es decir  $192 \text{ kbits/s}$  (por supuesto, el resultado es igual a  $3 \times 64 \text{ kbits/s}$ ). Así, de hecho, los diferentes canales se comparten en tiempo la trayectoria de salida de transmisión. La técnica se conoce como Multiplexaje por Distribución de Tiempo (MTD).

El MTD se puede llevar acabo intercalando un byte a la vez de cada uno de los canales tributarios o se puede realizar mediante la intercalación de bits individuales. La figura anterior ilustra el método más común de intercalación de bytes. El empleo de la técnica MTD es tan común que en los sistemas digitales de línea que los circuitos físicos que transportan solo  $64 \text{ Kbits/s}$  son extremadamente raros, de modo que el equipo terminal digital de línea incluye la función de multiplexaje.

En la siguiente figura 1.28 se muestra el equipo terminal digital de línea típico que se emplea para convertir cierto número de canales analógicos individuales en un tren digital de bits único transportado sobre un circuito físico único.

El equipo que se ilustra se conoce como multiplexor primario (PMUX). Multiplexor primario europeo.

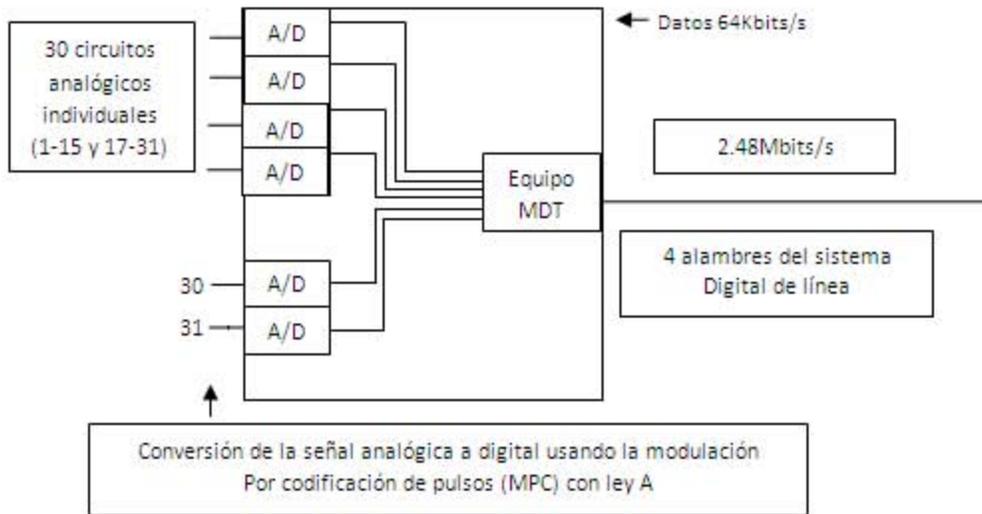


Figura 1.28 Miltiplexador primario europeo

El PMUX contiene equipo para la conversión individual analógico a digital de canales telefónicos de 64Kbits/s y además, el equipo para el multiplexaje por distribución de tiempo. En la figura anterior se muestra el PMUX europeo que convierte 30 canales analógicos al formato digital con código de ley A de 64Kbits/s y luego multiplexa por distribución de tiempo todos estos canales de 64Kbits/s en un sistema digital de línea único de 2.048Mbits/s (2.048Mbit/s es justamente igual a  $32 \times 64 \text{Kbit/s}$ ), pero los canales 0 y 16 del sistema europeo generalmente se emplean para propósitos distintos al de transportar información de voz.

En la versión americana del PMUX, la diferencia habría sido el empleo de la codificación de ley M y el multiplexaje de 24 canales en el formato de transmisión de 1.544Mbits/s que también se conoce como línea T1 o sistema DS1 (T = transmisión, DS = Digital System). ( $1.544 \text{Mbits/s} = 24 \times 64 \text{kbits} + 8 \text{kbits/s}$ ).

El equipo de transmisión es un sistema digital de línea tiene el trabajo de multiplexar los bytes que proceden de todos los canales constitutivos. Inversamente, el equipo de recepción debe desensamblar estos bytes precisamente en el orden correcto. Esto requiere de la operación síncrona del trasmisor y del receptor y para este fin, patrones particulares de pulsos se transmiten a intervalos predeterminados la alineación y la sincronía. Estos pulsos extra se envían en el canal 0 del sistema digital europeo de 2Mbit/s y en los 8kbit/s extra del sistema norteamericano de 1.544Mbit/s.

## 7.- Modulación analógica y digital.

La modulación por codificación de pulsos (MCP) es un método para convertir señales analógicas a señales digitales que, entonces, adquieren un formato compatible con la transmisión digital. La transmisión digital de señales implica cuatro etapas que son:

- a. Conversión de señales eléctricas analógicas en pulsos digitales.
- b. Codificación de estos pulsos en una secuencia apropiada para la transmisión.
- c. Transmisión sobre el medio digital.
- d. Conversión de nuevo a la forma analógica (o una aproximación de ella) en el extremo receptor.

La MCP se inventó en 1939, pero fue hasta la década de los 60 que empezó a aplicar. Esto se debió principalmente a que, antes de la electrónica de estado sólido, no se contaba con la tecnología para instrumentar de manera efectiva los principios conocidos de MCP.

Las señales de voz o cualquier otra señal analógica se convierten en una serie de dígitos binarios mediante el muestreo de la forma de onda de la señal a intervalos regulares. En cada instante de muestreo se determina la amplitud de la forma de onda y de acuerdo con la magnitud, se asigna un valor numérico, que entonces se codifica en su forma binaria y se transmite sobre el medio de transporte. En el extremo receptor, la señal eléctrica original se reconstruye mediante la conversión de nuevo a la forma analógica de la señal digitalizada que se recibe. La técnica se muestra en la figura 1.29, la cual ilustra una señal típica, con la amplitud graficada en función de tiempo. El muestreo se realiza con un intervalo de tiempo predeterminado " $t$ " microsegundos.

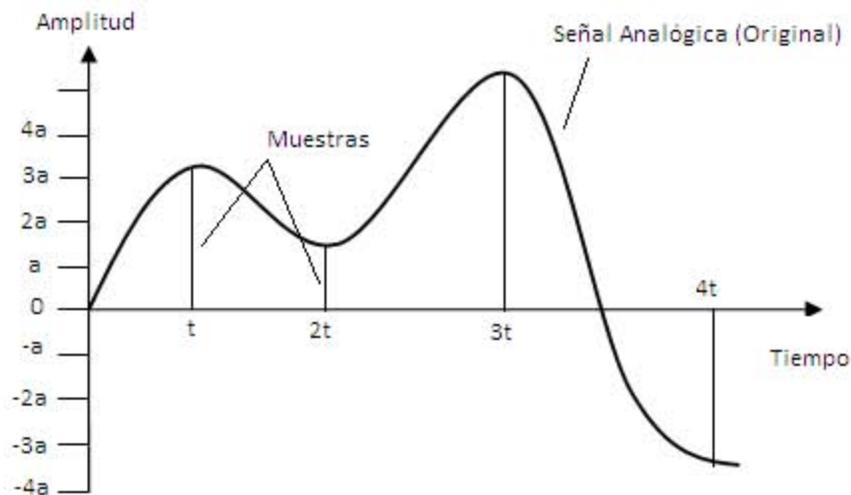


Figura 1.29 Técnica de muestreo

Los valores numéricos de las amplitudes y sus conversiones binarias de 8 bits se ilustran en la tabla 1.2 siguiente:

Tiempo	Amplitud	Valor numérico decimal	Traslación a código binario de 8 bits
0	0	0	00000000
T	2a	2	00000010
2t	3	1	00000001
3t	4a	4	00000100

Tabla 1.2 Valores numéricos de las amplitudes y sus conversiones binarias

Debido a que el empleo de decimales haría más complicado el proceso e incrementaría el ancho de banda que se requiere para la trasmisión, la amplitud se representa únicamente con valores enteros. Cuando la amplitud de la onda no corresponde a un entero exacto, como ocurre en el tiempo  $4t$  de la grafica anterior, se hace una aproximación. Es decir, se emplea el valor -2 en lugar del valor exacto de -2.4. Esto se reduce el número total de dígitos que se tiene que enviar. En el extremo receptor, la señal se reconstruye generando una señal segmentada, con pasos de duración  $t$ , cuya amplitud va de acuerdo en con el valor del dígito que se recibe. La señal de la grafica anterior se reconstruye en la siguiente figura 1.30:

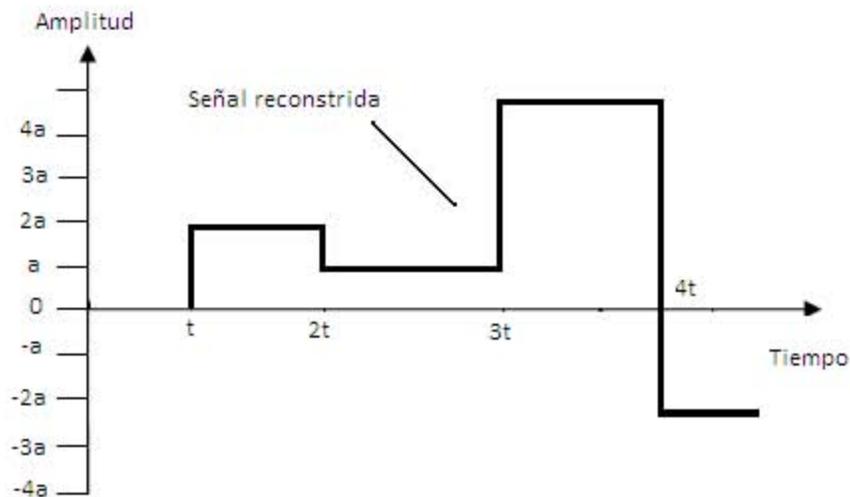


Figura 1.30 Señal reconstruida

En el ejemplo de la señal reconstruida tiene la forma de onda cuadrada en lugar de la forma aislada continua de la señal original. Esta aproximación afecta la comprensión del oyente que depende de la magnitud de impresión involucrada. La similitud de la señal reconstruida con la original se puede mejorar mediante:

- a.- El incremento de la velocidad de muestreo (es decir, reduciendo el tiempo de separación de las muestras) a manera de incrementar el número de puntos sobre el eje horizontal de la grafica anterior en los cuales se toman las muestras.

b.- El incremento del número de niveles de cuantificación (es decir, niveles de amplitud de onda). Los niveles de cuantificación para los puntos sobre la escala vertical de la grafica anterior.

Sin embargo, sin una velocidad infinita de muestreo y un número infinito de valores de cuantificación es imposible reproducir una señal analógica igual a la original. En consecuencia, se introduce, inevitablemente un elemento de ruido de cuantificación durante el proceso conversión de la señal analógica original a su equivalente digital, la velocidad de la señal analógica original a su muestreo y número de niveles de cuantificación se deben escoger cuidadosamente para bajar ese ruido a los niveles en los cuales la señal que se recibe sea comprensible para el oyente. El inconveniente es que entre mayor la velocidad de muestreo y el número de niveles de cuantificación, mayor es la tasa de bits que se requiere para transportar la señal. Aquí, de nuevo, se puede encontrar un paralelo con en el ancho de banda de un medio de transmisión analógico, en donde entre mayor sea la fidelidad que se requiere de una señal analógica, mayor es el ancho de banda que se necesita.

La velocidad de muestreo mínima aceptable para transportar una señal analógica, empleando transmisión digital, se calcula desacuendo el principio científico conocido como teorema de Nyquist. El teorema establece que la velocidad de muestreo debe ser cuando menos el doble de la máxima frecuencia contenida en el espectro de la señal analógica que se muestrea. Para un canal de voz estándar, esto equivale a  $2 \times 4\text{kHz} = 8000$  muestras por segundo, el ancho de banda normal de un canal telefónico es 4kHz.

El número de niveles de cuantificación encontrado (mediante pruebas subjetivas) apropiado para la buena compresión de voz es de 256. En términos de digito binario (bit) esto equivale a un número de 8 bits, de modo que el valor cuantificado de cada muestra representa con 8 bits. La velocidad de transmisión que se requiere de una canal de voz digital es por lo tanto de 8000 muestras por segundo por 8 bits, o sea 64kbit/s. En otras palabras una canal digital de 64kbit/s de capacidad es equivalente a un canal telefónico analógico con ancho de banda de 4kHz. Ésta es la razón por la cual el canal digital básico se diseña para obtener a 64kbit/s.

### **Modulación**

Las señales de banda base (banda original de frecuencias) que generan las diferentes fuentes de información por lo general no se presenta para la transmisión directa atreves de un canal de radio. Por esta razón, se debe modificar para facilitar su transmisión. Este proceso de modificación se conoce como modulación y fundamentalmente consiste en hacer variar algún parámetro de la señal portadora de alta frecuencia.

Existen fundamentalmente dos tipos de modulación: analógica y digital.

La analógica es cuando se emplea como portadora una señal continua, como por ejemplo un senoide de alta frecuencia. También se conoce como modulación de onda continua (OC).

La modulación es digital si la portadora es una señal discreta, como por ejemplo el tren de pulsos periódico. En forma más precisa, la modulación digital (o codificada) implica una transformación digital por medio de la cual la señal de banda es originalmente función continua en el tiempo, se debe previamente muestrear y cuantificar para ser digitalizada.

Cualquiera que sea el tipo de modulación, este es un proceso reversible, esto es, el mensaje se puede recuperar en el receptor mediante el proceso inverso o demodulación. La modulación es el proceso vital de cualquier eléctricas. Tan importante es este proceso que con frecuencia el sistema de comunicaciones se denomina por el tipo de modulación que se emplea.

Con la modulación.

Se han resuelto algunos de los más importantes problemas que plantea la comunicación eléctrica; a continuación se presentan algunos estos:

a.- La radiación eficiente. La teoría electromagnética establece que la radiación eficiente de una señal se consigue cuando la antena radiadora tiene la longitud de cuando menos  $1/10$  de la longitud de onda de la señal que se desea radiar. Bajo estas condiciones, la radiación directa de una señal de audio de 1000Hz requeriría una antena cuyas dimensiones físicas estarían en el orden de 30km. Mediante la modulación, la señal de 1000Hz se puede manejar a una frecuencia mucho más elevada con lo que se logra la reducción sustancial de la longitud física de la antena. Por ejemplo, en la banda de radio de FM en donde la portadora está en el rango de 88 a 108Mhz, las antenas no son mayores de un metro.

b.- La transmisión múltiple. Mediante la modulación, el espectro en frecuencia de las señales de información se puede trasladar a diferentes posiciones en el dominio de la frecuencia. Los espectros así trasladado se pueden entonces mezclar y transmitir por un canal único sin que se interfieran. Si bien que la transmisión de las señales es simultánea y por un solo canal, los espectros individuales sin traslaparse se puede recuperar individualmente en el receptor. Esto se conoce como transmisión múltiple (o multiplexaje) MDF y permite mayor aprovechamiento del ancho de banda del canal disponible y ahorros considerables en el costo de las vías de transmisión.

c.- Combatir el ruido. Mediante determinados tipos de modulación es posible lograr la reducción considerable del ruido y la interferencia. Sin embargo, se paga un precio por esta ventaja, pues generalmente se requiere estos sistemas un ancho de banda de transmisión mucho mayor que el de la señal de la banda base. De hecho, existe una estrecha relación entre las posibilidades de reducción del ruido (RSR) en un sistema y el ancho de banda de transmisión del mismo. La combinación apropiada entre el ancho de banda de transmisión y la reducción aceptable del ruido constituye uno de los más interesantes e importantes aspectos de diseño de los sistemas eléctricos de comunicación.

d.- Empleo eficiente del espectro de frecuencias. Mediante la modulación se puede hacer uso más racional y eficiente del espectro disponible de frecuencias. En efecto, asignado la frecuencia portadora apropiada se puede acomodar convenientemente mayor número de transmisiones (Por ejemplo de Radio o TV) en el espectro sin que interfieran. Esto permite el control, la administración eficiente del espectro de frecuencias.

e.- Superar las limitaciones del equipo. Por lo general, el diseño de un sistema de comunicaciones está supeditado al equipo disponible que con frecuencias presenta inconveniente por lo que respecta a las frecuencias que se manejan. Mediante la modulación, se pueden colocar una señal en la parte del espectro de frecuencias en donde las limitaciones del equipo sean mínimas o donde se satisfagan más fácilmente los requisitos de diseño.

El termino banda base se emplea para designar la banda original de frecuencias de la señal. Es decir, la banda de frecuencias que entrega la fuente original del mensaje o el transductor de entrada. En la comunicación en banda base las señales se transmiten sin modula, es decir, sin corrimiento alguno de su espectro de frecuencias. Por el contrario, la comunicación que emplea la modulación para desplazar el espectro de la señal de banda base, se conoce como comunicación de portadora o de alta frecuencia.

Se definen dos grandes tipos de modulación analógica, la modulación en amplitud, también conocida como Modulación lineal y la modulación en ángulo o Modulación exponencial. En el primero, la amplitud de la portadora sinusoidal de alta frecuencia  $W_c$  se hace variar en proporción a señal de información  $f(t)$ . En el segundo, es la frecuencia o la fase de la portadora sinusoidal la que hace variar proporcionalmente con  $f(t)$ . La modulación analógica se emplea para transmitir señales de banda bases tanto analógicas como digitales.

Los sistemas más comunes de modulación analógica son: AM-PS (Amplitud Modulada-Portadora Suprimida), AM (Amplitud Modulada simplemente), BLU (Banda Lateral Única) y BLR (Banda Lateral Residual).

### **Amplitud modulada – portador suprimida (AM-PS)**

El teorema de modulación lleva en forma directa a la modulación en amplitud-portadora suprimida. Llamemos  $m(t)$  a la señal modulada  $m(t)=f(t) \cos W_c t$ ; nótese que esta señal la amplitud de la portadora es directamente proporcional a  $f(t)$ . La figura 1.31 ilustra la señal  $f(t)$  de información, la portadora sin modular y la señal modulada  $m(t)$ . La frecuencia y la fase de la portadora permanecen constantes en este caso  $m(t)$  constituye la señal de AM-PS que es el producto  $f(t)\cos W_0 t$ . Evidentemente, este producto no es ni  $f(t)$  ni  $\cos W_0 t$  razón por la cual se dice que no contiene portadora. Por este motivo, usaremos el símbolo  $m_{pm}(t)$  para la señal modulada.

Como se sabe, este tipo de modulación simplemente produce el desplazamiento de  $f(\omega)$  a la posición,  $\mp\omega_c$ . Es decir si:  $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$

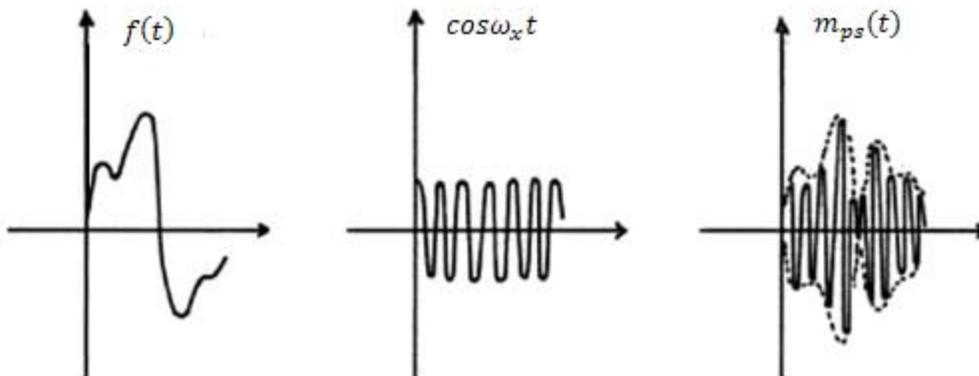


Figura 1.31 Señal  $f(t)$  de información del teorema de modulación.

Entonces:  $f(t) \cos \omega_c t \leftrightarrow \frac{1}{2}[F(\omega + \omega_c) + F(\omega - \omega_c)]$

O también:  $m_{ps}(t) \leftrightarrow M_{ps}(\omega)$

La figura anterior 1.32 ilustra gráficamente este proceso. Obsérvese que el ancho de banda de la señal modulada es:  $2\omega_m$  o sea el doble de la señal moduladora  $f(t)$ .

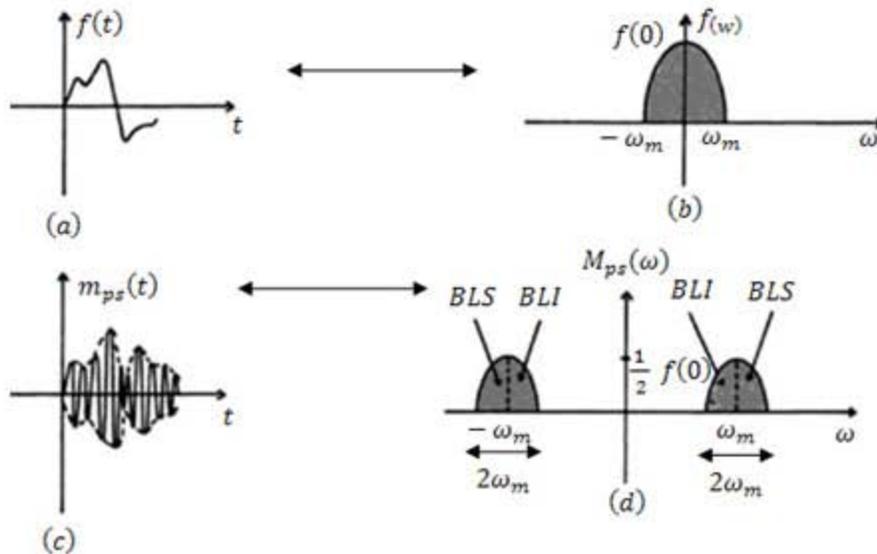


Figura 1.32 Proceso de modulación AM-PS

Se dice que  $m_{pt}(t)$  es de doble banda lateral (DBL) pues, en efecto, el espectro de  $m_{ps}(t)$  se forma de dos partes, aquella que contiene las frecuencias arriba  $w_c$  (Banda lateral superior; BLS,) y que contiene las frecuencias debajo de  $w_c$  (Banda lateral inferior, BLI). Como se muestra en Figura 1.33 en las graficas a y b.

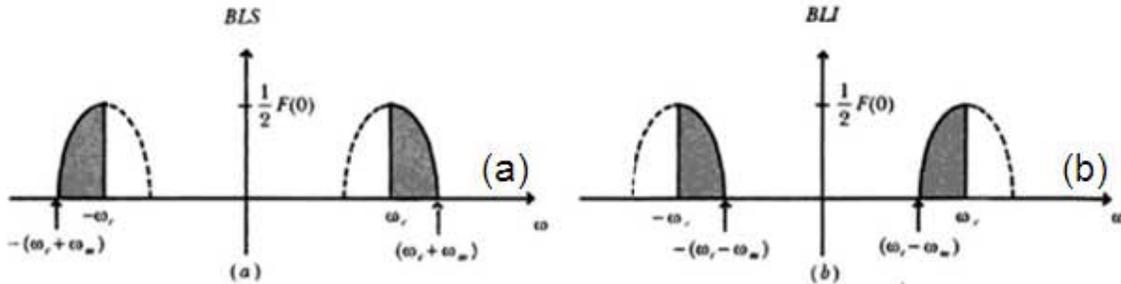


Figura 1.33 Bandas laterales  $M_{ps}(w)$

Cada banda lateral contiene toda la información de  $f(t)$ . Debe notarse que el proceso de modulación convierte cada componente de frecuencia de  $f(t)$  a la frecuencia  $w_c \pm w_x$ , en donde  $w_c + w_x$ , forma la BLS y  $w_c - w_x$  forman la BLI. El sistema de transmisión de AM-PS (o DBL-PS) requiere, entonces, un ancho de banda de transmisión de dos veces el ancho de banda de la señal moduladora. En principio, el sistema requiere un multiplicador (modulador) para obtener el producto  $f(t)\cos w_c t$  que constituye la señal radiada. Figura 1.34.

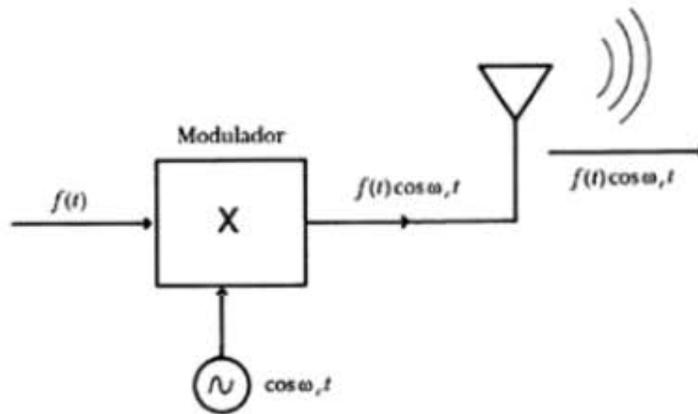


Figura 1.34 Transmisor de AM-PS

Veamos ahora como se puede recuperar, el receptor, las señal; original  $f(t)$  a partir de la señal modulada  $m_{ps}(t)$ .

Nótese que el proceso de demodulación se obtiene con otra multiplicación (modulación) por  $\cos w_c t$ , esto retraslada el espectro  $M_{pm}(w)$  a la posición de  $w=0$  en donde corresponde la señal  $f(t)$ . En efecto, el espectro  $D(w)$  de la señal demodulada  $f(t)\cos 2w_c t$  se obtiene con la convolucion de  $M_{pm}(w)$  con dos impulsos localizados en  $\pm w_c$ .

El resultado gráfico de esta convolución se ilustra en la figura 1.35 siguiente. Al proceso de demodulación o traslación de espectros se le conoce también como detección.

En particular este proceso de recuperar a  $f(t)$  volviendo a multiplicar por  $\cos\omega_c t$  en el receptor se le conoce como detección síncrona o coherente debido a que el proceso es similar al del transmisor.

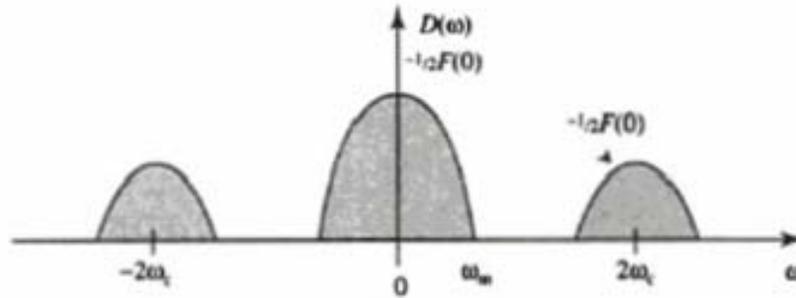


Figura 1.35 Espectro de la señal demodulada (retraslación de espectro)

La demodulación de la señal de AM-PS se efectúa entonces con la detección síncrona. Es importante señalar que para la detección síncrona se debe generar en el receptor la portadora para demodular y que debe hacer sincronía entre ambas portadoras, la del receptor y la del transmisor. Es decir, la frecuencia y la fase de la portadora local deben ser idénticas a la frecuencia y la fase de portadora del transmisor. Si esto no se cumple habrá distorsión en la recuperación de  $f(t)$ . Corroboremos esto; sea  $\Delta\omega$

El error de frecuencia de la portadora local; la portadora local es entonces de la forma  $\cos(\omega_c + \Delta\omega)t$ . Así, la señal demodulada será entonces la ecuación 1.4:

$$f(t)\cos\omega_c t \cos(\omega_c + \Delta\omega)t = \frac{1}{2}f(t)[\cos\Delta\omega t + \cos(2\omega_c + \Delta\omega)t] \quad (1.4)$$

Y la señal filtrada es:  $\frac{1}{2}f(t)\cos\Delta\omega t$  La cual constituye una distorsión de  $f(t)$ .

Para lograr la sincronía de las portadoras, se pueden emplear circuitos de sincronía en el receptor que por lo regular son complicado y costosos. Otro método, menos caro, es el empleo de la portadora piloto.

En este método, con la señal modulada se transmite una cantidad pequeña de portadora adicional (Portadora Piloto) que se utilizara para “amarrar” la frecuencia y la fase del oscilador local. Si la amplitud de la portadora adicional no rebasa cierto valor, la señal modulada sigue siendo de AM-PS y la transmisión se conoce como de AM-PS con portadora piloto. La transmisión de AM-PS con o sin piloto se emplea exclusivamente en las comunicaciones de punto a punto en donde hay un transmisor trabajando contra un solo receptor.

**Circuitos para generar señales de AM-PS**

a.- Moduladores de multiplicación. Son circuitos que efectúan directamente la multiplicación de  $f(t)$  con  $\cos\omega_c t$ . Por ejemplo, un multiplicador analógico cuya salida es proporcional al producto de dos señales de entrada. Figura 1.1.36 Se puede implementar con un amplificador de ganancia variable en el que dicha variación se produce con una de las señales de entrada, por ejemplo  $f(t)$ . la ganancia del amplificador varía como  $kf_1(t)$  con el tiempo y la salida es la ganancia multiplicada por la señal de entrada  $f_2(t)$  es decir,  $kf_1(t)f_2(t)$ . Si  $f_1(t)=\cos\omega_c t$  se obtiene la señal modulada deseada  $kf_2(t)f_2(t)$ . Si  $f_1(t)=\cos\omega_c t$  se obtiene la señal modulada deseada  $kf_2(t)\cos\omega_c t$ . Se debe notar que este tipo de modulador es un sistema que varía con el tiempo.

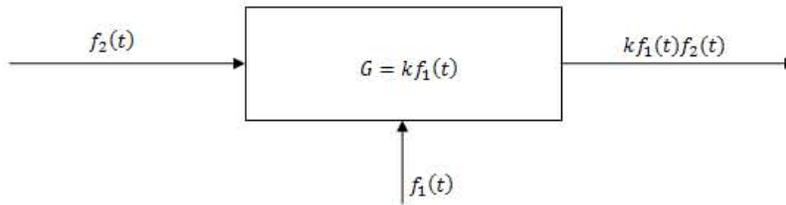


Figura 1.36 Multiplicador analógico.

Otra forma de lograr la multiplicación directa de dos señales se ilustra en la figura 1.36 Para esto se emplean dos amplificadores logarítmicos, un sumador y un amplificador logarítmico inverso.

b.- Modulaciones no lineales. La no linealidad constituye el verdadero mecanismo de la modulación. Se dice que un dispositivo es no lineal cuando en su salida aparecen frecuencias que no están presentes a la entrada. Esto es realmente lo que sucede en un modulador. La figura 1.37 ilustra la característica se puede representar muy aproximadamente mediante la serie:  $i = ae + be^2$

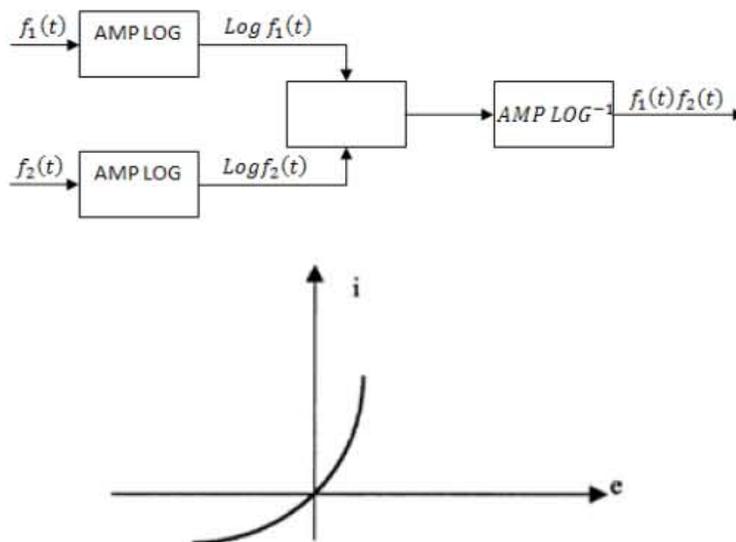


Figura 1.37 Sistema modulador y su grafica.

Un arreglo típico para modular con elementos no lineales se ilustra en la figura siguiente. La conexión serie del elemento no lineal con R constituye un elemento no lineal. Figura 1.38 siguiente:

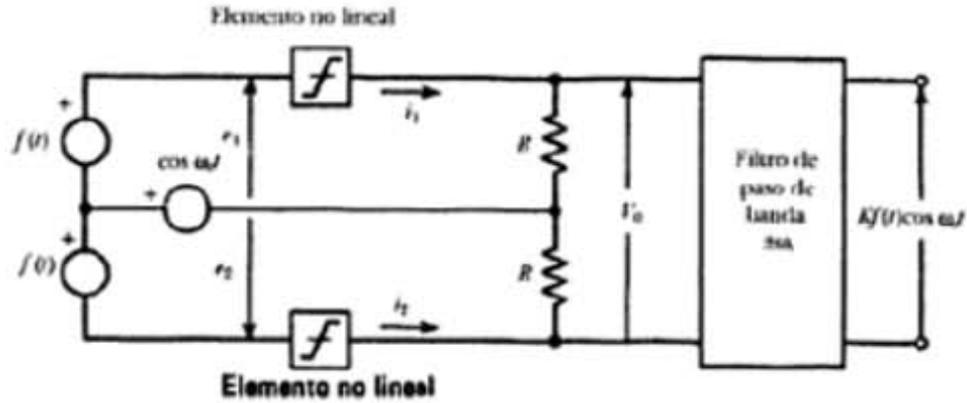


Figura 1.38 Modulador no lineal de AM-PS

La velocidad de conmutación que se requiere para el interruptor de la figura 1.39 siguiente, corresponde a la frecuencia de la portadora que normalmente es de valor elevado:

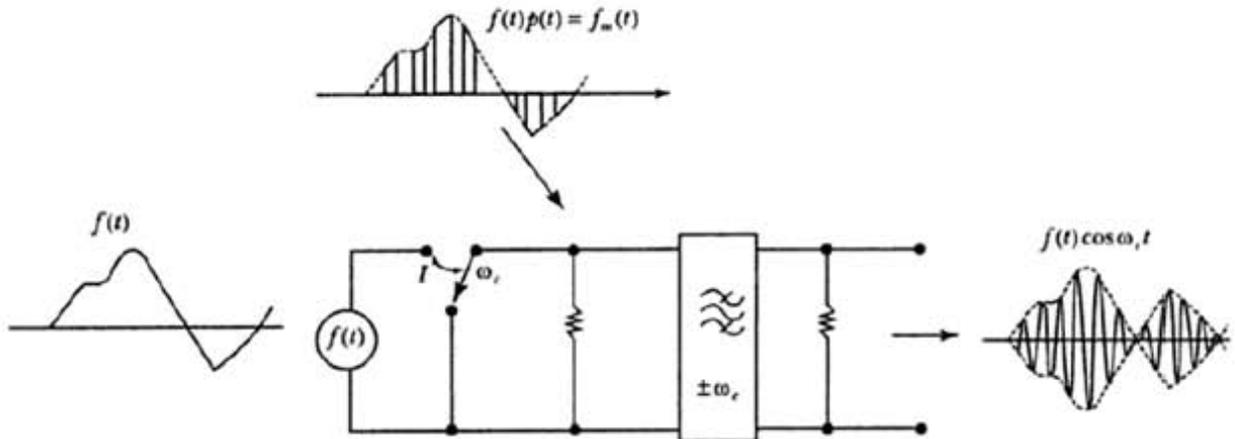


Figura 1.39 Velocidad de conmutación y su grafica

Ningún interruptor mecánico llenaría este requisito pero un interruptor electrónico resulta muy eficiente para esta función.

La figura 1.40 siguiente ilustra un circuito típico de conmutación (modulador puente) con la base de diodos.

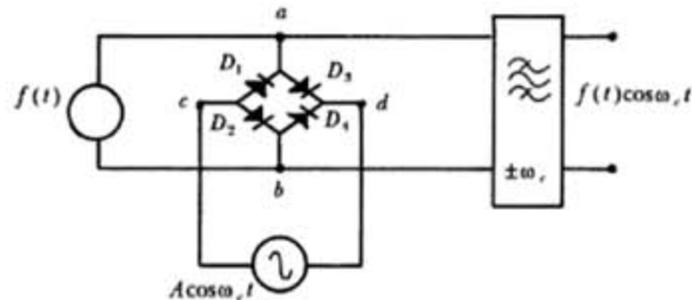


Figura 1.40 Modulador puente

El funcionamiento del circuito es como sigue: en un primer medio ciclo de la portadora  $\cos \omega_c t$ , el punto c del puente de diodos se hace positivo con respecto al punto d; los cuatro diodos se polarizan directamente y conducen.

Como los diodos están apareados, la diferencia de potencial entra a y b es cero lo que equivale a hacer corto circuito la entrada del filtro. Durante el medio ciclo siguiente, el potencial entre c y d se invierte y los diodos se polarizan inversamente; su impedancia se hace sumamente grande y se establece la conexión  $f(t)$  con la entrada del filtro. En consecuencia, bajo la condición de que la amplitud del  $\cos \omega_c t$  sea mucho mayor que  $f(t)$ , el puente de diodos interrumpe el paso de  $f(t)$  hacia él.

Se debe hacer notar que tanto el modulador puente como el modulador de anillo son sistemas lineales variables en el tiempo, pues sus parámetros cambian periódicamente y la multiplicación de  $f(t)$  por una constante incrementa proporcionalmente la salida. Obsérvese que ambos moduladores actúan con sistemas de ganancia variable en los que dicha variación no es sinusoidal sino rectangular, de uno a cero y de uno a menos uno respectivamente, a la frecuencia de la portadora.

Modulados balanceados. La configuración típica de los moduladores balanceados se ilustra en la figura 1.41 siguiente. Esto se caracteriza por el empleo de dos moduladores de AM, es decir, de dos circuitos que generan cada uno la señal de forma  $f(t)\cos \omega_c t + A\cos \omega_c t$ .

El modulador de AM es un circuito mucho más sencillo, de modo que aunque el modulador balanceado emplea dos, su configuración total es bastante menos complicada. Como se ilustra en la figura 1.41, la suma de las señales  $m_1(t)$  y  $m_2(t)$  elimina el término de portadora adicional, es decir, la salida  $m(t)$  del modulador balanceado es:

$$m(t) = m_1(t) + m_2(t) = 2f(t)\cos \omega t$$

La figura 1.41 ilustra el modulador balanceados

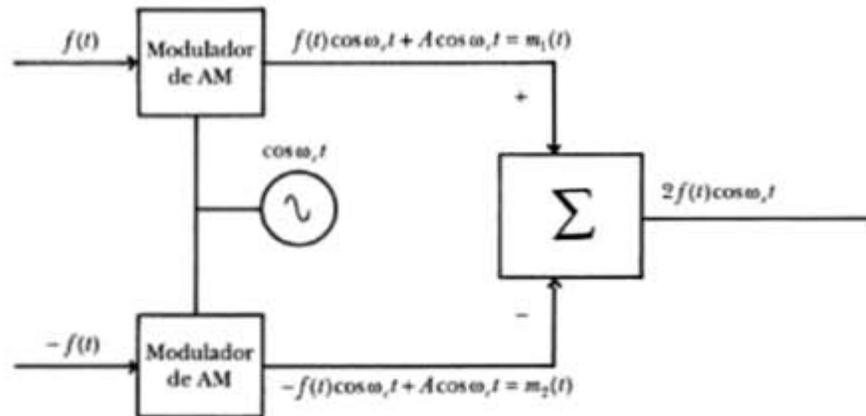


Figura 1.41 Módulos balanceados

La supresión completa de la portadora requiere que los dos moduladores del sistema tengan características idénticas (balanceados).

## 8.- Medios de transmisión

El mecanismo de transporte más simple que se emplea en telecomunicaciones es el par de conductores eléctricos. Este permite el envío de una corriente eléctrica de señal desde el trasmisor en un extremo del par hasta el receptor en el otro extremo.

Existen métodos básicos de codificación de información que se pueden utilizar para transmitir en forma eléctrica dicha información. Estos son la codificación y transmisiones analógicas y la codificación y transmisión digitales.

La codificación analógica implica la creación de una forma de onda eléctrica (señal) análoga a la forma de onda de la información original, por ejemplo, un patrón de onda de voz. De esta manera, la señal es de forma similar a la voz o la forma de onda de la información que representa. Las ondas de transmisión analógicas se emplean para enviar señales son codificación analógica, e históricamente, han predominado en los enlaces de las redes de telecomunicaciones del mundo. Las centrales analógicas han suministrado las interconexiones nodales entre enlaces de este tipo.

En la codificación digital, la información se convierte en una serie de pulsos eléctricos binario que pueden asumir alguno de sólo dos valores posibles de amplitud (por ejemplo 0 volts o A volts). Se dice que la información se envía como una serie de dígitos y de aquí el término de transmisión digital.

Esta técnica se ha convertido en el principal método de transmisión de telecomunicaciones. Esto se debe a los beneficios significativos que ofrece la trasmisión digital, tanto en términos de funcionamiento como de costo.

En la siguiente tabla 1.3 se muestran los métodos comunes de trasmisión:

Medio de trasmisión que se emplea como base del sistema de línea	Comentarios
Conductores de cobre (o de Aluminio)	Conductores Comunes. El calibre se selecciona cuidadosamente según la aplicación. El par puede ser de conductores paralelos o torcidos. El cobre y el aluminio predominan en las redes locales de abonado.
Cable coaxial	Conductor central rodeado por una capa conductora cilíndrica. Se emplea en sistemas troncales o de largo alcance que portan señales múltiplex con gran número de canales.
Radio de Microondas	Sistemas de radio línea de vista de plato chico, para troncales de largo alcance particularmente en donde el terreno es difícil para el tendido de cables.
Dispersión troposférica	Sistema de radio que emplea alta potencia para conseguir la comunicación "sobre el horizonte". De 100-600 km pero es susceptible de desvanecimiento.
Radio de alta frecuencia (HF,VHF,UHF)	Empleado históricamente para la comunicación de puerto a barcos. Se emplea en la actualidad para las redes de radio celular móviles de terminales portátiles.
Satélite	Se emplean como sistemas de microondas de un solo salto para cubrir aproximadamente un tercio de la tierra. Su desventaja es su tiempo de trasmisión relativamente largo de un medio segundo.
Fibra Óptica	Fibra de vidrio sumamente delgada que se emplea en combinación con el laser para transmitir simultáneamente miles de llamadas.

Tabla 1.3 Métodos comunes de trasmisión

En general cualquier medio físico se puede asignar para trabajar tanto en el modo analógico como en el digital y cada uno de los diferentes medios de trasmisión vistos en la tabla se han empleado como la base de los sistemas de trasmisión tanto analógica como digital. La mayoría de los fabricantes producen equipo capaz de soportar diferentes medios de trasmisión y tipos de codificación. La elección del medio y sistema de codificación que se deben emplear es decisión del diseñador de redes, quien necesita considerar los costos relativos y la facilidad con la cual cualquier nuevo tipo de sistema de línea se podría incorporar en la red existente.

El equipo de conmutación (centrales) también se clasifica en analógico y digital. Un conmutador es, después de todo, solamente forma especializada y muy flexible de un equipo de trasmisión.

### **Descripción de Modulación por pulsos.**

Las nociones sobre la información y codificación vistas anteriormente, más los principios de la representación espectro-temporal de señales y sistemas expuestos en el Capítulos II antecedentes teóricos, constituyen un marco teórico básico suficiente para emprender el estudio de los diferentes métodos de modulación y trasmisión de señales empleados en los sistemas de comunicación.

A pesar de la existencia de una gran cantidad de métodos de modulación, es posible identificar dos tipos básicos de modulación de acuerdo con la clase de portadora: (a) la “Modulación de Ondas Continuas (CW)”, en la cual la portadora es simplemente una señal sinusoidal, y (b) la “Modulación de Impulsos”, en la cual la portadora es un tren de impulsos.

La Modulación de Ondas Continuas es un proceso continuo y por lo tanto es la apropiada para señales que varían en forma continua en el tiempo. En este caso la frecuencia de la portadora sinusoidal tiene generalmente un valor mucho más elevado que el ancho de banda de la señal moduladora o señal mensaje, y el proceso de modulación es simplemente un proceso de traslación de espectros.

La Modulación de Impulsos es un proceso discreto, en el sentido de que los impulsos están presentes solamente en ciertos intervalos de tiempo, lo que hace que la Modulación de Impulsos sea la forma apropiada para mensajes o información de naturaleza discreta.

La modulación de impulsos puede, a su vez, clasificarse en “Modulación Analógica de Impulsos” y “Modulación Digital o Codificada de Impulsos”. En efecto, en la modulación analógica de impulsos los parámetros modulados (amplitud, duración o posición de los impulsos) varían en proporción directa respecto a la señal moduladora o mensaje. En la modulación digital de impulsos se efectúa una codificación o conversión, mediante la cual el mensaje es transformado en palabras codificadas (secuencias de impulsos) que representan valores de la señal moduladora tomados en ciertos intervalos de tiempo, aunque ésta no es la única forma de modulación digital de impulsos, como veremos en su oportunidad. Asimismo, en el proceso de la modulación de impulsos se introduce una operación denominada “Muestreo de la Señal” que es una de las transformaciones más importantes en el procesamiento y transmisión de señales digitales.

En este Capítulo se desarrollarán los conceptos de muestreo de señales y de la modulación y transmisión de impulsos. La teoría del muestreo se presentará como la base teórica de todos los sistemas de modulación de impulsos y a este efecto se estudiarán algunos de los sistemas más utilizados en la práctica tanto en el procesamiento como en la transmisión de señales. En particular, se hará énfasis especial en los sistemas de modulación codificada, pues éstos son los sistemas utilizados en la transmisión de señales digitales o datos. También se presentará un breve estudio de la transmisión digital de señales mediante dispersión del espectro (Spread Spectrum). Los criterios de calidad de los diferentes sistemas, para efectos de comparación, se enfocarán (a) desde el punto de vista del ancho de banda de las señales y de los canales, (b) según las relaciones S/N presentes, y (c), en grado menor, en la complejidad de los sistemas.

Finalmente, se estudiarán las “Técnicas de Multiplicidad en el Tiempo (TDM)” necesarias para la transmisión de una gran cantidad de mensajes por un mismo canal, así como los principios básicos de la transmisión y recepción de impulsos en banda de base o en portadora modulada. Sin perder el rigor teórico seguido, en todo momento se dará ejemplos, circuitos y aplicaciones de sistemas prácticos, haciendo referencia principalmente a las Recomendaciones pertinentes de la UIT-T.

## Sistemas de Modulación analógica de impulsos

De acuerdo con la definición de información que vimos en el Capítulo antecedentes teóricos, un tren de impulsos periódico, por ejemplo, no contiene ninguna clase de información. Un tren de impulsos está caracterizado por su amplitud, su período y la duración de cada impulso. Si en alguna forma se imprimiera sobre alguno de estos parámetros una variación proporcional a alguna otra señal, y que esta operación fuera reversible, se tendría lo que se conoce como “Modulación Analógica de Impulsos”.

Un mensaje adecuadamente descrito por sus valores de muestra se puede transmitir mediante la modulación analógica de un tren de impulsos. En la modulación analógica de impulsos cada valor de muestra hace variar proporcionalmente uno de los parámetros de cada impulso; el tren de impulsos, así modulado, puede transmitirse y en el destino se le puede extraer la información contenida en ella. Nótese que cada impulso dispone, para su transmisión, de todo el ancho de banda del canal pero sólo lo ocupa durante parte de un intervalo  $T_s$ .

Hay varias formas de modulación analógica de impulsos, pero tres son las más conocidas y utilizadas:

1. La “Modulación de Amplitud de Impulsos (Pulse-Amplitude Modulation, PAM)”, en la cual la altura o amplitud de cada impulso varía en función del valor de muestra de la señal mensaje. El período y la duración de los impulsos no cambian.
2. La “Modulación de Duración o Anchura de Impulsos (Pulse-Duration (Width) Modulation, PDM o PWM)”, en la cual la duración de cada impulso varía en función del valor de muestra de la señal mensaje. El período y la amplitud de los impulsos no cambian.
3. La “Modulación de Posición de Impulsos (Pulse-Position Modulation, PPM)”, en la cual la posición de cada impulso varía, respecto a un punto de referencia, en función del valor de muestra de la señal mensaje. La amplitud y la duración de los impulsos no cambian.

En la Figura 1.42 Siguiente se muestra una señal mensaje típica  $m(t)$  y las tres formas de modulación analógica de impulsos correspondientes.

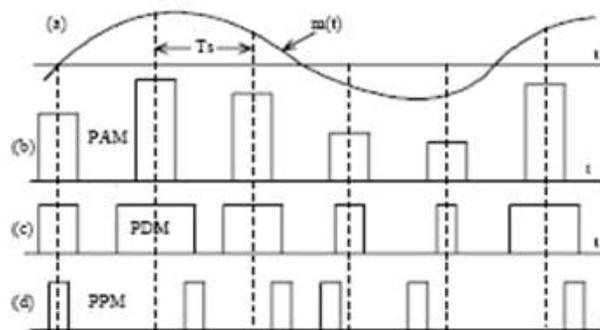


Figura 1.42 Formas básicas de la modulación analógica de impulsos

### Modulación de Amplitud de Impulsos (PAM)

En la modulación PAM, vemos, la amplitud de cada impulso varía proporcionalmente con cada valor de muestra de la señal mensaje  $m(t)$ ; por lo tanto, una señal PAM no es otra cosa que una señal muestreada con retención, como la señal PAM mostrada en la Figura anterior 1.42.

Una señal xPAM (t) unipolar con retorno a cero tiene entonces la forma de la ecuación 1.4:

$$X_{PAM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} [A + m(nT_s)] \cdot \Pi\left(\frac{t-nT_s}{\tau}\right) \quad (1.4)$$

Donde  $A > |\min m(t)|$  es una constante que se agrega a  $m(t)$  para evitar, para efectos de sincronización, que los impulsos modulados puedan ser de amplitud cero o negativa,  $T_s$  es el intervalo de Shannon,  $\tau$  la duración de los impulsos y  $|\min m(t)|$  es el valor de la máxima excursión negativa de  $m(t)$ . Se supone también que  $\langle m(t) \rangle = 0$ . Nótese que en ausencia de modulación [ $m(t) = 0$ ], la expresión se convierte en un tren de impulsos periódicos de amplitud  $A$ , período  $T_s$  y duración  $\tau$ , que representa la portadora sin modular.

Como la expresión anterior tiene la misma forma que la expresión siguiente, excepto por la constante  $A$ , se sigue que sus espectros serán iguales (salvo por un impulso en el origen). La recuperación o demodulación se efectúa mediante filtros interpoladores y ecualizadores, como se describió en la sección anterior.

### Ancho de Banda y Relaciones S/N en Sistemas PAM

La señal PAM está formada por impulsos rectangulares de amplitud variable y duración  $\tau$  que se transmiten directamente por un canal de ancho de banda  $B$ . En general, este tipo de transmisión se denomina "Transmisión en Banda de Base", pues las señales se transmiten tal como se generan, sin ningún otro tipo de modulación. Si el ancho de banda del canal fuera igual a  $f_m$ , él se comportaría como un interpolador, la transmisión sería analógica continua y el proceso de muestreo no tendría sentido. Anchos de banda ligeramente mayores que  $f_m$  producirían solapamiento en el tiempo (time crosstalk) lo que introduce distorsión. Por otro lado, anchos de banda muy grandes no son necesarios. Como la señal PAM es interpolada en base a sus valores de amplitud en los instantes de muestreo, y como estos valores se mantienen aún cuando  $B = 1/\tau$ , se puede tomar este valor como el mínimo ancho de banda  $B$ , el cual se denomina "Ancho de Banda de la Banda de Base". Entonces:

$$\text{En PAM, } B \geq \frac{1}{\tau}$$

$$\text{Si } \frac{T_s}{\tau} = k, \text{ donde } k > 1, \text{ y } T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{2f_m}, \text{ entonces}$$

$$B \geq 2kf_m \text{ y } B_m = \frac{B}{f_m} \geq 2k$$

Nótese que  $\beta_m = B/f_m$  es “la relación o factor de expansión del ancho de banda”. Como  $k > 1$  y puede variar según la aplicación, entonces se tendrá que  $\beta_m \gg 1$ , lo cual indica que el sistema PAM es un sistema de banda ancha que puede permitir el intercambio de ancho de banda por relación S/N, como veremos más adelante.

En cuanto a las relaciones S/N en PAM, consideremos el receptor PAM de la Figura 1.43. Para permitir el funcionamiento en multiplex, que veremos en detalle más adelante, el receptor está abierto cuando no hay presencia de impulsos y cerrado cuando éstos están presentes. Este funcionamiento intermitente constituye, para las perturbaciones presentes en la entrada, un muestreo de tipo natural. Este muestreo, gracias a los dispositivos de sincronización del receptor, se hace a la misma frecuencia que el muestreo del mensaje en la emisión. Como consecuencia, el muestreo en el receptor no afecta a la señal útil pero sí al ruido presente a la entrada.

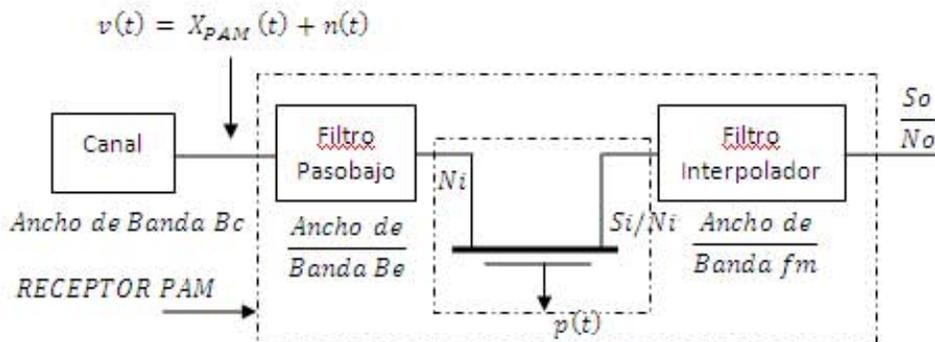


Figura 1.43 Receptor PAM en banda base

Si el ancho de banda  $B_e$  del filtro de entrada es lo suficientemente ancho y el sistema está sincronizado, tanto el filtro de entrada como el sincronizador serán transparentes para la señal PAM, apareciendo ésta a la entrada del filtro interpolador.

A la entrada del receptor PAM la señal recibida es la ecuación 1.5:

$$v(t) = x_{PAM}(t) + n(t) \quad (1.5)$$

Donde  $n(t)$  es ruido blanco de densidad espectral  $n/2$

Del ejemplo anterior, la expresión de la potencia promedio de  $x_{pam}(t)$  es la ecuación 1.6

$$\langle x_{PAM}^2(t) \rangle = \frac{t}{T_2} [A^2 + \langle m^2(t) \rangle] \quad (1.6)$$

A la entrada del filtro interpolador la potencia de la señal útil será ecuación 1.7:

$$S_i \frac{t}{T_s} \langle m^2(t) \rangle \quad 1.7$$

Y salida  $S_0 = G_p \frac{t}{T_s} [A^2 + \langle m^2(t) \rangle]$

Donde  $G_p = \left(\frac{T_2}{t}\right)^2$  es la ganancia de potencia del filtrointerpolador. Se supe que el filtro ecualizador no es necesario, es decir, que  $T_s \gg t$ .

En cuanto al ruido, la densidad espectral a la salida del filtro de entrada tendrá la forma de la potencia de ruido a la entrada del muestreador será la ecuación 1.8:

$$N_i = \eta B_e \quad (1.8)$$

Y a la entrada del filtro interpolador, de la:

$$N_i = \left(\frac{t}{T_s}\right) N_i = \left(\frac{t}{T_s}\right) \eta B_e; B_e \gg f_m$$

Podemos demostrar que la densidad espectral de ruido a la salida del muestreador es la ecuación 1.9, donde se observa en la siguiente figura 1.44:

$$S_{ni}(f) = \left(\frac{t}{T_s}\right)^2 \frac{\eta}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc}^2\left(n \frac{t}{T_2}\right) \cdot \Pi\left(\frac{f-nf_s}{2B_e}\right) \quad (11.9)$$

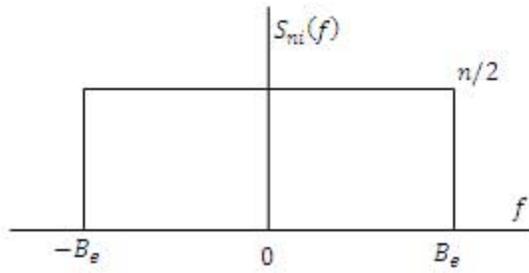


Figura 1.44 Salida del muestreador.

La densidad espectral de ruido disponible a la entrada del filtro interpolador de ancho de banda fm se puede aproximar entonces en la forma:

$$S_{nia}(f) \approx \left(\frac{t}{T_s}\right) \frac{n}{2} \text{ para } |f| \leq f_m \text{ y } T_s \gg t$$

A la salida del filtro interpolador de ancho de banda fm y ganancia de potencia Gp , la potencia de ruido será entonces Ecuación 1.10:

$$N_o = G_p \left(\frac{t}{T_s}\right) \eta f_m = \frac{T_s}{t} \eta f_m \quad (1.10)$$

Las relaciones S/N entrada-salida serán, con  $B_e = B$ ,

$$\frac{S_i}{N_i} = \frac{\langle m^2(t) \rangle}{\eta B} \quad \frac{S_o}{N_o} = \frac{\langle m^2(t) \rangle}{\eta f_m}$$

Y la correspondiente ganancia de conversión,

$$\frac{S_o/N_o}{S_i/N_i} = \frac{B}{f_m} = B_m \text{ en PAM}$$

La ganancia de conversión en PAM es igual a la relación de expansión del ancho de banda. Esto nos permite expresar la ganancia de conversión en otra forma. En efecto, de  $B = 1/\tau$  y con  $T_s = 1/2f_m$  la ganancia de conversión será la ecuación 1.11:

$$\frac{S_o/N_o}{S_i/N_i} = 2 \frac{T_s}{\tau} \text{ en PAM (1.11)}$$

La ganancia de conversión en PAM depende también de la relación  $(T_s/\tau)$ , es decir, de la relación de bloqueo del receptor. Nótese que el bloqueo del receptor permite aumentar la ganancia de conversión aunque a expensas de un aumento en el ancho de banda, y viceversa; hay entonces un intercambio o compromiso entre el ancho de banda y la relación S/N. Pero como el bloqueo del receptor no se hace para aumentar la ganancia de conversión sino para facilitar el funcionamiento en multiplex en canales de banda ancha, esto hace que el comportamiento de este sistema de modulación de impulsos sea superior, por ejemplo, al del sistema de doble banda lateral (DSB) de acuerdo a su expresión. En efecto, vemos que:

$$\left[ \frac{S_o}{N_o} \right]_{PAM} = 2 \frac{T_s}{\tau} \left[ \frac{S_o}{N_o} \right]_{DSB}$$

Aunque el receptor no estuviera bloqueado, en cuyo caso  $\tau = T_s$ , la relación  $[S_o/N_o]_{PAM}$  es superior en 3 dB a la relación  $[S_o/N_o]_{DSB}$ ; sin embargo, las ganancias de conversión serían iguales, lo que se puede apreciar haciendo  $\tau = T_s$ .

Como la información está contenida en la variación de la amplitud de los impulsos, los sistemas PAM son muy sensibles al ruido aditivo. En la práctica, la modulación PAM no se utiliza para transmisión directa de información sino como un paso previo de procesamiento, sobre todo en los sistemas de modulación de impulsos codificados (PCM), que veremos posteriormente.

### Modulación de la Duración o Anchura de Impulsos (PDM o PWM)

En la modulación PDM la duración de los impulsos varía proporcionalmente a los valores de muestra de la señal mensaje, como se muestra en la Figura 1.45. Obsérvese que el valor más positivo de  $m(t)$  corresponde al impulso más ancho, mientras que el valor más negativo corresponde al impulso más angosto.

Como es evidente, hay que limitar las duraciones máximas y mínimas de los impulsos de tal manera que impulsos adyacentes no se solapen o que la duración mínima sea de tal magnitud que demande anchos de banda inadmisibles. A este efecto, el sistema PDM debe ser cuidadosamente diseñado de acuerdo con los niveles de señal máximos y mínimos esperados.

Una señal PDM tiene entonces la forma ecuación 1.12:

$$X_{PDM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A \Pi \left[ \frac{t-nT_s}{t(nT_s)} \right] \text{ Ecuación 1.12}$$

$$\text{Donde } t(t) = t_0 \div t_1 m(t) = t_0 [1 \div m_t m(t)] = t_0 [1 + \Delta(t)]$$

Siendo  $m_t = \frac{t_1}{t_0} \leq 1$  el índice de modulación PDM y  $t(t) = m_t m(t)$ ;  $t_0$  es la duración de los impulsos no modulados.

Si  $T_s$  es el periodo o intervalo de Shannon,  $B$  el ancho de banda de transmisión y  $\langle m(t) \rangle = 0$ , los de  $t_0$  y  $t_1$  se eligen de tal manera que se cumplan las siguientes condiciones.

$$T_s > t_{max} = t_0 [1 + m_t |\max m(t)|] > t_0 > t_{min} \quad t_{min} = t_0 [1 - m_t |\min m(t)|] \geq \frac{1}{B} > 0$$

$|\max m(t)|$  y  $|\min m(t)|$  son los valores de las máximas excursiones positiva y negativa, respectivamente, de  $m(t)$ . Nótese que la expresión anterior implica que  $m_t |\min m(t)| < 1$  o también que  $t_0 > t_1 |\min m(t)|$ , lo cual nos asegura que el ancho mínimo del impulso nunca será cero o negativo.

En la Figura 1.45 se observa que la variación de la duración del impulso se efectúa simétricamente alrededor del instante de muestra  $nT_s$ , pero también se puede mantener fijo un borde del impulso mientras que el otro borde es el que se desplaza.

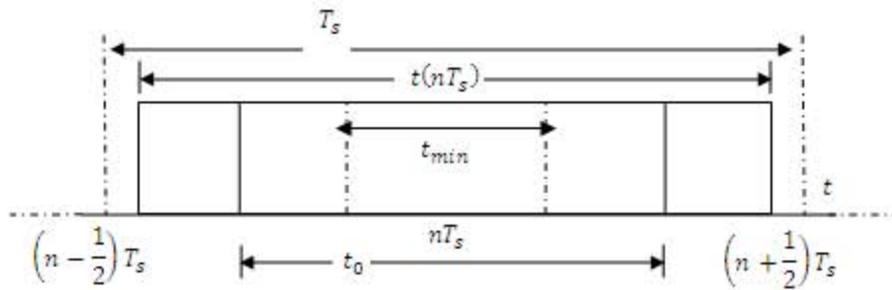


Figura 1.45 Relaciones de duración en PDM

### Demodulación PDM

La señal PDM se puede demodular con un simple filtro pasabajo, lo cual no parece tan obvio cuando se observa la forma de la señal. Para demostrarlo, primero hay que determinar el espectro de la señal PDM, lo cual es difícil de efectuar en el caso general. Sin embargo, si se supone el caso de modulación sinusoidal o modulación con un simple tono, la tarea se simplifica y el resultado se puede extender para el caso general.

Una forma de generación de una señal PDM se ilustra en la ecuación 1.13. En la misma ecuación se muestra el algoritmo de decisión del comparador y las relaciones entre los diferentes parámetros. Un tren de impulsos sin modular,  $x(t)$ , se puede desarrollar en serie de Fourier de la forma:

$$x(t) = X_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \cos(n\omega_s t) \quad \text{con } \omega_s = 2\pi f_s; \quad f_s = \frac{1}{T_s} \geq 2f_m \quad (1.13)$$

$$X_n = \frac{A_t}{T_s} \text{sinc}(nf_s t) = \frac{A}{n\pi} \text{sen}(n\pi f_s t) \quad \text{y} \quad X_0 = \frac{A_t}{T_s}$$

$$x(t) = \frac{A_t}{T_s} \div 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{n\pi} \text{sen}(n\pi f_s t) \cos(n\omega_s t)$$

Que se puede escribir en la forma:

$$x(t) = \frac{A_t}{T_s} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{n\pi} \text{Im}\{\exp(j2\pi n f_s t)\} \cos(n\omega_s t)$$

Si  $\tau$  varía en función del mensaje y si el mensaje es un tono de frecuencia  $f_m$ , es decir,  $m(t) = \text{sen}(\omega_m t)$ , entonces  $\tau = \tau(t) = [\tau_0 + \tau_1 \text{sen}(\omega_m t)]$ . Definiendo también  $\alpha_n = n\pi\tau_0 f_s$  y  $\beta_n = n\pi\tau_1 f_s$ , la señal PDM queda en la forma:

$$X_{PDM}(t) = \frac{A}{T_s} [t_0 + t_1 \text{sen}(\omega_m t)] + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{n\pi} \text{Im}\{\exp(j\alpha_n) \exp[j\beta_n \text{sen}(\omega_m t)]\} \cos(n\omega_s t)$$

El término  $\exp[j\beta_n \text{sen}(\omega_m t)]$  es una función periódica de período  $1/f_m$  y como tal se puede desarrollar en serie de Fourier. En efecto, sea como se muestra en la figura 1.47:

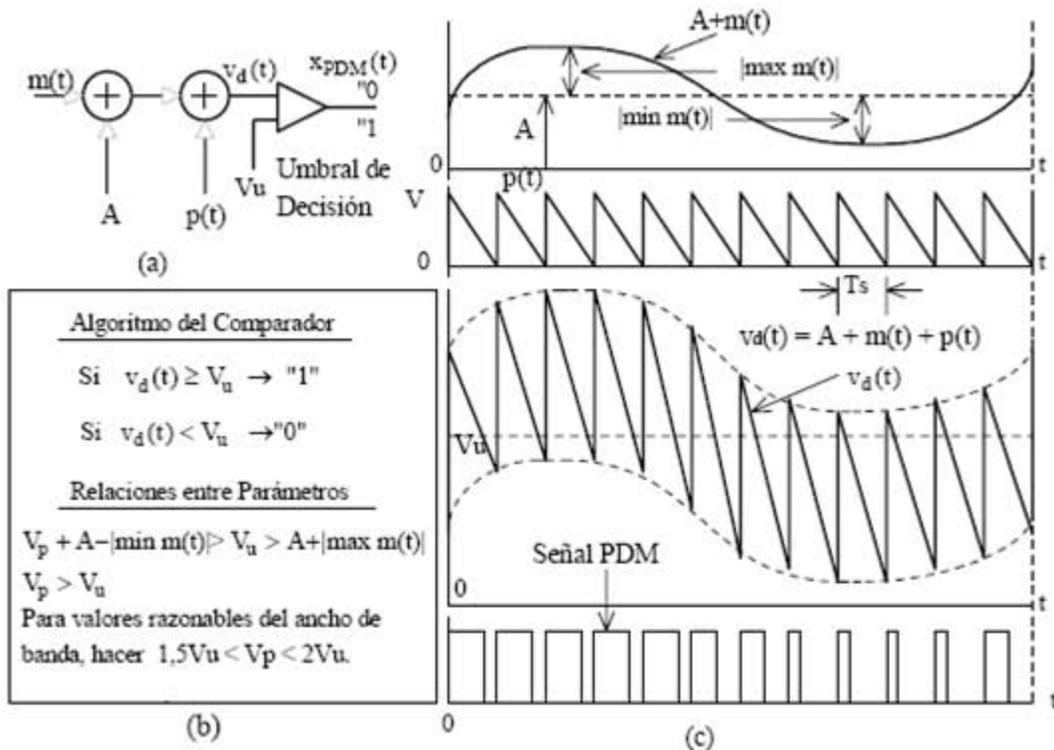


Figura 1.47 Generación de una señal PDM

Como lo demuestra la siguiente ecuación de la generación de una señal PDM:

$$\exp[j\beta_n \text{sen}(\omega_m t)] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Z_k \exp(j2\pi k f_m t)$$

$$Z_k = f_m \int_{-1/2f_m}^{1/2f_m} \exp[j\beta_n \text{sen}(\omega_m t)] \cdot \exp[-jk\omega_m t] \cdot dt$$

$$Z_k = f_m \int_{-\frac{1}{2f_m}}^{\frac{1}{2f_m}} \exp[j\beta_n \text{sen}(\omega_m t) - jk\omega_m t] \cdot dt$$

Con el cambio de variables  $x = \omega_m t$ , se obtiene la ecuación 1.14:

$$Z_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \exp[-j(kx - \beta_n \text{sen}(x))] \cdot dx \quad (1.14)$$

Esta integral no puede resolverse en forma analítica, pero puede reconocerse como el Coeficiente de Bessel de primera clase, orden  $k$  y argumento  $\beta_n$ . Esta función generalmente se denota en la forma  $J_k(\beta_n)$  y se encuentra extensamente tabulada (Se muestra una Tabla de Coeficientes de Bessel para algunos valores de  $k$  y  $\beta_n$ ). Entonces:

$$Z_k = J_k(\beta_n)$$

$$\text{De donde: } \exp[j\beta_n \text{sen}(\omega_m t)] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta_n) \exp(j2\pi k f_m t)$$

$$X_{PDM}(t) = \frac{A}{T_s} [t_0 + t_1 \text{sen}(\omega_m t)]$$

$$\div 2 \sum_{k=-1}^{\infty} \frac{A}{n\pi} \text{Im} \left[ \exp(j\alpha_n) \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta_n) \exp(jk\omega_m t) \right] \cos(\omega_s t)$$

$$X_{PDM}(t) = \frac{A}{T_s} [t_0 + t_1 \text{sen}(\omega_m t)] \div \frac{2A}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{J_k(\beta_n)}{n} \text{sen}[\alpha_n \div k\omega_m t] \cdot \cos(\omega_s t)$$

Nótese que aunque la modulación es sinusoidal con un tono único de frecuencia  $f_m$ , el espectro de  $x_{PDM}(t)$  contiene entonces una componente continua, una componente a la frecuencia  $f_m$  y componentes a las frecuencias  $f_{nk} = n f_s + k f_m$  para  $n = 1, 2, 3, \dots$  y  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ . Algunas de estas frecuencias son iguales a  $f_m$ , constituyendo componentes de distorsión.

En particular, si  $f_s = 2f_m$ , entonces  $f_{nk} = (2n+k)f_m$  y habrá componentes de distorsión para  $(n = 1$  y  $k = -1)$ ,  $(n = 2$  y  $k = -3)$ , etc. Sin embargo, para  $n \geq 1$  o  $(\beta_n > 1)$ , la amplitud de las componentes de distorsión se hace muy pequeña en comparación con la señal deseada y puede ser despreciada.

La situación mejora si el muestreo se hace a una frecuencia mayor que la frecuencia de Nyquist, aunque en general es suficiente un filtro pasabajo de ancho de banda  $f_m$ , como se muestra en la Figura 1.47 siguiente:



Figura 1.47 Demodulación de señales PDM

La modulación PDM o PWM se aplica actualmente no solamente en aplicaciones en comunicaciones y procesamiento de señales, sino también en el control de motores eléctricos.

Como dato histórico, antiguamente a la modulación PDM se la conocía con el nombre de Amplificación Clase D.

### Ancho de Banda en Sistemas PDM

En los sistemas PDM la información está contenida en la duración de los impulsos y por lo tanto la modulación está representada como diferencias de energía en los impulsos sucesivos de diferente duración. Fundamentalmente, hay que transmitir impulsos y el ancho de banda del canal dependerá de la duración del impulso más angosto, es decir, del  $\tau_{min}$  del sistema. El ancho de banda de la banda de base en PDM será entonces:

$$B \geq \frac{1}{\tau_{min}} \text{ en PDM}$$

Nótese que el  $\tau_{min}$  en PDM es, en general, más pequeño que el  $\tau$  en PAM, de modo que se puede decir que  $BPDM > BPAM$

La relación exacta entre  $BPDM$  y  $BPAM$  dependerá de los valores de  $\tau$ ,  $\tau_0$ ,  $\tau_1$  y  $m(t)$ .

Debido a la compatibilidad que existe entre los sistemas PDM y PPM, sus relaciones S/N serán tratadas simultáneamente en la próxima sección.

### Modulación por Posición de Impulsos (PPM)

En la modulación PPM la posición de los impulsos, con referencia a un punto dado, varía proporcionalmente de acuerdo con los valores de muestra de la señal mensaje.

En un sistema PPM la información está contenida en los desplazamientos de los impulsos de un tren de impulsos, la portadora. Como la amplitud y la duración de los impulsos se mantienen constantes, la información posicional es también transmitida por la posición del borde frontal del impulso, o por la posición del punto, en el eje del tiempo, por donde cruza el borde frontal.

Las modulaciones PPM y PDM están íntimamente relacionadas, a tal punto que la modulación PPM se puede obtener directamente a partir de la modulación PDM en la forma mostrada en la Figura 1.48.

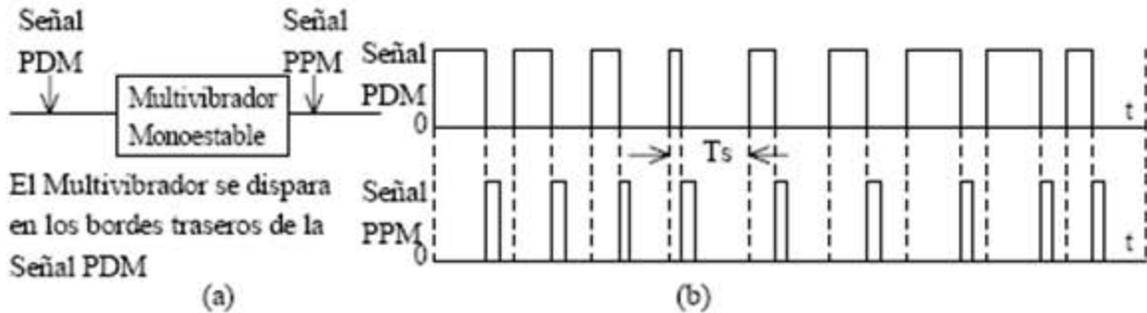


Figura 1.48 Generación de señales PPM a partir de señales PDM

Como la información reside en la posición temporal de los bordes del impulso y no en el impulso mismo, y como la potencia es proporcional a la duración de los impulsos, sería muy conveniente, si el ancho de banda del canal lo permite, transmitir impulsos muy angostos modulados en PPM. La potencia requerida para PPM será entonces inferior a la requerida para PDM y ésta ya es una ventaja muy importante que se refleja en las correspondientes relaciones S/N, como veremos más adelante.

Una señal PPM se puede expresar en la ecuación 1.15:

$$X_{PPM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A \Pi \left[ \frac{t - nT_s - \Delta(nT_s)}{t} \right] \quad (1.15)$$

Donde  $\Delta(t) = mtm(t)$  es el desplazamiento instantáneo del impulso respecto al instante de referencia  $t = nT_s$ , como puede observarse en la Figura 1.49:

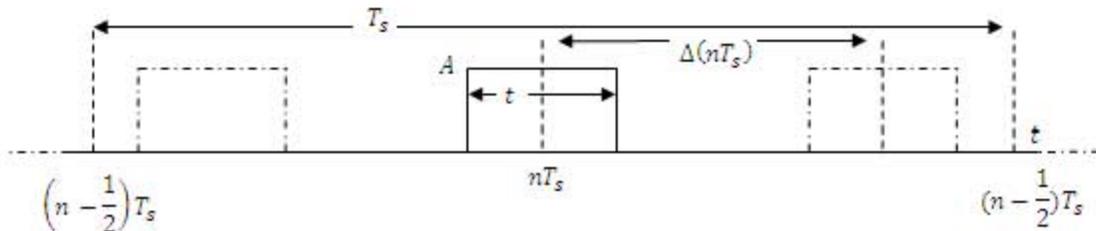


Figura 1.50 Modulación PPM

La posición del impulso respecto a  $t = nT_s$  es proporcional a  $m(t)$ ; el desplazamiento máximo será la ecuación 1.16:

$$|\Delta(t)|_{max} = m_t |m(t)|_{max} \leq \frac{1}{2}(T_s - t) \quad (1.16)$$

Donde  $|m(t)|_{max}$  es el valor máximo de  $m(t)$  y  $m_t$  el índice de modulación PPM.

### Demodulación PPM

Para determinar el proceso de demodulación de una señal PPM es necesario conocer su espectro, el cual, igual que en PDM, es difícil de calcular en el caso general, pero que se puede estimar en el caso de modulación sinusoidal.

Sea entonces,  $D(t) = nT_s + \Delta(t)$  De donde la ecuación 1.17:

$$X_{PPM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A \Pi \left[ \frac{t - D(nT_s)}{\tau} \right] = A \left\{ \Pi \frac{\tau}{t} * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta[t - D(nT_s)] \right\} \quad (1.17)$$

Pero como la información está contenida en el desplazamiento  $D(t)$  del impulso y no en el impulso mismo, el ancho del impulso puede hacerse tan pequeño que se puede aproximar mediante impulsos unitarios, es decir, que:

$$\Pi \left( \frac{\tau}{t} \right) \approx \delta(t)$$

[No tomando en cuenta su efecto sobre el ancho de banda]. Entonces la ecuación 1.18:

$$X_{PPM}(t) = A \{ \delta(t) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta[t - D(nT_s)] \} = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta[t - D(nT_s)] \quad (1.8)$$

Se ha demostrado que si  $D(t) = nT_s + \Delta(t)$  Entonces:  $\delta[t - D(nT_s)] = |1 - \Delta'(t)| \delta[t - T_s - \Delta(t)]$

Donde  $\Delta'(t)$  es la derivada de  $\Delta(t)$ .

Por consiguiente:  $X_{PPM}(t) = A \cdot |1 - \Delta'(t)| \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta[t - \Delta(t) - nT_s]$   
El signo de módulo se puede eliminar postulando que:

$$|\Delta'(t)| = m_t m'(t) \leq 1 \text{ Para todo } t; 0 < m_t \leq 1$$

Lo cual nos asegura que los impulsos serán siempre positivos. Entonces la ecuación 1.19:

$$X_{PPM}(t) = A [1 - m_t m'(t)] f_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp[j2\pi n f_s (t - m_t m(t))] \quad (1.19)$$

Definiendo  $B_n = 2\pi n f_s m_t$  y con  $m(t) = \text{sen}(\omega_m t)$ ,

$$X_{PPM}(t) = A f_s [1 - m_t m'(t)] \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp[j(n\omega_s t - \beta_n \text{sen}(\omega_m t))]$$

Pero vemos que:  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp[j(n\omega_s t - \beta_n \text{sen}(\omega_m t))] = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos[n\omega_s t - \beta_n \text{sen}(\omega_m t)]$

El coseno se puede expresar en la forma:

$$\cos[n\omega_s t - \beta_n \text{sen}(\omega_m t)] = \text{Re}\{\exp(jn\omega_s t) \cdot \exp[-j\beta_n \text{sen}(\omega_m t)]\}$$

Aplicando el mismo procedimiento utilizado para deducir la expresión mediante los coeficientes de Bessel, podemos demostrar que la ecuación 1.20:

$$\exp[-j\beta_n \text{sen}(\omega_m t)] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta_n) \exp(-jk\omega_m t) \quad (1.20)$$

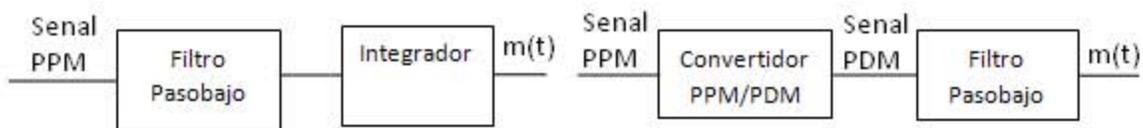
$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp[j(n\omega_s t - \beta_n \text{sen}(\omega_m t))] = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_n(\beta_n) \cos[2\pi(nf_s - kf_m)t]$$

Y finalmente la ecuación 1.21:

$$X_{PPM}(t) = Af_s [1 - m_t m'(t)] \{1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta_n) \cos[2\pi(nf_s - kf_m)t]\} \quad (1.21)$$

Desarrollando podemos observar lo siguiente: aunque la modulación es sinusoidal con un simple tono de frecuencia  $f_m$ , la señal PPM, igual que en el caso PDM, contiene un término de componente continua que es igual al valor promedio del tren de impulsos sin modular y un segundo término que es proporcional a la derivada de la señal mensaje; los términos restantes son productos de intermodulación entre la frecuencia de muestreo  $f_s$  y la frecuencia  $f_m$  de la señal: la señal PPM contiene entonces un número infinito de componentes laterales alrededor de  $\pm n f_s$  separadas en  $\pm k f_m$ . Muchas de estas componentes, igual que en PDM, constituyen términos de distorsión de muy baja amplitud que pueden ser despreciados, pero aún así la distorsión de la señal es más pronunciada que en PDM.

Además del filtrado pasabajo, es necesario efectuar una integración para restaurar la componente de la señal útil a su perfil original. La demodulación directa de señales PPM se puede efectuar entonces en la forma indicada en la Figura 1.50, pero este tipo de modulación no se emplea en la práctica.



(a) Demodulación Directa de Señales PPM (b) Demodulación mediante Conversión PPM/PDM

Demodulación de Señales PPM

Figura 1.50 Demodulación directa y demodulación mediante conversión.

Una forma de demodulación de fácil instrumentación, más eficiente en cuanto a su inmunidad al ruido y con menor distorsión se puede obtener mediante conversión PPM a PDM y filtrado pasabajo, Figura 1.51. Esta transformación, que es la inversa de la mostrada en la Figura, se puede efectuar haciendo que la portadora (un reloj) active un circuito basculador (un flipflop RS), el cual, a su vez, es puesto a cero por los impulsos PPM. Sin embargo, como la señal PPM no contiene la información de portadora o temporización, ésta tiene que ser transmitida por separado. En la Figura se muestra el proceso de demodulación PPM/PDM/m(t).

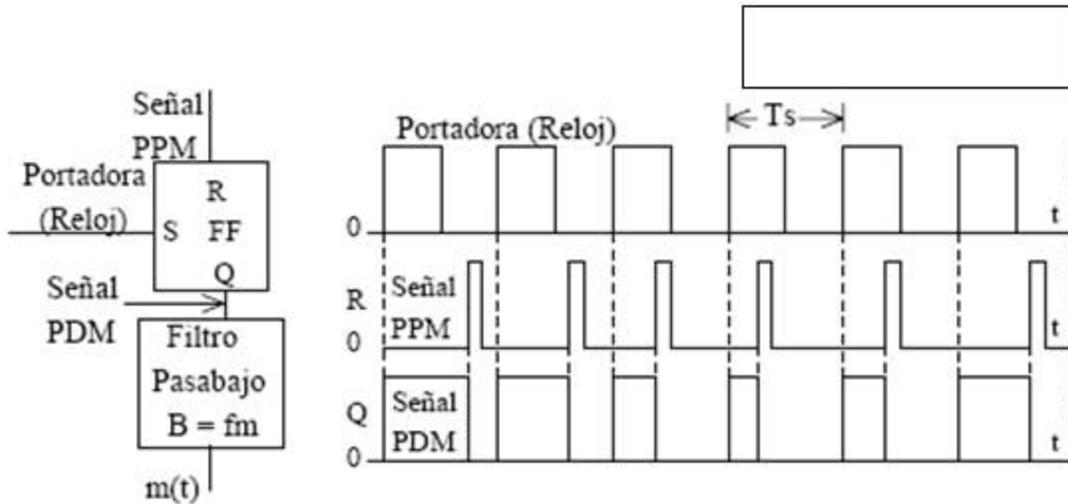


Figura 1.51 Mecanismo de demodulación PPM/PDM/m(t).

### Ancho de Banda y Relaciones S/N en la Modulación PPM y PDM

En los sistemas PPM la información está contenida en la posición o desplazamiento de los impulsos. En presencia de ruido es necesario que los bordes de los impulsos estén bien definidos a fin de poder interpretar adecuadamente la posición del impulso. Esto significa que el impulso debe tener una mejor resolución o definición que en el caso PDM. Para transmisión en banda de base se puede tomar como ancho de banda:

$$B_{PPM} \approx \frac{5}{t}$$

Donde t es la duración de los impulsos. El sistema PPM es un sistema de banda ancha en el cual la relación de expansión del ancho de banda  $\beta_m$  es mucho mayor que la unidad.

La relación entre los anchos de banda de la banda de base en PAM, PDM y PPM será

$$B_{PPM} > B_{PDM} > B_{PAM}$$

Veamos ahora la influencia del ruido en PPM. Como los impulsos se transmiten por canales de ancho de banda finito, se produce dispersión en los bordes de los impulsos recibidos, de tal manera que estos se pueden considerar como impulsos trapezoidales.

### 9.- Central Telefónica. Central para conmutación de circuitos.

En la redes de conmutación de circuitos, se debe establecer una trayectoria física, o circuito y mantenerla durante toda la conversación entre su punto de origen y terminal. Las centrales para conmutación de circuitos deben satisfacer los tres siguientes atributos particulares.

- a.- Habilidad para liberar la conexión una vez terminada la llamada.
- b.- Habilidad para conectar cualquier circuito de entrada (aquél que porta la llamada de solicitante) con uno de muchos otros circuitos de salida. Particularmente importante es la habilidad para seleccionar diferentes circuitos de salida cuando realizan llamadas subsecuentes desde el mismo circuito de entrada. Durante el establecimiento de cada llamada, la central debe determinar que circuito de salida se necesita normalmente a partir del número marcado. Esto hace posible extender llamadas hacia muchos otros usuarios de la red.
- c.- Habilidad para evitar que nuevas llamadas se introduzcan en circuitos que ya se están usando. Para prevenir esto, la nueva llamada se debe desviar hacia un circuito alternativo o prohibirle su acceso, en cuyo caso el abonado que llama debe recibir un tono de ocupado.

Las centrales normalmente se diseñan en forma de matriz de puntos de conexión (pc) como se ilustra en la figura 1.52. La matriz de esta figura tiene 5 circuitos de entrada, cinco circuitos de salida y 25 pc, que en cualquier momento, pueden estar operados o desoperados (libres).

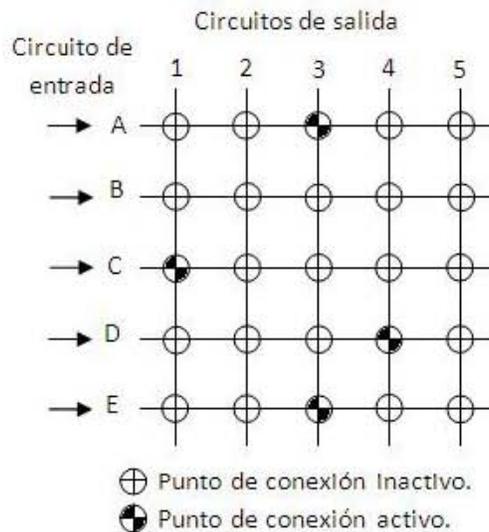


Figura 1.52 Matriz y sus puntos de conexión

Cualquiera de los circuitos de entrada, A a E, se pueden conectar cualquiera de los circuitos de salida 1 a 5, pero en un momento dado ningún circuito de entrada se debe conectar con más de un circuito de salida, pues cada abonado solo puede hablar con correspondiente a la vez. En la figura anterior (1.52) se está llevando a cabo en ese momento, 4 llamadas simultáneamente que implican las conexiones: A-2, C-1, D-4 y E-3, en tanto que los circuitos B y 5 están desocupados.

Se pueden establecer hasta cinco llamadas, dependiendo de la demanda del momento y de si el abonado llamado esta libre u ocupado. Supongamos, por ejemplo, que un instante antes del momento que se ilustra en la figura anterior (1.52) el abonado B había intentado realizar una llamada con el abonado 3 (marcando el numero apropiado) encontrado, por supuesto, ocupada la línea de tres. Pero un momento después, el abonado E termina su conversación con el abonado 3, e inmediatamente hace una llamada al abonado 5. Si enseguida B levanta el teléfono y vuelve marcar el número del abonado 3, la llamada tendrá éxito pues la línea hacia tres ya está libre. La figura 1.1.53 ilustra la nueva configuración de pc en este instante de tiempo subsecuente, en donde 5 llamadas se llevan a cabo simultáneamente.

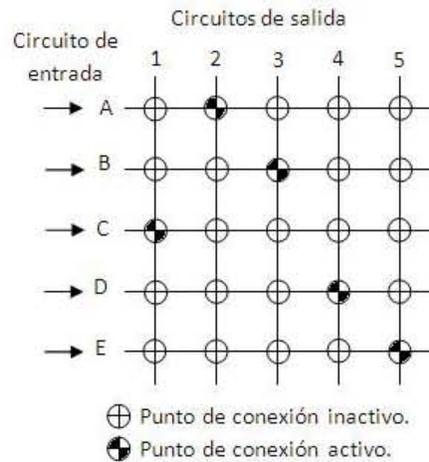


Figura 1.53 Cinco llamadas simultáneas. Punto de conexión activo e inactivo.

En cualquier momento, se pueden estar usando entre 0 y 5 pc, pero aun circuito de entrada nunca se puede conectar con más de un circuito de salida, tampoco un circuito de salida se conectará con más de un circuito de entrada, a la vez.

Ahora explicaremos el significado de establecer una conexión. En un capítulo anterior estudiamos que un circuito básico necesita cuando menos de dos hilos y que uno de larga distancia se estructura mejor con cuatro hilos (un par de transmisión y un par de recepción). La central conecta estos hilos y evita la instrucción de llamadas.

La solución al primer asunto es que cada uno de los dos (o cuatro) hilos de la conexión se conmuta separadamente con un arreglo como el de la figura 1.54. Así, se puede concebir cierto número de capas base de matrices que realicen la conmutación al unísono como se ilustra en la figura siguiente. Se trata de la estructura general de un arreglo de selección (red de conmutación o conmutador).

Cada arreglo de la figura 1.54 conmuta uno de los 4 hilos. Cada una de las 4 capas conmuta al mismo tiempo, empleando pc correspondientes, para que los 4 hilos de cualquier de entrada específico se conecten a los correspondientes 4 hilos del circuito de salida seleccionado. En la figura el circuito A se conecta con el circuito 5.

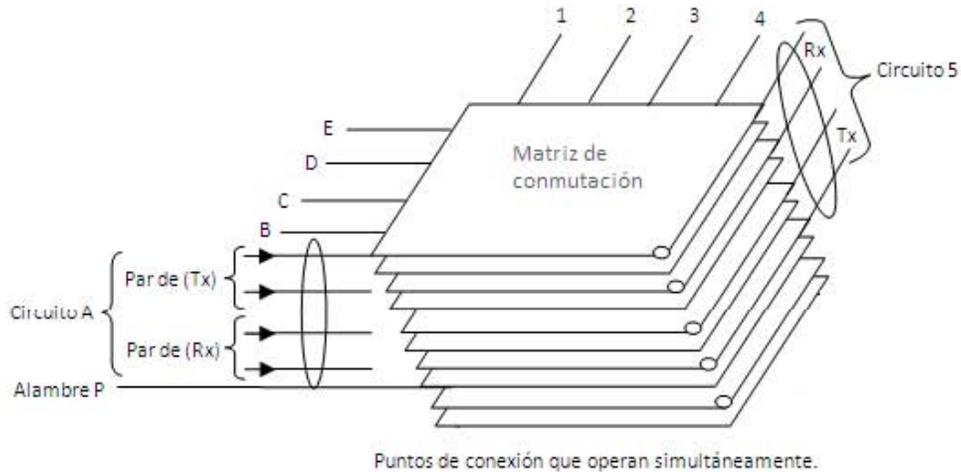


Figura 1.54 Puntos de conexión que operan simultáneamente.

En la figura 1.54 vemos que también se conmuta un quinto hilo, que se conoce como "hilo P". Su empleo constituye una forma de diseño para evitar la intrusión de llamadas. Este método se emplea en centrales electromecánicas y consiste en lo siguiente. Cuando cualquiera de los circuitos A a E están libres, existe un voltaje eléctrico en su correspondiente hilo P. Cuando cualquiera de los abonados llamantes A a E inicia una llamada, el voltaje del hilo P se pone a tierra (cero volts). Cuando la llamada se conmuta a través de la matriz cualquiera de los circuitos 1 a 5, el hilo P de ese circuito también se aterriza como resultado de su conexión con el hilo P del circuito de entrada. Cuando la llamada termina, el abonado que llama repone su teléfono. Esto provoca que se vuelva a aplicar un voltaje al hilo P con el cual la matriz de conmutación responde liberando la conexión. La intrusión se evita prohibiendo la conexión de circuitos con aquellos para los cuales el hilo P ya se encuentra en la condición aterrizada (es decir, ocupado). En esta forma, la tierra sobre el hilo P se utiliza como indicador para distinguir las líneas que se están utilizando.

El hilo P también permite un método útil de retención del circuito y de inicio de la liberación. En este sentido, el arreglo se diseña para mantener (retener) la conexión por el tiempo en que el hilo P este aterrizado. Tan pronto como el abonado llamante repone el teléfono, el hilo P se regresa al nivel distinto de 0 y la matriz reacciona liberando la conexión (el pc se libera).

En las centrales modernas de control por programa almacenado (CPA) la instrucción de llamadas y el trabajo de retención de circuitos se llevan a cabo por medio del conocimiento electrónico que el procesador de la central tiene sobre el circuito que se emplea. Así los hilos P se han hecho obsoletos.

Regresando al ejemplo de las matrices. ¿Qué sucede si la parte A desea llamar a la parte E? Los diagramas antes vistos muestran que A y E sólo pueden hacer llamadas salientes a través de la matriz, de modo que será necesario encontrar la manera para que se puedan interconectar. La solución consiste a uno o a ambos circuitos acceso por los dos lados (de entrada y salida) del conmutador.

Esto se consigue haciendo común (conectando entre sí) los circuitos 1 y A, 2 y B, 3 y C, 4 y D, 5 y E; como se ilustra en la figura 1.55, la cual por su simplicidad, solo muestra una de las capas.

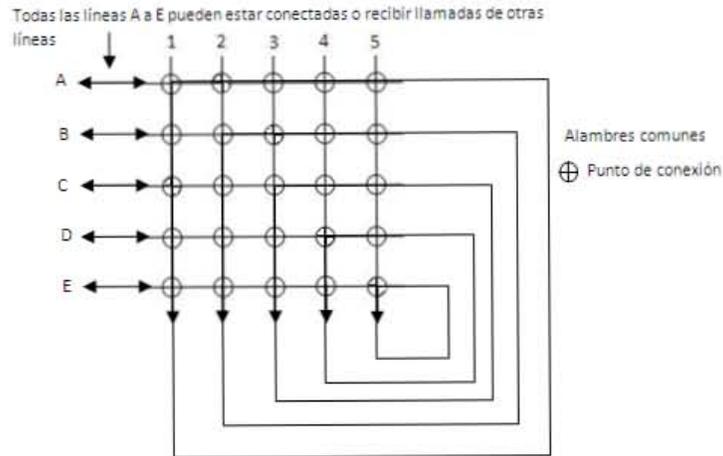


Figura 1.55 Matriz de puntos de conexión de abonados

En la figura 1.55, cualesquiera de los abonados A a E puede hacer llamadas o recibir de cualesquiera de los otros cuatro abonados. El número máximo de llamadas simultaneas posibles es ahora de solo 2 en comparación con las cinco posibles de la matriz anterior. Esto se debe a que dos llamadas son suficientes para ocupar 4 de las 5 líneas disponibles.

La matriz de la figura 1.55 serviría para una central pequeña con unos cuantos abonados, como por ejemplo un PBX o una central local pequeña de la red telefónica pública. La central de la figura anterior es un sistema de accesibilidad completa y sin bloqueo. Lo primero significa que cualquier línea se puede conectar con cualquier otra, en tanto que lo segundo significa que ella a través de la matriz de conmutación independientemente de las conexiones que ya estén establecidas.

Consideremos primero la forma de conectar el sistema aislado de la figura anterior, con otros sistemas similares con el objeto de obtener acceso más amplio a otras centrales locales o a centrales troncales e internacionales.

La figura 1.56 muestra como se realiza esto, en esta se ve con algunos circuitos, que se denominan troncales de entrada o de salida (o enlaces), conectan a la central con otras centrales de la red. Tales circuitos intercentral permiten hacer conexiones con abonados de otras centrales.

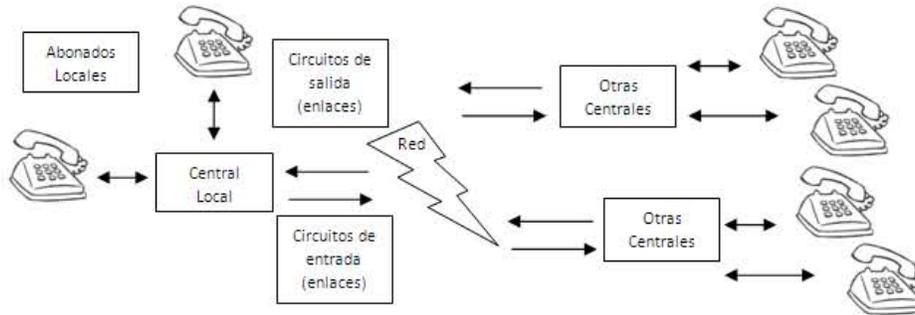


Figura 1.56 Circuitos troncales de entrada y salida

Las redes que se construyen asegurando que cada central tenga, por lo menos, algunos circuitos de enlace directos hacia otras centrales. Sin embargo, las centrales no necesitan estar completamente interconectadas; las conexiones también se pueden hacer entre centrales remotas mediante el empleo de rutas de tránsito (también llamadas tándem) vía terceras centrales, como se ilustra en la figura 1.57

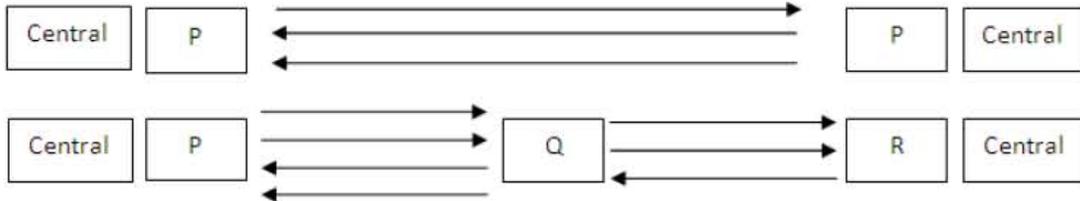


Figura 1.57 Central Tándem o Troncal

Los circuitos de enlace siempre se suministran en gran número. Esto significa que si un circuito en particular entre dos centrales ya está ocupado, se puede utilizar en su lugar, alguno de los muchos circuitos alternos igualmente disponibles (que interconectan a las mismas centrales). La figura 1.57 muestra cuatro circuitos troncales que interconectan a las centrales P y Q; dos para el tráfico de entrada y dos para el tráfico de salida, la consecuencia es cuando el circuito 1 que parte de la central P hacia la central Q ya está ocupado, el circuito 2 se puede emplear para establecer otra llamada. Solo cuando los circuitos están ocupados, las llamadas no se podrán establecer (fracasan) y los abonados llamantes reciben tono de ocupado.

Cada una de las centrales que se muestra en las dos figuras anteriores, deben tener sus conexiones internas y externas configuradas como en la figura 1.58.

Esta figura 1.58 muestra la forma de conectar las líneas de abonado a ambos lados de entrada y salida de la matriz de conmutación, y también la forma de conectar los enlaces unidireccionales (de una sola dirección de tráfico) de entrada y salida.

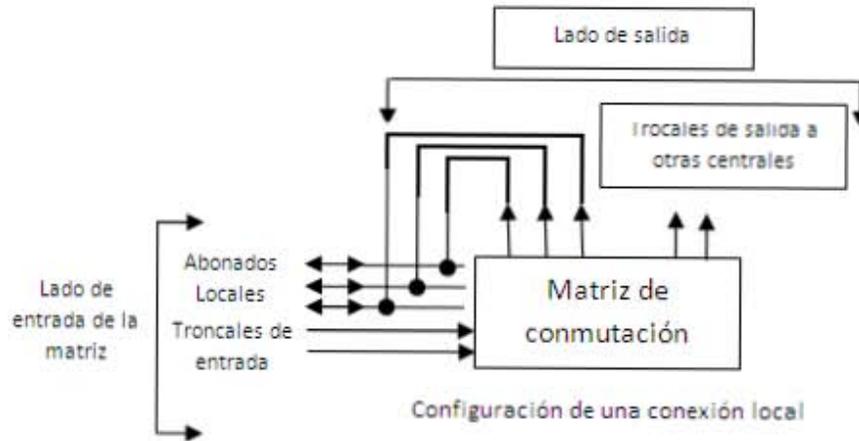


Figura 1.58 Configuración de una conexión local

Los enlaces de la figura 1.58 se pueden diseñar para que sean bidireccionales. En este caso, como las líneas de abonado que se ilustran en la figura central local sencilla necesitaran tener acceso a ambos lados de entrada y de salida de la matriz de conmutación. Bajo ciertas circunstancias, esto significa que reducir el número de llamadas que el conmutador puede aceptar en cualquier momento.

### Conmutación Digital

Las matrices de conmutación que se han estudiado anteriormente, se utilizan para instrumentar la técnica conocida como conmutación espacial. Un conmutador espacial conecta y desconecta contactos físicos mediante el empleo de una matriz pc. Cuando una conexión se establece a través de un conmutador espacial, existe una trayectoria eléctrica permanente durante todo el tiempo de la llamada. En la conmutación digital no ocurre así.

Los conmutadores digitales no son simples matrices espaciales sino presentan arquitectura de conmutación tiempo-espacio-tiempo (TET).

La necesidad de conmutación temporal así como de la conmutación espacial se debe a que los sistemas de línea que se conectan en la periferia del conmutador no son circuitos individuales; normalmente son sistemas digitales de línea, ya sea de 2Mbit/s (32 canales) o de 1.5Mbit/s (24 canales).

Un sistema digital transporta 24 o 32 canales de forma multiplexada, lo que significa que el tren total de bits que transporta el sistema ha sido creado intercalando muestras de 8 bits de cada uno de los constitutivos.

Así el tren de bits de entrada a una central digital tiene la forma de la figura 1.59 Los primeros 8 bits forman el canal 0, o ranura de tiempo 0 (RT0); los siguientes 8 bits son el canal 1, o RT1; y así hasta el canal 23 o el canal 31, según se trate.

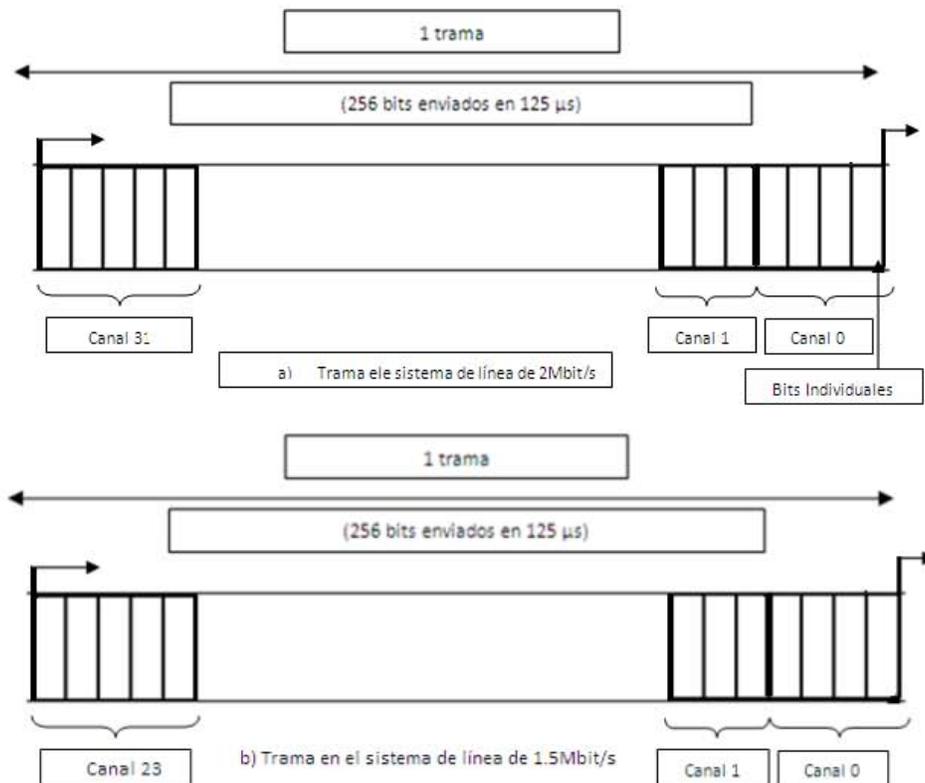


Figura 1.59 Estructura de trama de línea.

La figura 1.59 muestra la estructura de la trama del sistema de línea 2Mbit/s, y muestra la estructura de la trama del sistema de línea de 1.5Mbit/s.

Nos resulta adecuado conmutar especialmente los sistemas digitales de línea, pues eso tendría el efecto de conmutar todos los 24 (ó 32) canales individuales sobre el mismo sistema de línea de salida.

En lugar de esto, se necesita poder conectar cualquier canal (RT) de un sistema digital de línea de entrada sobre cualquier canal de cualquiera de los demás sistemas de línea digitales que se conectan a la misma central. Para hacer esto, se necesita capacidad de conmutación en tiempo para transferir canales entre ranuras de tiempo y de capacidad de conmutación en espacio para hacer posible la selección de diferentes sistemas de línea físicos de salida.

La figura siguiente 1.60 ilustra un conmutador digital que emplea la arquitectura tiempo-espacio-tiempo para conmutar las RT de tres sistemas de línea digitales de 2Mbits/s. A la izquierda del diagrama se muestran las RT de entrada. En el lado derecho, se muestran las correspondientes RT de salida (o de trasmisión) de los mismos tres sistemas digitales de línea de 2Mbit/s. Debe recordarse que cualquier sistema de trasmisión de 4 hilos, incluyendo todos los sistemas digitales de línea, contiene el equivalente de dos pares de hilos, un par de dirección de trasmisión.

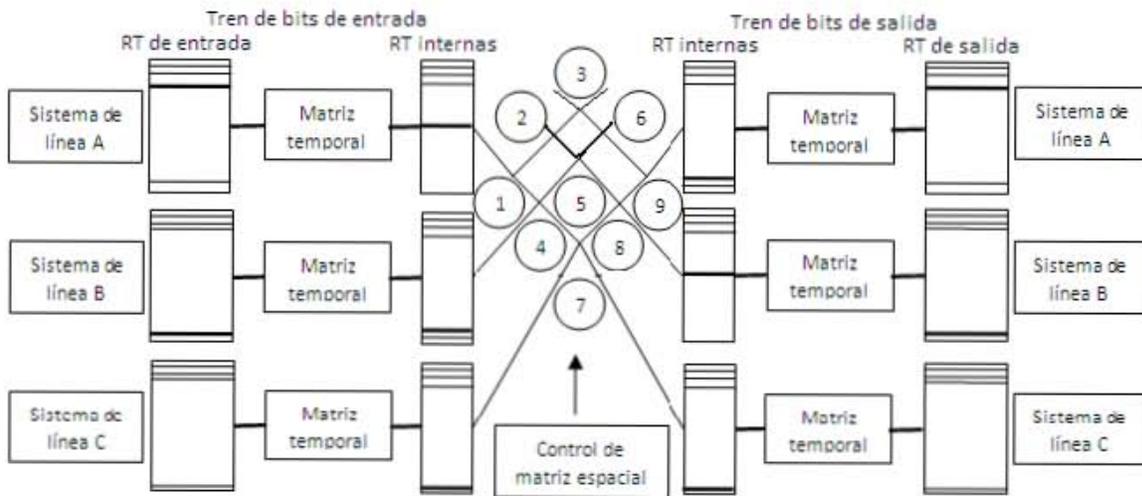


Figura 1.60 Conmutador Tiempo-Espacio-Tiempo

Los pares de línea de entrada (de recepción) se conectan directamente con una etapa temporal (o de matriz temporal), cuyas salidas se conectan con una etapa espacial (matriz espacial). Las salidas de esta etapa se conectan con otra etapa temporal a la cual se conectan los pares de línea de salida.

Consideremos ahora que se desea conmutar la RT2 del sistema A hacia la RT31 del sistema de línea B. La matriz espacial nos permite conectar el sistema A con el sistema B. El punto (2) de la matriz espacial permite que el sistema A se conecte con el par de trasmisión del sistema B, en tanto que el punto (6) se encarga de la otra dirección trasmisión (recibiendo el sistema B y transmitiendo sobre el sistema A).

Pero esto por sí solo no es suficiente, pues significaría que la RT2 del sistema B y no en la RET deseada, la 31, del sistema B. Las dos etapas temporales hacen posible la transferencia de bits entre RT. Una matriz temporal trabaja almacenando el patrón de 8 bits que recibe de una RT de entrada y esperando no más de una trama completa (no más de  $125\mu\text{s}$  para sacar el patrón y alimentarlo en cualquier RT de salida deseada). Por ejemplo, retardando un patrón de 8 bits en  $125/32\mu\text{s}$  moverá el patrón de RT del sistema de  $2\text{Mbit/s}$  a la siguiente, por ejemplo, de la RT2 a la RT3, etc. De igual manera, el retardo de  $2 \times 125/32\mu\text{s}$  transferirá la RT2 a la RT3. Finalmente, el retardo de  $31 \times 125/32\mu\text{s}$  moverá la RT2 a la RT1 de la siguiente trama.

Ahora vemos el porqué de dos etapas temporales en la red de la figura anterior. Para eso, supongamos que no solo queremos conmutar la RT2 de sistema A hacia la RT31 del sistema B, si no también conmutar la RT3 del sistema A hacia la RT31 del sistema C. Así, si solo tuviéramos una matriz temporal (etapa), digamos que conecta con los pares de línea de entrada tendríamos que superponer la RT2 y la RT3 de lado de recepción de la etapa temporal sobre la RT31 antes de conmutar la etapa espacial, para poder pasar a su lado de salida. Para evitar ese problema, la matriz espacial sus propias ranuras de tiempo.

Cuando se solicita una conexión entre ranuras de tiempo de entrada y de salida, el sistema de control del conmutador emprende la búsqueda de RT internas libres en ambos lados, el de transmisión y el de recepción, de la matriz espacial y cuando ha encontrado una RT libre (la 7 en el ejemplo), da comienzo a la conmutación. La RT de entrada, la dos del sistema A, se conmuta en tiempo hacia la RT interna 7. Después, cuando aparece la RT7, el contacto (2) de la matriz espacial se activa momentáneamente y transfiere el contenido de la RT hacia el par de transmisión del sistema B. Mientras tanto la configuración de la matriz espacial está siendo modificada por el control del sistema cada  $125\mu\text{s}$ . Esto es necesario ya que todas las RT de entrada del sistema A se van a conectar con el mismo sistema de salida (B en este caso). La matriz espacial debe estar lista para enviar cada RT de entrada de un solo sistema hacia varias RT de hasta 32 sistemas de salida.

Al mismo tiempo, RT23 interna (la RT antifase de la RT7, es decir, la  $RT7 \pm 16$  ranuras de tiempo) se está empleando junto con el contacto (6) de la matriz espacial para enviar el patrón de bits de entrada sobre la RT31 del sistema B hacia la RT2 sobre el par de transmisión del sistema A.

La RT antifase es la RT que esta media trama después de la primera RT interna asignada. Mediante el empleo siempre de la RT antifase, se garantiza que la trayectoria de retorno nunca sufra congestión interna de RT, y además se le ahorra al control el trabajo de buscar una segunda RT interna libre. El mismo método de conmutación TET se puede emplear con cualquiera de ambos sistemas, el de  $1.5\text{Mbit/s}$  y el de  $2\text{Mbit/s}$ . En la práctica, los conmutadores temporales raramente se diseñan para operar a velocidades tan bajas, más bien trabajan simultáneamente sobre cierta cantidad de sistemas de línea que se han previamente multiplexado. Así, en lugar de operar a  $1.5\text{Mbit/s}$  o  $2\text{Mbit/s}$  (tasas de 24 a 32 canales), los conmutadores se diseñan para operar a la tasa de 512 canales o aun mayor.

### **Necesidad de la existencia de centrales.**

Uno de los motivos de la existencia de las centrales telefónicas, es el de ahorrar en el número de conexiones que se deben efectuar desde los aparatos telefónicos, o aparatos de abonado.

Si el número de aparatos fuera N, el número de conexiones sería:  $C = N(N - 1)$

La central telefónica es el punto donde se reúnen las conexiones de todos los aparatos telefónicos de una determinada área, que se denomina “área local” o “área central”. La central que efectúa únicamente la misión de conectar abonados entre sí, se denomina central local. En ella reside la inteligencia necesaria para encaminar correctamente la llamada desde su origen (abonado llamante), hasta su destino (abonado llamado).

Al conjunto de los elementos necesarios para unir una central local con sus abonados, se denomina “red de abonados” o “red local” de la central.

### **Necesidad de la jerarquización de las centrales.**

Es necesaria la existencia de una central, de rango superior a la local, de mayor categoría, que conecte entre sí las centrales locales. Esta central se denomina central primaria. El área primaria se define como el conjunto de áreas locales, correspondientes a las centrales locales, que dependen de la misma central primaria. Cada central local depende de una y sólo una central primaria. Sin embargo, de una central primaria dependen varias locales.

La misión principal de la central primaria es la de conectar centrales locales entre sí, cursando llamadas de tránsito, es decir, llamadas correspondientes a abonados que le son ajenas. Las centrales primarias pueden tener sus propios abonados. La unión entre una central local y la central primaria de que depende se denomina sección primaria y está compuesta por un conjunto de circuitos individuales de nominados enlaces. Cada enlace entre centrales, es capaz, en un momento dado, de ser soporte de una comunicación.

Las centrales primarias deben poder interconectarse entre sí.

También es necesaria la existencia de una central de mayor categoría, que conecte entre sí las centrales primarias. Esta central se denomina central secundaria.

El área secundaria es el conjunto de áreas primarias, correspondientes a las centrales primarias que dependen de la misma central secundaria. Cada central primaria depende de una y sólo una central secundaria. Sin embargo, de una central secundaria, dependen varias primarias. La función de la central secundaria es la de conectar centrales primarias entre sí, cursando llamadas de tránsito. Las centrales secundarias no tienen abonados propios.

La unión entre una central primaria y la secundaria de la que depende se denomina sección secundaria, compuesta por un conjunto de enlaces.

También es necesaria la presencia de una central terciaria o nodal. El área terciaria es el conjunto de áreas secundarias correspondientes a las centrales secundarias que dependen de la misma central terciaria. Cada central secundaria depende de una y sólo una central terciaria. Sin embargo, de una central terciaria dependen varias secundarias.

La función de la central terciaria es la de conectar centrales secundarias entre sí, cursando llamadas de tránsito. Ninguna central terciaria tiene abonados propios.

La unión entre una central secundaria y la terciaria de la que depende, se denomina sección terciaria, compuesta por un conjunto de enlaces. Las uniones entre centrales terciarias, se denominan secciones cuaternarias o grandes rutas nacionales.

### **Red Jerárquica y Red Complementaria.**

Red jerárquica. Secciones finales y ruta final.

Una Red Jerárquica es el conjunto de estaciones de abonado y centrales automáticas unidas entre sí, de manera que cada una de ellas depende de una y de sólo una de categoría inmediatamente superior, estando las centrales de máxima categoría unidas entre sí.

Si queremos comunicar a 2 abonados a través de la red jerárquica, el camino para hacerlo es único y se denomina ruta final. La longitud de la ruta final depende de la "distancia" a que están situados los abonados en la red jerárquica.

Red complementaria. Secciones directas. Centrales Tándem.

La Red Complementaria se superpone y conecta a la Red Jerárquica. Se compone de secciones directas y centrales tándem. Una sección directa es un conjunto de enlaces, que une dos centrales, las cuales, desde el punto de vista de la Red Jerárquica, no les correspondería estar directamente unidas. El encaminamiento a través de secciones directas es más corto que el encaminamiento a través de secciones finales.

Están permitidas las secciones directas entre:

- De central local a central local.
- De central primaria a central primaria.
- De central secundaria a central secundaria.
- De central local a central primaria, de la que no dependerá jerárquicamente.
- De central primaria a central secundaria, de la que no depende jerárquicamente.
- De central secundaria a central nodal, de la que no depende jerárquicamente.

En las áreas urbanas muy complejas, existen Centrales tándem, que son centrales de tránsito (es decir sin abonados), a las que se conectan otras centrales, pero sin pertenecer, las centrales tándem, a la Red Jerárquica. Hay central tándem urbana e interurbana.

### **Categoría de las centrales. Unicentrales y Multicentrales.**

La red rural se organiza en base a unas áreas primarias denominadas Sectores. El sector es un área primaria rural, cuya cabecera es una central primaria denominada central de sector (CS), aunque también puede serlo una central primaria denominada central de tránsito sectorial (CTS).

A la central primaria, cabecera del sector, se conectan las centrales locales que atiendan a los abonados situados en las poblaciones más pequeñas. Dichas centrales locales se denominan centrales terminales (CT). La misión principal de la central primaria cabecera del sector es cursar las llamadas en tránsito de o desde las centrales terminales.

Si el tráfico no es excesivo, y la central primaria cabecera del sector puede ocuparse de ejercer de central local para dichos abonados, a la central se la denomina central de sector (CS). Si el número de llamadas es excesivo, la central primaria cabecera del sector sólo puede ocuparse de ejercer su función como primaria, su función de tránsito. En este caso, se denomina central de tránsito sectorial (CTS). Para atender a los abonados de la población más importante del sector, será necesario que se sitúe una central terminal (CT).

Todas las centrales de sector y centrales de tránsito de una provincia se conectan, por red jerárquica, a la central secundaria de la provincia, que es una central automática interurbana (CAI).

En definitiva, definimos los tipos de centrales como:

- Central de Sector (CS) Central primaria de la que dependen centrales locales (terminales) situadas en poblaciones distintas. Ejercen funciones de central local para los abonados de su población.
- Central de tránsito sectorial (CTS) Central primaria, de la que dependen centrales locales (terminales), situadas en la misma o distintas poblaciones. No se conectan abonados directamente a ella.
- Central terminal (CT) Central local que efectúa la conexión entre abonados de una o varias poblaciones, generalmente pequeñas. Depende de una central primaria (CS o CTS) situada en una población distinta.
- Central de subsector Central terminal a la que se capacita para realizar tránsitos entre otras centrales terminales cuando con ello se consigue un ahorro importante de circuitos. Su categoría es la de central primaria.
- Central de sector principal Central a la que se capacita para realizar tránsitos entre otras centrales de sector, cuando con ello se consigue un ahorro importante de circuitos. Su categoría es la de central primaria.

Existen muchas poblaciones que sólo disponen de una central telefónica. El área de servicio de dicha central se conoce como área unicentral.

Si en una población, el número de abonados es suficientemente grande, se hará necesaria la existencia de varias centrales locales. Dichas centrales se denominan centrales urbanas y, aunque su categoría en la red jerárquica es la misma que la de las centrales terminales, el número de sus abonados es mucho mayor. Dependen de una central con función de primaria situada en la misma población.

Como norma, siempre que el número de las centrales urbanas de una población no sea excesivamente alto, todas las centrales se interconectarán con todas las demás de su área urbana. Esta norma, da lugar a dos estructuras diferentes. Aquellas poblaciones con más de una central, que no sean Toluca o Puebla, adoptan la estructura Red Urbana Multicentral Simple. En las áreas urbanas de Toluca y Puebla, la estructura que adoptan se denomina Red Urbana Multicentral Compuesta. Esta red consta de dos zonas: Zona Interior y Zona Exterior.

En definitiva, definimos los tipos de centrales anteriores, de la manera siguiente:

- Central urbana Central local, de mayor capacidad que la central terminal, que realiza la conexión de abonados pertenecientes a la misma población, y que depende de una central, con función de primaria, pero cuya categoría puede ser secundaria, situada en la misma área urbana. Si no depende de centrales tándem urbanas se llama ordinaria. En caso contrario, se llama no ordinaria.
- Central tándem urbana Central primaria, de la que dependen exclusivamente centrales urbanas de la zona exterior de un área urbana multicentral compuesta.
- Central tándem interurbana Central de tránsito, que realiza, simultáneamente las funciones de central tándem urbana para determinadas centrales urbanas del mismo área metropolitana, de central de sector para determinadas centrales terminales situadas fuera del área metropolitana y/o de central automática fuera del área metropolitana. Su categoría es de central primaria.

### **Conmutación Telefónica, equipos de conmutación automática.**

Las centrales telefónicas o centrales de conmutación son las encargadas de proporcionar las funciones para poder realizar una llamada, de las cuales, las más importante es la de “conexión” o “conmutación” de los abonados llamante y llamado.

El componente principal de una central de conmutación es el “equipo de conmutación”, compuesto por una serie de órganos automáticos y de circuitos.

### **Abonados y enlaces.**

Al equipo de conmutación de una central telefónica se conectan: Abonados y Circuitos de unión con otras centrales telefónicas (enlaces). Por un enlace concreto y en un instante determinado, solamente puede cursarse una comunicación.

Los enlaces que pueden establecer comunicaciones en ambas direcciones se denominan enlaces bidireccionales. Un enlace bidireccional puede establecer comunicaciones en direcciones contrarias, pero nunca simultáneamente.

Los enlaces que están especializados en cursar comunicaciones que se establecen en una determinada dirección, y sólo en esa, se denominan enlaces unidireccionales.

### **Tipos de llamadas.**

Los distintos tipos de llamadas que pueden existir son los siguientes:

- Si un abonado de la central llama a un abonado que también es de la central, el equipo ha de efectuar la conexión de ambos abonados. Esta llamada se denomina “llamada local”.
- Si un abonado de la central, llama a un abonado que no es de la central, el equipo de conmutación ha de efectuar la conexión entre dichos abonados y uno cualquiera de los enlaces de salida libres que encaminan la llamada hacia la central donde se conecta el abonado llamado, ya sea directamente, ya sea a través de otras centrales intermedias. Esta llamada se denomina “llamada saliente”.
- Si un abonado que no es de la central, llama a un abonado de la central, el equipo de conmutación ha de efectuar la conexión entre el enlace de llegada por el que se presenta la llamada en la central y el abonado llamado. Esta llamada se denomina “llamada entrante” o “llamada de llegada”.
- Una llamada entre dos abonados, que no pertenecen a la central, pero que hace tránsito en la central. La llamada se presenta por un enlace de llegada y la misión del equipo de conmutación es efectuar la conexión entre dicho enlace de llegada y uno cualquiera de los enlaces de salida libres que encaminen la llamada hacia la central donde se conecta el abonado llamado. Esta llamada se denomina “llamada de tránsito”.

Sobre estos 4 tipos de llamadas hay que decir lo siguiente:

- No todos los tipos de centrales han de cursar los 4 tipos diferentes de llamadas. En rigor, son muy pocas las que lo hacen.

### **Red de conexión y unidad de control**

El conjunto de órganos y circuitos que forman el equipo de conmutación se divide en dos partes: red de conexión y unidad de control. La red de conexión comprende el conjunto de órganos y circuitos, que constituyen el soporte físico de la comunicación. Por lo tanto, es a la red de conexión de la central, donde se conectan las líneas de abonado y los enlaces.

Se denomina “camino de conversación” al camino por donde fluirá la conversación entre los abonados. Está definido por un cierto número de “puntos de cruce” de la red de conexión. Cada punto de cruce es una conexión individual.

La unidad de control determina qué puntos de cruce se efectuarán, de acuerdo con:

- La información externa a la central que recibe, fundamentalmente las cifras marcadas.
- La información interna a la central, fundamentalmente información relativa a la ocupación de los puntos de cruce.

En virtud de las informaciones, la unidad de control elabora órdenes hacia los órganos y circuitos de la red de conexión, efectuando y/o deshaciendo puntos de cruce, de lo que determina cuáles son los caminos de conversación para cada llamada.

Puesto que los órganos de la unidad de control son los que deben tomar decisiones inteligentes, son más complejos y sofisticados que los órganos de la red de conexión.

### **Red de conexión, red analógica y red digital**

Etapas de la red de conexión.

La red de conexión está constituida por un número muy elevado de circuitos. En una red de conexión puede haber hasta tres tipos de etapas: Concentración, Distribución y Expansión.

La etapa de concentración se caracteriza por tener a su entrada un número de circuitos ( $N_e$ ) mayor que el número de circuitos a su salida ( $N_s$ ). La etapa de distribución, o etapa de grupo, tiene a su entrada un número de circuitos ( $N'e$ ) igual al de su salida ( $N's$ ). La etapa de expansión tiene a su entrada un número de circuitos ( $N''e$ ) menor que a su salida ( $N''s$ ).

Cada abonado dispone de un equipo individual, único y exclusivo para él, denominado equipo de línea (EL), capaz de detectar el descolgado. El equipo de línea se conecta a la entrada de la etapa de concentración.

### **Red analógica y Red digital. Red espacial y Red temporal.**

Atendiendo al tipo de señal eléctrica que conmuta, las redes de conexión se dividen en Analógicas y Digitales. Una red de conexión analógica conmuta señales analógicas, y una red de conexión digital conmuta señales digitales. Una señal analógica es aquella que puede variar de forma continua, es decir, tomando un número ilimitado de valores distintos, y una señal digital es aquella que sólo puede tomar un cierto número de valores, es decir, varía de una forma discreta.

La señal digital más utilizada es la señal digital binaria que sólo puede tomar dos valores, denominados "0" lógico y "1" lógico.

Atendiendo al tipo de conmutación efectuado, las redes de conexión se dividen en Espaciales, temporales y Espacio temporales. Las redes de conexión espaciales realizan las "conmutaciones espaciales". Las redes de conexión temporales realizan las "conmutaciones temporales". Las redes espacio-temporales realizan las "conmutaciones espacio temporales" o bien una combinación de "conmutaciones espaciales" y "conmutaciones temporales".

Los Sistemas de Conmutación utilizados en Telefonía, tienen redes de conexión divididas en dos grandes grupos:

- Redes de conexión analógica espacial Conmutan señales analógicas mediante conmutaciones espaciales.
- Redes de conexión digital espacio-temporal Conmutan señales digitales mediante conmutaciones espacio-temporales, o mediante una combinación de conmutaciones espaciales y conmutaciones temporales.

### **Redes de conexión analógica espacial.**

Por un mismo camino físico de la red de conexión, sólo puede establecerse una única comunicación. Ya que si dos comunicaciones se establecieran por el mismo camino físico, se sumarían las dos señales analógicas correspondientes. Lo que diferencia a una comunicación de otra distinta en el interior de una red de este tipo, es el hecho de que discurran por caminos físicos distintos, separados en el espacio. De ahí, que a la red de conexión se la llame analógica-espacial.

### **Redes de conexión digital espacio-temporal.**

Por motivos económicos y por motivos de calidad en las comunicaciones, puede interesar someter a la señal analógica producida por el aparato de abonado, a una modulación analógica-digital. Posteriormente, se conmutará la señal digital así obtenida, en una red de conexión digital.

En la práctica se utilizan redes de conexión que conmutan señales moduladas, según la técnica de modulación por impulsos codificados (MIC). La técnica MIC convierte las señales analógicas de frecuencia vocal en señales numéricas. Comprende las fases de muestreo, cuantificación y codificación, y en el extremo distante, las fases inversas, decodificación y reconstrucción.

La señal MIC, para un caso particular como el sistema MIC europeo, está formado por tramas de 125  $\mu$ s de duración. Cada trama está dividida en 32 intervalos de tiempo, denominados intervalos de tiempo de canal, de aproximadamente 3,9  $\mu$ s cada uno. Cada intervalo de tiempo de canal, está dividido en 8 bits de 488 nanosegundos, resultando una velocidad de transmisión de 2.048.000 bits/segundo.

La señal MIC se suele representar mediante un multiplex MIC de 32 canales (numerados de 0 a 31). De los 32 canales, el canal 0 se reserva para funciones de alineación de trama, y el canal 16 para las funciones de señalización. Los 30 canales restantes, denominados "canales útiles" pueden ser soporte de informaciones vocales, referentes a abonados o a enlaces.

La señal MIC es un tren de bits que transporta información de un modo unidireccional, en una sola dirección.

La red de conexión digital para establecer los caminos de conversación, lo hace, realizando operaciones de conmutación espacial, conmutación temporal, y/o conmutación espacio-temporal.

La conmutación espacial consiste en una transferencia física de un multiplex a otro; se realiza en los "conmutadores espaciales". Dicha transferencia de bits es instantánea, por lo que no implica modificación en el intervalo de tiempo de canal. En las redes de conexión digital, las etapas de conmutación realizadas con conmutadores espaciales, se conocen como etapas espaciales o etapas S.

La conmutación temporal consiste en un almacenamiento del contenido de un canal en una memoria, durante un tiempo menor que el tiempo de una trama; dicho contenido será leído desde la memoria hacia el multiplex MIC saliente, modificando el canal asignado. Las etapas realizadas con conmutadores temporales, se conocen como etapas temporales o etapas T.

La conmutación espacio-temporal es una operación en la que el contenido de un canal de un multiplex MIC entrante, se transfiere a otro canal de un multiplex MIC saliente, escogido entre varios. Las etapas de conmutación realizadas con conmutadores espacio-temporales, se conocen como etapas espacio-temporales o etapas ST.

### **Unidad de control, tipos de control.**

La unidad de control está constituida por un conjunto de circuitos, encargados de recibir informaciones y de producir las órdenes necesarias para el completo encaminamiento de las comunicaciones, mediante el tratamiento de la información recibida, por lo cual puede decirse que tales circuitos se caracterizan por un cierto grado de inteligencia. El control recibe la información, la procesa o interpreta y ordena lo necesario para que, a través de la red de conexión, se realice la conmutación.

Siendo muy compleja la función de control, normalmente se confía a órganos muy especializados, de modo que no es un solo órgano sino normalmente varios los que realizan la tarea. En los sistemas digitales el órgano de control es un procesador, o un conjunto de procesadores.

Existen algunos sistemas de conmutación en los que la unidad de control es digital (un procesador) y la red de conexión es analógica electromecánica; tales sistemas se denominan semielectrónicos.

### **Control en los sistemas analógicos: Progresivo y común.**

En los sistemas de conmutación analógicos, o convencionales, existen dos tipos de control:

- **Control progresivo** Consiste en que el establecimiento de la comunicación a través de la red de conexión de la central, se realiza sin saber en cada etapa, si la siguiente etapa de conmutación tendrá salidas libres en la dirección deseada. Por tanto, la llamada “progresiva” paso a paso por cada una de las etapas de conmutación, sin saber lo que sucederá en la etapa siguiente y la probabilidad de congestión es relativamente alta comparada con otros tipos de control.
- **Control común** En cada etapa de conmutación se encamina la llamada por una salida libre en la dirección deseada pero, además, investiga si dicha salida libre encamina hacia sucesivas etapas que tengan, a su vez, salidas libres en la dirección deseada. Al menos, se investiga la etapa siguiente a la etapa en la que se está realizando la selección. Con el empleo de control común la probabilidad de que la llamada fracase por congestión, se hace menor, que en el caso de control progresivo.

### **Control en los sistemas digitales. Control SPC centralizado y control SPC distribuido.**

En los sistemas digitales, la unidad de control es electrónica y está materializada por uno o varios procesadores. En teoría, el control electrónico puede hacerse de 3 maneras:

- Control por lógica cableada.
- Control por programa cableado.
- Control por programa almacenado (Control SPC).

El control por lógica cableada consiste en sustituir los dispositivos electromecánicos utilizados en las unidades de control de los sistemas analógicos, por componentes electrónicos pero realizando las mismas funciones. Tiene la desventaja de su rigidez de funcionamiento al no disponer de programas modificables.

El control por programa cableado, utiliza un programa para su funcionamiento. El programa es fijo y este tipo de control tiene la desventaja de su rigidez y ningún sistema de conmutación lo utiliza.

En el control por programa almacenado, control SPC, el funcionamiento de la unidad de control obedece a las instrucciones de los programas almacenados en las memorias de la central, con la importantísima particularidad de que tales instrucciones son fácilmente modificables por otros programas. Hay dos tipos de Control SPC:

- **Control SPC centralizado** Si un procesador tiene acceso directo a todos los recursos de la central y ejecuta todas las funciones de la misma. Normalmente esto implica que la central dispone de un único ordenador central (duplicado por seguridad). Es el que se realiza cuando un procesador dado tiene acceso directo a todos los recursos de la central y ejecuta todas las funciones de la misma. Normalmente esto implica que la central dispone de un único ordenador central, duplicado por seguridad. Este control se denomina también control SPC común.
- **Control SPC distribuido** Si un procesador, en un estado dado, no tiene acceso más que a una parte de los recursos y/o no es capaz de ejecutar más que una parte de las funciones del sistema. En la práctica esto lleva, en el sistema digital existente, a que exista un elevado número de microprocesadores que llevan, en su conjunto, el control de la central. En este caso, un procesador en un estado dado no tiene acceso más que a una parte de los recursos y/o no es capaz de ejecutar más que una parte de las funciones del sistema. En la práctica esto lleva, en el sistema digital existente, a que exista un elevado número de microprocesadores que llevan, en su conjunto, el control de la central.

Comunes a los equipos analógicos y digitales:

- **Interconexión** Consiste en la capacidad del sistema de conmutación, a través de su red de conexión, para suministrar vías de comunicación entre abonados de una central dada, también entre estos abonados y cada uno de los enlaces que la unen con otras centrales y, también, entre los enlaces.
- **Control** Esta función la realizan un conjunto de órganos y circuitos, que pueden ser electromecánicos o electrónicos, que almacenan y procesan la información recibida en la central y controlan la red de conexión, estableciendo y liberando las conexiones y, por tanto, estableciendo y liberando los distintos caminos de conversación.
- **Supervisión** Esta función puede considerarse desde dos puntos de vista. Por una parte, el equipo de conmutación ha de someter a supervisión continua las líneas de abonado y enlaces, por los que pueda presentarse una llamada. Por otra parte, el equipo de conmutación ha de supervisar los caminos de conversación que ya están establecidos a través de su red de conexión.
- **Señalización con los terminales de abonado** En las centrales con abonados, es preciso que el sistema de conmutación intercambie un conjunto de señales con el abonado, que permita acciones como:
  - Detectar que un abonado desea establecer una llamada.
  - Avisar al terminal de abonado.
  - Recibir información de selección para establecer una conexión.

Señalización con otras centrales Esta señalización debe permitir acciones como:

Detectar la toma de un enlace de llegada por la central distinta. Es decir, detectar una llamada entrante o en tránsito.

Provocar la toma de un enlace de llegada de la central distante, desde un enlace de salida de la propia central.

Recibir información de selección para establecer una conexión.

Transmitir información de selección para que la central distante establezca una conexión.

**Almacenamiento y análisis de la información recibida** La información de selección, recibida por una línea de abonado o enlace de llegada, debe ser almacenada en elementos de memoria. Estos elementos de memoria, pertenecen a la unidad de control y pueden ser de naturaleza electromecánica o electrónica. En algunos sistemas se somete a la información recibida a un proceso de traducción o codificación.

- **Selección y conexión** Se entiende por selección, el proceso de buscar un camino libre entre los muchos posibles que pueden unir eléctricamente a los extremos y elegir uno de ellos. La función de conexión permite operar los puntos de cruce individuales que constituyen el camino de conversación seleccionado.
- **Explotación y mantenimiento.**

En los sistemas digitales.

- **Sincronización** La función de sincronización consiste en conseguir que todas las centrales digitales de la red trabajen en una señal de reloj básica idéntica, o lo más parecida posible en frecuencia y fase. Las centrales digitales disponen de relojes internos, referencias externas y procedimientos de selección de unos u otros en función de la situación de la red.
- **Temporización** Han de generarse una gran variedad de señales de tiempos de referencia, derivadas de la señal de reloj básica, que permitirán el funcionamiento armonizado de todo el sistema de conmutación.
- **Conmutación de paquetes** Cuando se desea realizar una Red Digital de Servicios Integrados, es preciso que la central de conmutación admita la conexión de terminales de datos.

#### **Clasificación de los sistemas automáticos de conmutación.**

Según la tecnología: Atendiendo a la tecnología empleada en la red de conexión y en la unidad de control, los sistemas de conmutación se clasifican de la siguiente manera:

- a) **Sistemas electromecánicos (Red de conexión y unidad de control electromecánicas)**
  - 7A1
  - 7A2
  - 7B
  - 7D
  - Pentaconta 1000 (P-1000)
  - Pentaconta 32 (Pc-32)
  - ARD
  - ARM
- b) **Sistemas semielectrónicos (Red de conexión electromecánica y unidad de control electrónica)**
  - Pentaconta 2000 (P-2000)
  - ARE
  - METACONTA
- c) **Sistemas electrónicos (Red de conexión y unidad de control electrónicas)**
  - AXE
  - 5ESS
  - 1240

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

### Clasificación general.

- **Sistemas rotatorios o sistemas Rotary:** Utilizaban para su funcionamiento exclusivamente señales de corriente continua y tecnología electromecánica. Tales sistemas son : 7A1, 7A2, 7B y 7D.
- **Sistemas de barras cruzadas convencionales o sistemas crossbar convencionales :** Utilizan red de mallas, con el uso de órganos denominados multiconmutadores (o multiselectores). Su control es común, con un órgano fundamental, el registrados, y un órgano característico, que es el marcador. La red de conexión es analógica espacial, de tecnología electromecánica; el control es también electromecánico. Tales sistemas son : Pentaconta 1000, Pentaconta 32, ARF y ARM.
- **Sistemas semielectrónicos :** La unidad de control de las centrales se ha diseñado con circuitos electrónicos, mientras que la red de conexión, sigue siendo una red de mallas, es decir, electromecánica de barras cruzadas. En estos sistemas el control es SPC centralizado, y se denominan Pentaconta 2000, ARS y Metaconta.
- **Sistemas electrónicos digitales :** Utilizan la red de conexión digital espacio-temporal con modulación MIC, control SPC y son totalmente electrónicos. Estos sistemas se denominan AXE, 5ESS y 1240.

### Conceptos Básicos de una central telefónica.

**CONMUTACIÓN:** La inteligencia de la red está concentrada en el equipo de conmutación, formado por un conjunto de órganos y circuitos, electromecánicos o electrónicos. Cada versión particular del equipo, es un sistema de conmutación.

**ENLACE:** Circuito individual de unión entre centrales capaz de cursar simultáneamente una y sólo una comunicación. Puede ser bidireccional o unidireccional.

**TIPOS DE LLAMADA:** Local (abonado a abonado), saliente (abonado a enlace), entrante (de enlace a abonado), de tránsito (de enlace a enlace).

**EQUIPO DE CONMUTACIÓN:** Red de conexión + unidad de control. La red de conexión es el soporte físico de la comunicación. La unidad de control determina caminos por la red de conexión y tiene menor número de órganos, pero más complejos, que la red de conexión.

**ETAPAS EN LA RED DE CONEXIÓN:** Concentración (más entradas que salidas), distribución (igual número de entradas y salidas), expansión (más salidas que entradas). Cuando las etapas de concentración y expansión coinciden, estamos en una red replegada.

**RED ANALÓGICA:** Conmuta señales analógicas en baja frecuencia (sin modular). Efectúa conmutación espacial (por un mismo camino físico sólo una comunicación), que es instantánea. En la práctica se realiza siempre con tecnología electromecánica.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

**RED DIGITAL:** Se utiliza la modulación MIC. Las entradas y salidas de la red son tramas con sus canales correspondientes. Puede precisarse de conmutaciones espaciales (en etapa S) y conmutaciones temporales (en etapa T). Las conmutaciones temporales introducen un retardo. Siempre se realiza con tecnología electrónica.

**UNIDAD DE CONTROL:** Compuesta por órganos complejos y especializados en las distintas funciones.

**CONTROL EN LOS SISTEMAS ANALÓGICOS:** Control progresivo Por sucesivas etapas ignorantes de las etapas posteriores. Aumenta la probabilidad de congestión. Se utiliza el indirecto en los sistemas Rotary. Órgano fundamental es el registrador. Control común Se investigan las etapas ulteriores, reduciendo la probabilidad de congestión. Se utiliza en los sistemas crossbar. Órgano fundamental el registrador y órgano característico el marcador.

**CONTROL EN LOS SISTEMAS DIGITALES:** Control por lógica cableada Ni siquiera hay ordenador. No se utiliza. Control por programa cableado Programa rígido. No se usa. Control por programa almacenado (Control SPC) Programas flexibles y modificables por programa. Puede ser centralizado (1 ordenador duplicado) o distribuido (conjunto de microprocesadores). Es el utilizado en la práctica.

**FUNCIONES BÁSICAS COMUNES A LOS SISTEMAS ANALÓGICOS Y DIGITALES:** Interconexión, Control, Supervisión, Señalización con terminales de abonados, Señalización con otras centrales, Almacenamiento de la información recibida, Selección y conexión y Explotación y mantenimiento.

**FUNCIONES BÁSICAS DE LOS SISTEMAS DIGITALES:** Sincronización, Temporización y Conmutación de paquetes.

### CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONMUTACIÓN; tabla 1.5

CLASE	RED DE CONEXIÓN	TIPO DE CONTROL	TECNOLOGÍA	SISTEMAS
Rotatorios	Analógica - espacial progresiva	Progresivo indirecto	Electromecánica	7A1, 7A2, 7B, 7D
Crossbar convencionales	Analógica - espacial, de mallas	Común ARM	Electromecánica	P-1000, PC-32, ARF
Semielectrónicos	Analógica - espacial, de mallas	SPC centralizado	Semielectrónica	P-2000, ARE, METACONTA
Electrónicos digitales	Digitales espacio - temporales con modulación MIC. T-S-T (AXE y 5ESS). Varias etapas ST (1240)	SPC semidistribuido (AXE y 5ESS9 SPC distribuido (1240)	Electrónica	AXE 5ESS 1240

Tabla 1.5 Clasificación de los sistemas de conmutación

### **SERVICIOS BÁSICOS SUPLEMENTARIOS.**

Los servicios suplementarios son los servicios de telecomunicación que modifican o complementan estos. Estos servicios no pueden proporcionarse por si solos, sino en unión de un servicio básico.

Tipos más significativos.

**AVISO: (despertador local):** Con este servicio hacemos que se nos efectúe una llamada a nuestro número de teléfono a la hora que anteriormente hallamos programado.

**MARCACIÓN MULTIFRECUENCIA:** Este servicio permite que el aparato telefónico señalice con la central enviando unas frecuencias en un código establecido para cada dígito (código 2 entre 5), de tal forma que cada tecla que pulsamos, ponemos en la línea 2 frecuencias que serán interpretadas debidamente en la central.

**INDICACIÓN DE LLAMADA EN ESPERA:** El abonado que tenga este servicio activado recibirá, cuando se encuentre en conversación y una tercera persona intenta comunicar con él, un tono especial (tono de indicación de llamada en espera) que le avisará de esta circunstancia. En este momento, se podrá optar por ignorar esa llamada, o bien retener al abonado con quien se encontraba comunicado y establecer comunicación con la llamada que le acaba de entrar.

**CONSULTA Y CONFERENCIA A TRES:** Este servicio permite que teniendo una comunicación establecida, retenerla y establecer otra con un tercero (llamada de consulta). Una vez hecha esta selección y mediante códigos adecuados en su teléfono podrá o bien hablar con uno de sus corresponsales (reteniendo al otro), o establecer comunicación simultánea entre los tres corresponsales (conferencia a tres).

**DESVÍO DE LLAMADA:** Cuando se tenga activado este servicio, las llamadas dirigidas a su teléfono serán desviadas hacia otro previamente definido.

**LÍNEA DIRECTA SIN MARCACIÓN:** Este servicio permite establecer comunicaciones con un número N (local, nacional o internacional), programado previamente, sin más que descolgar el microteléfono y dejar transcurrir un pequeño intervalo de tiempo (7 segundos). Si durante esos siete segundos se realiza cualquier otra operación no se hace efectiva la "marcación directa".

**DESPERTADOR AUTOMÁTICO:** Este servicio le permite programar en su teléfono una llamada de aviso para una hora determinada. De esta manera, puede utilizarse el equipo como despertador o como un medio para recordar una hora precisa.

**SALTO:** Con este servicio se tiene la posibilidad de agrupar un número de líneas “X” de tal forma que marcando o llamando a uno de estos números de abonado que se creará como “cabecera” de ese grupo, permitirá que en caso de encontrarse ocupado este, el sistema de conmutación haga pasar automáticamente la llamada al siguiente abonado del grupo, produciéndose el mismo efecto en caso de ocupado. Así sucesivamente explotará todo el grupo y si todos estos abonados están ocupados, es cuando nos contestará con esa señal. En resumen la llamada busca la primera línea de abonado que esté libre dentro de ese grupo.

**LÍNEA DIRECTA TEMPORAL:** le permite establecer la comunicación con un número telefónico predeterminado, pasados 5 segundos después de haber descolgado el manófono. Si desea comunicar con cualquier otro número debe marcarlo antes de los 5 segundos.

**TELECOMPUTO:** El abonado que tiene instalado este servicio y por medio de un circuito auxiliar instalado en casa del abonado, tiene la posibilidad de contabilizar las llamadas que se efectúen desde dicha línea.

**CANDADO ELECTRÓNICO:** Este servicio evita que desde su teléfono se realicen llamadas de larga distancia, por discado directo o por operadora, sin su consentimiento, pues le ofrece la posibilidad de restringir las llamadas salientes mediante el uso de un código personal de cuatro dígitos seleccionado por el propio abonado. De esta forma el usuario tiene un control exacto de las llamadas originadas desde su línea.

**IDENTIFICADOR DE LLAMADA:** Conozca el número de quién le llama. Este servicio permite identificar en su equipo telefónico el número de la persona que lo llama y también conocer las llamadas recibidas en su ausencia. Para disfrutar del servicio, el abonado debe tener un teléfono con pantalla o conectar a su línea telefónica el dispositivo para este uso, que le posibilite visualizar la información del número de quién llama, la fecha y hora de la llamada.

**DESVÍO DE LLAMADA SI OCUPADO:** Este servicio permite que todas las llamadas que se dirijan a un teléfono, cuando éste se encuentre ocupado, sean desviadas a otro número que se haya programado en el momento de la activación.

**INTERCOMUNICADOR LOCAL:** Permite al abonado con esta facilidad, efectuar una llamada sobre su propia línea, con el fin de establecer una comunicación entre su aparato telefónico y otro conectado en la misma línea.

**CONFERENCIA TRIPARTITA:** Permite entablar una conversación telefónica directa entre tres personas simultáneamente o de forma indistinta con cada una de ellas.

## 10.- Digitalización de la red telefónica. Enlaces; R.D.S.I.

### Introducción

Las redes telefónicas fueron construidas inicialmente en todo el mundo mediante tecnologías de características analógicas; fundamentalmente debido a que la voz es un fenómeno típicamente analógico y, además, por que las técnicas digitales no se pudieron aplicar hasta que se fue consolidando el uso de los elementos activos de estado sólido. El transistor primero, los circuitos integrados luego, finalmente, los chips con distintos grados de integración, además fue necesario que estos elementos fueran capaces de gestionar los bits a velocidades verdaderamente interesantes que justificaran el cambio y la inversión que significa la digitalización de las redes.

La tarea que hoy ocupa a los administradores de la red telefónica es el proceso de digitalización total de la red; proceso que se desarrolla siguiendo determinados pasos ordenados en todas las empresas que prestan este servicio.

La digitalización de la red tiene numerosas ventajas, tanto en el orden económico como en el tecnológico. Además, ha cambiado el concepto original por el que había sido construida la red, de ser una red preparada para transportar la voz, se ha pasado a una red con condiciones para transportar solamente bits, cualquiera que sea la naturaleza de la información.

De todas maneras, actualmente existe en todo el mundo la tendencia hacia la digitalización total de esta red. Dicha digitalización se está realizando a ritmos diferentes, dependiendo de la necesidad existente en muchos países de amortizar los equipamientos analógicos existentes.

Tras el desarrollo de los primeros transistores la digitalización se extiende a las diferentes partes de la red telefónica. En primer lugar se aplicó a la transmisión en enlaces de larga distancia, lo que fue normalizado por la ITU-T mediante una jerarquía de multiplexión digital conocida como PDH o Jerarquía Digital Plesiócrona (JDP), que permite utilizar en un mismo medio de transmisión miles de canales telefónicos separándolos en el tiempo. Con los sistemas de transmisión digitales era preciso realizar un proceso de conversión A/D en cada etapa de transmisión. Además el mantenimiento y ampliación de las centrales electromecánicas era costoso, lo que, junto al desarrollo de los transistores y circuitos integrados, propició la aparición de las primeras centrales de conmutación digitales, conocidas como SPC. Dichas centrales permitían un gran número de servicios que necesitan de una señalización compleja, que, necesariamente debía ser digital. Todo esto dio lugar a la aparición de varias redes superpuestas: una red de transporte digital de gran velocidad sobre la que se establecen los enlaces que unen los nodos de conmutación, señalización, y gestión de red. Además, existirá una red superpuesta que permite ofrecer una base de tiempos común a todos los elementos: la red de sincronización. Como resultado se llega a la red digital integrada (R.D.I.), cuya única parte analógica se sitúa en el bucle de abonado y en el aparato telefónico. Esta ha sido la última parte en digitalizarse, dando lugar a la red digital de servicios integrados o R.D.S.I.

**Digitalización de la Red de transmisión: Multiplexión por División en el Tiempo (TDM).**

Los primeros sistemas de transmisión digital para redes de telefonía aparecen en 1963, y permiten la multiplexión de varios circuitos de voz digitalizada con PCM para su transmisión digital en enlaces de larga distancia. Estos sistemas de transmisión fueron sustituyendo de forma progresiva a los analógicos basados en multiplexión por división en frecuencia, que continuaron en servicio hasta los años 80.

La multiplexión por división en el tiempo (TDM) divide el tiempo de transmisión en intervalos (time slot) que son asignados a los distintos canales de entrada según una ley fija en el tiempo, lo que permite recuperar los canales de entrada en el receptor. El régimen binario a la salida deberá ser igual a la suma del de los canales de entrada y estará formado por bits correspondientes a las entradas con una cierta estructura que se repite en el tiempo, denominada trama. La asignación de los slot a los canales de entrada puede ser ponderada de modo que algunos transmitan más información que otros. En función de cuántos bits se toman de cada canal de entrada podremos distinguir entrelazado de bit o de palabras, si se toma un bit de cada canal de entrada o un conjunto de bits (palabra). Como se muestra en la imagen siguiente 1.61:

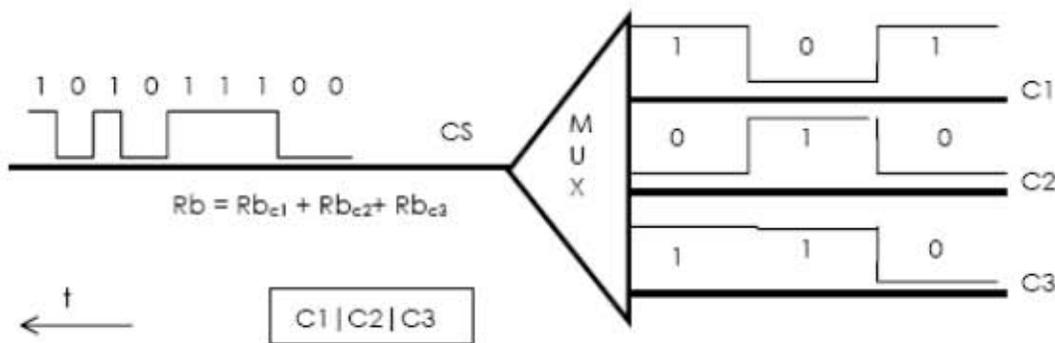


Figura 1.61 Multiplexión por división en el tiempo (TDM)

Al igual que en el caso analógico, la ITU-T estableció una jerarquía con diferentes grados de multiplexión, denominada jerarquía digital plesiócrona (o cuasisíncrona), donde los equipos multiplexores de cada nivel utilizaban relojes de alta precisión independientes.

El primer eslabón de la jerarquía digital plesiócrona (o PDH) está formado por un grupo básico o grupo primario, definido en la recomendación G.732 para Europa, que agrupa a 30 canales telefónicos de 64 Kb/s cada uno, dejando 2 canales más de 64 Kb/s en la trama de salida destinados a señalización y sincronismo de trama. La velocidad de transmisión del grupo básico es de 2048 kb/s, y la duración de la trama 125 microsegundos (256 bit por trama).

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

Utiliza entrelazado de palabras de 8 bit. A esta señal multiplexada se le denomina E1, y corresponde con el menor grado en la jerarquía de multiplexión. A partir del E1 utilizaremos entrelazado de bit con cuatro entradas para formar los E2, E3, E4 y E5, que llevarán 120,480, 1920 y 7680 canales de voz respectivamente. Las tramas E2,E3, ... disponen de espacio reservado para la justificación, a fin de acomodar las diferencias entre los relojes que componen las señales de entrada a la trama. Como se muestra en la figura 1.1.62 siguiente:



Trama E1: TS= 8 bit. Velocidad trama 2048Kb/s

Figura 1.62 Trama E1

En Estados Unidos la recomendación utilizada es la G.733, que establece un nivel básico denominado T1 compuesto por 24 canales vocales. Los sucesivos niveles de multiplexión T2,T3 y T4 llevarán 24,96,673 y 2016 canales respectivamente.

Las redes telefónicas de muchos países comenzaron a utilizar sistemas de transmisión digitales para sus enlaces de larga distancia en los años 70. Con el uso masivo de fibra óptica los regímenes binarios en la transmisión se incrementaron notablemente. Surgió una nueva jerarquía de multiplexión digital denominada SDH (Jerarquía Digital Síncrona), que utiliza la misma señal de reloj para cualquier grado de multiplexión. Los equipos SDH necesitan estar sincronizados entre sí, lo que se consigue mediante el uso de una red con enlaces dedicados a llevar la señal de reloj entre los nodos. El nivel de menor velocidad en la jerarquía SDH lo constituye la trama STM-1 de 155 Mbit/s, y permite la incorporación de tributarios plesiócronicos (hasta E3 o T4) dentro del espacio de carga útil, lo que facilita la convivencia de ambas jerarquías. A partir de ahí la velocidad se multiplica por 4 en cada etapa (STM-4, STM-16, STM-32,...).

### Digitalización de los Conmutadores: SPC

En 1965 apareció la primera central de conmutación digital, la Nº 1 ESS (Electronic Switching System), que culmina un proyecto de 10 años de duración surgido a raíz del descubrimiento del transistor a principio de los años 50. Costó 500 M\$, y utilizaba 160.000 diodos y 55.000 transistores. Aunque no era un verdadero conmutador digital, si utilizaba la estructura SPC (Store Program Control), donde un programa dirigía el funcionamiento del conmutador, permitiendo algunas características como marcado rápido o reenvío de llamada que exigían el uso de memoria. No fue hasta principios de los 70 cuando se desarrollaron las primeras grandes centrales totalmente digitales, orientadas a llamadas de tránsito, y que eliminaban la necesidad de conversión analógico/digital para la transmisión. Las centrales digitales no se popularizaron como centrales locales de abonado, con un coste económico razonable, hasta principio de los 80, con equipos como AXE10, o E10, utilizados hoy en día.

Las principales ventajas de las centrales SPC son:

- Flexibilidad (pues el programa de control puede ser actualizado)
- Facilidades para el abonado. Como transferencia de llamada o rellamada automática
- Simplicidad de administración, mantenimiento y gestión de red
- Uso potencial para otros servicios como transmisión de datos

La figura 1.63 es el esquema de una central SPC es el siguiente:

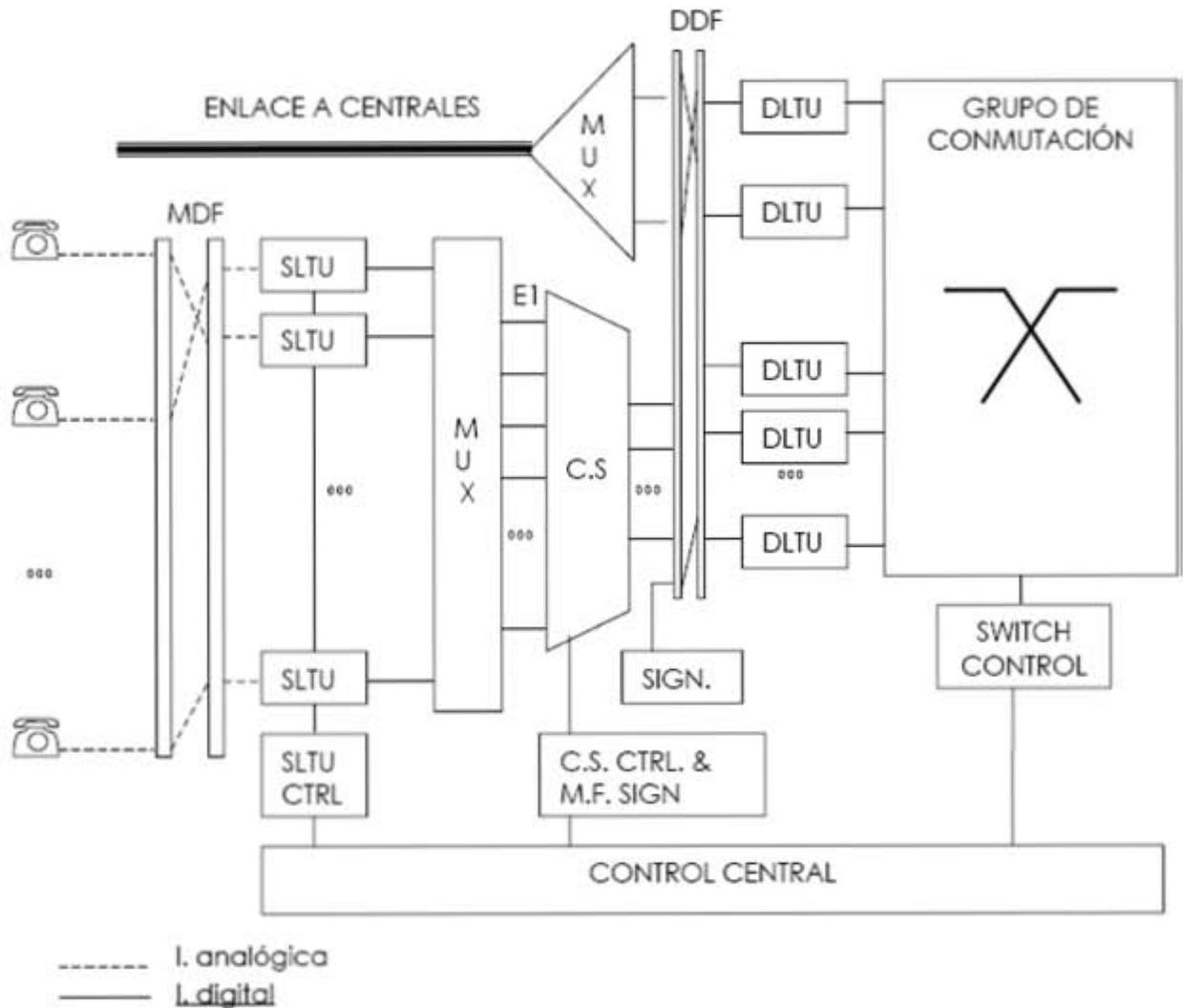


Figura 1.63 Esquema central SPC

Los abonados acceden a través de canalizaciones subterráneas (ductos) al repartidor principal (MDF), que permite la conexión física del bucle de abonado con las unidades de terminación de líneas de abonado (SLTU) de la central.

Las SLTU realizan las funciones de terminación de línea de abonado analógico, como son: alimentación eléctrica del terminal, protección contra picos de tensión, detector de actividad en la línea, extracción de señalización de línea y conversión analógico/digital. Figura 1.64:

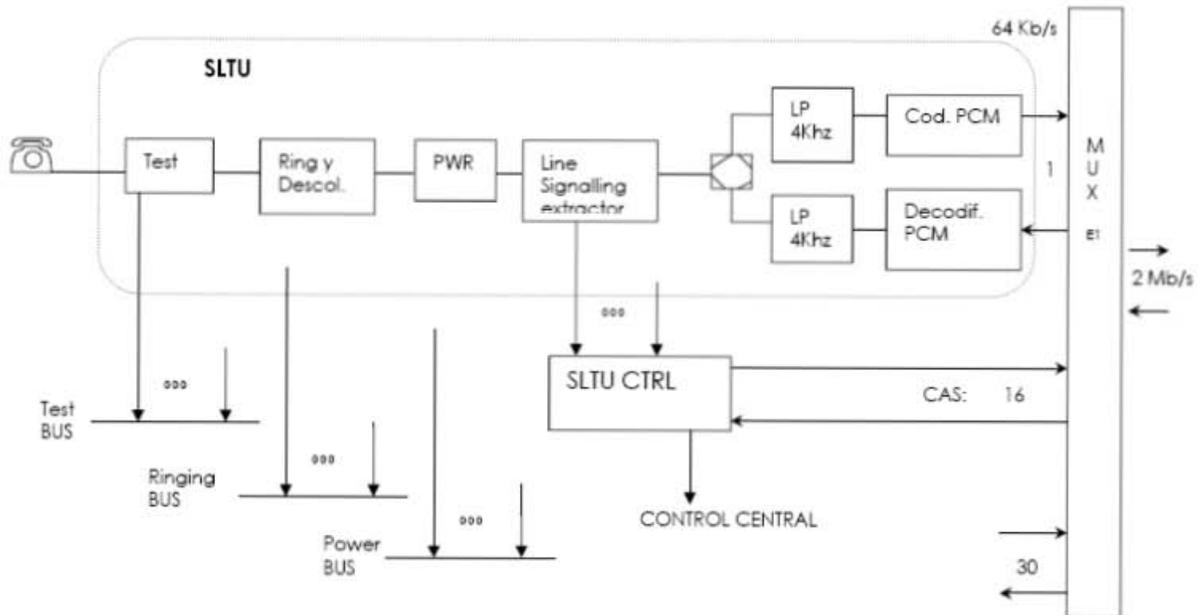


Figura 1.64 Esquema SLU

Las líneas digitales de las SLTU se agrupan en señales E1 de 2Mbps (o T1 de 1.5 Mbps) mediante la etapa de multiplexión (MUX). La señalización para cada una de las líneas se envía a la unidad de control de las SLTU (SLTU CTRL), que se encuentra conectado con la unidad central de control. Los canales agrupados en E1 pasa a una etapa de concentración (C.S.), a cuya salida se montan nuevas tramas E1 con los canales activos. Los equipos que controlan la señalización multifrecuencia se aplican en esta etapa de concentración, lo que evita tener que proveer con tantos sistemas de señalización multifrecuencia (utilizada en la marcación) como abonados tenga la central. Las salidas de la etapa de concentración son llevadas de nuevo a un repartidor (D.D.F) antes de pasarlas al grupo de conmutación principal, lo que permite una mayor flexibilidad (modificaciones en la matriz de conmutación, enlaces punto a punto con otras centrales,...). A este repartidor están conectados los enlaces provenientes de los usuarios internos de la central, los posible usuarios remotos y enlaces de entrada y salida a otras centrales. Como los distintos tipos de señales digitales pueden tener códigos de línea y valores de potencia diferentes, antes de ingresar en la matriz de conmutación se homogeneizan las entradas mediante la unidad de terminación de línea digital (DLTU), que ofrece una interfaz estándar común para todas las terminaciones digitales.

Las principales funciones que realiza son:

Conversión de código de línea a binario, alineación de trama, inserción y terminación de la transmisión (características eléctricas de la señal).

El grupo de conmutación está formado por bloques que contienen matrices  $S$ , que realizan conmutación espacial y matrices  $T$  de conmutación temporal.

- Conmutación espacial: permiten conectar un cierto intervalo de tiempo (time slot) de cualquier canal de entrada con dicho intervalo de tiempo en cualquier canal de salida. Consiste en un conjunto de puntos de cruce que se pueden seleccionar, estableciendo un camino físico entre la entrada y la salida. Como se muestra en la figura siguiente 1.65:

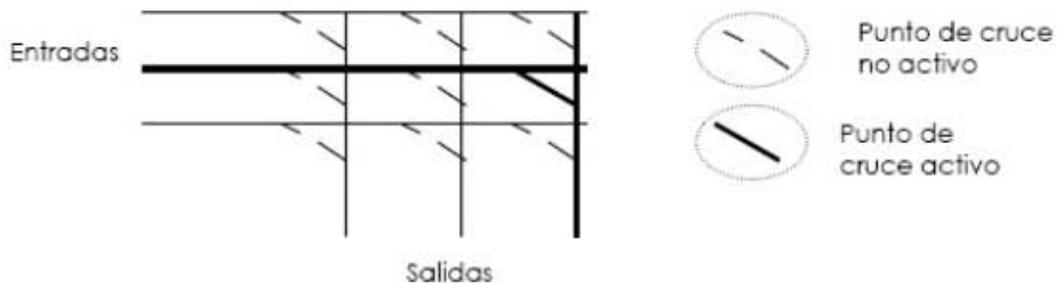


Figura 1.65 Conmutación espacial

- Conmutación temporal: permite intercambiar dos intervalos de tiempo diferentes.

Las operaciones necesarias para la instalación, modificación y reconfiguración de los componentes de una SPC se engloban en un área denominada O&M (Operations and Maintenance). Las funciones de mantenimiento son necesarias para asegurar la disponibilidad del servicio telefónico, y comprenden operaciones como supervisión, detección y recuperación de fallos o mensajes de error y alarmas programadas, aunque existen muchas otras operaciones que englobamos dentro de O&M como provisión de circuitos, tarificación, altas y bajas de abonados. Como se muestra en la figura siguiente 1.66.



Figura 1.66 Conmutación temporal

Todas estas funciones se colocan en un centro de mantenimiento y un centro de operaciones, que necesitan enviar y recibir datos de cada uno de los equipos que componen la red, dando lugar a la existencia de una red de gestión.

### Digitalización de la Señalización: SS7 o CCS 7

Algunas de las señales intercambiadas en el establecimiento de una conexión telefónica figura 1.1.67:

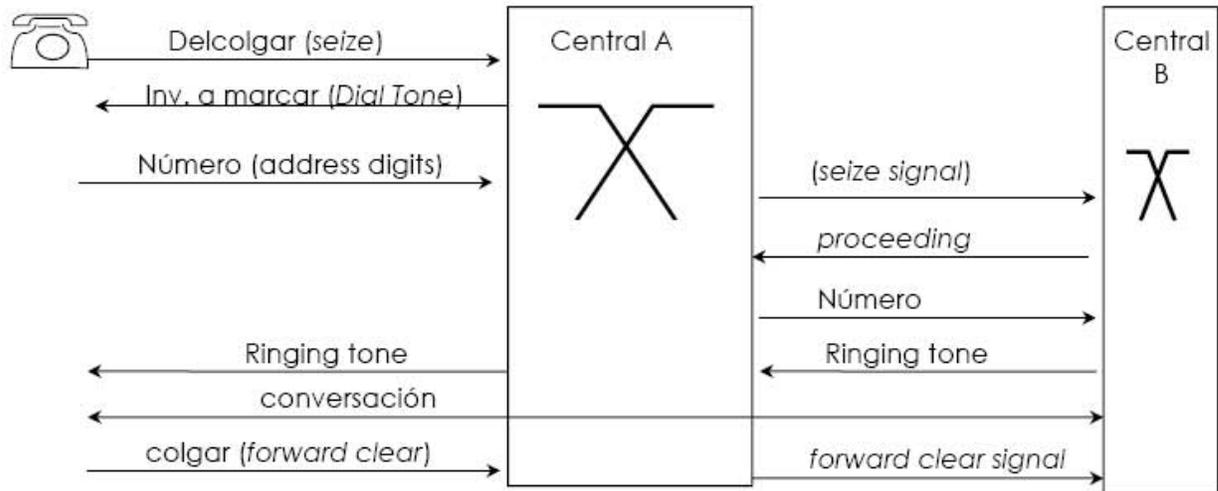


Figura 1.1.67 Establecimiento de una llamada telefónica

Cuando el usuario descuelga el teléfono se cierra el circuito de alimentación, por lo que la central detecta este hecho y comienza el proceso de reserva de recursos comunes (el registrador en el caso de centrales electromecánicas o una zona de memoria en el caso de las SPC), tras la cual se envía el tono de invitación a marcar. El abonado introduce los dígitos (tonos o pulsos), que son analizados por la central para determinar la ruta hacia el destino y establecer un camino hasta él a través de otras centrales.

Al establecer este camino debe, en primer lugar, reservar un enlace entre ambas centrales (seize signal) y luego enviar los dígitos del destino para que la siguiente central pueda establecer la ruta completa. Tras establecer dicha ruta, la central del abonado destino enviará el tono de llamada en progreso (proceeding) hacia el abonado origen y el de llamada entrante al destino (ring). Cuando el destino descuelga ambos equipos comienzan la fase de comunicación, en la que las centrales detectarán la señal de colgar (clear), que harán progresar hasta el otro extremo liberando de esta forma los recursos reservados anteriormente.

La señalización de abonado estará presente en todos los aparatos telefónicos, por lo que debe ser simple para disminuir costes. De esta forma las señales colgar, descuelgar, o pulsos de dígitos consisten en la apertura o cierre de un circuito de corriente continua (algunos utilizan selección Multifrecuencia -MF- para los dígitos).

Podemos distinguir dos grandes categorías de señales: de línea y de selección. La primera se produce entre equipos que monitorizan continuamente parte o todo el tráfico del circuito, como las señales seize y clear. Las señales de selección llevan información relativa al encaminamiento de la llamada, como el número o el tipo de llamada.

La señalización entre centrales utiliza señales basadas en corriente alterna (tonos) dentro del rango de 4kHz. Las señales que se sitúan dentro del rango 300-3400Hz se denominan señales en banda vocal (o simplemente en banda). Los tonos entre 3400 y 4000Hz conforman la señalización fuera de banda. Por ejemplo en la señalización de línea R2 especificada por el CCITT se usaba el tono de 3825Hz en todos los circuitos ociosos, y se retiraba cuando el circuito estaba activo.

La señalización inicialmente sigue el mismo camino que las llamadas, por lo que se habla de señalización por canal asociado, donde los sistemas de señalización dependerán de los equipos de transmisión y conmutación. Con la digitalización iniciada en los años 60 los canales telefónicos se agrupan en tramas E1.

Las señales MF de los dígitos se tratan como parte del canal de voz, el resto de las señales de línea serán separadas en el intervalo de tiempo 16 de la trama E1, que deberá compartirse entre los 30 canales de la trama. En el transcurso de una conversación los bits del TS16 correspondientes a su señalización no se utilizan, por lo que estaremos desperdiciando capacidad de señalización para otros canales, lo que resulta ineficiente.

La señalización seguirá el mismo camino físico que la voz, aunque en otro intervalo de tiempo distinto, lo que impide la independencia de los sistemas de señalización respecto a los de transmisión y conmutación.

Por su naturaleza, la señalización por canal asociado es lenta, tiene un repertorio de señales muy restringido, sólo es aplicable a la telefonía, sólo se puede utilizar señalización durante la llamada, y en algunos casos las señales son audibles.

La señalización por canal común (CCS) no utiliza la conmutación de circuitos para enviar las señales, sino la comunicación basada en mensajes entre los sistemas de control de las centrales SPC. Estos mensajes se envían por circuitos compartidos entre todos los canales y pueden viajar por distinto camino a estos.

Este hecho permite que la señalización entre dos centrales se lleve a cabo mediante canales comunes llamados enlaces de señalización que pueden formar parte de una red dedicada en exclusiva a la señalización.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

Las principales ventajas son: unión rápida entre los procesadores de señalización de las centrales, repertorio más amplio de señales y aplicación a transporte de datos no telefónicos (video, gestión de red, consulta a bases de datos...). Además, pueden enviarse señales aunque los canales no estén activos. Por último cabe resaltar que utilizan la capacidad de señalización de forma más eficiente.

El primer sistema de señalización por canal común utilizado tanto en redes nacionales como internacionales es el sistema CCS 7, desarrollado por el CCITT a mediados de los 80 y que permite un amplio rango de servicios y gestión de red.

Las señales a intercambiar entre dos equipos se introducen en un mensaje con formato definido: dirección origen y destino del mensaje, número de mensaje, campo de datos (donde se introducen las diversas señales digitales) y código de protección ante errores (que permite detectar y en algunos casos corregir errores de transmisión). Los enlaces de señalización llevan los mensajes entre puntos de señalización, cuya identificación es única en la red.

Estos puntos de señalización pueden ser de diversos tipos:

- SSP (Punto de Servicio de Conmutación): Conmutadores que originan, terminan o son un paso intermedio en las llamadas. Envían mensajes de señalización a otros SSP para establecer o liberar conexiones o realizan consultas a una base de datos (SCP) para determinar cómo encaminar una llamada (nº 900's)
- STP: Pueden encaminar la señalización entre dos SSP, asociando un enlace de entrada para señalización a uno de salida, lo que elimina la necesidad de enlaces directos entre dos SSP.

SS7 divide las tareas implicadas en la comunicación en niveles según las capas del modelo OSI. Los tres primeros niveles se denominan MTP (Message Transfer Part) y permiten enviar los mensajes con la señalización entre dos SSP cualesquiera de forma fiable y segura (control y recuperación de errores).

Para establecer y liberar circuitos entre terminales se utilizará la capa ISUP (ISDN User Part) que usará los servicios de la capa MTP a la hora de enviar los mensajes. Dicha capa (ISUP) será utilizada tanto para usuarios RDSI como para usuarios de la red telefónica convencional. Veamos el caso de una llamada RDSI, donde TEA/B representa al equipo terminal de abonado y RedA/B corresponde con dos centrales de conmutación en la red que utilizan SS7.

Entre abonados y central se utilizan las señales de Q.931, y entre ambas centrales, que a su vez son SSP, la señalización SS7. Como se muestra en la figura siguiente 1.68:

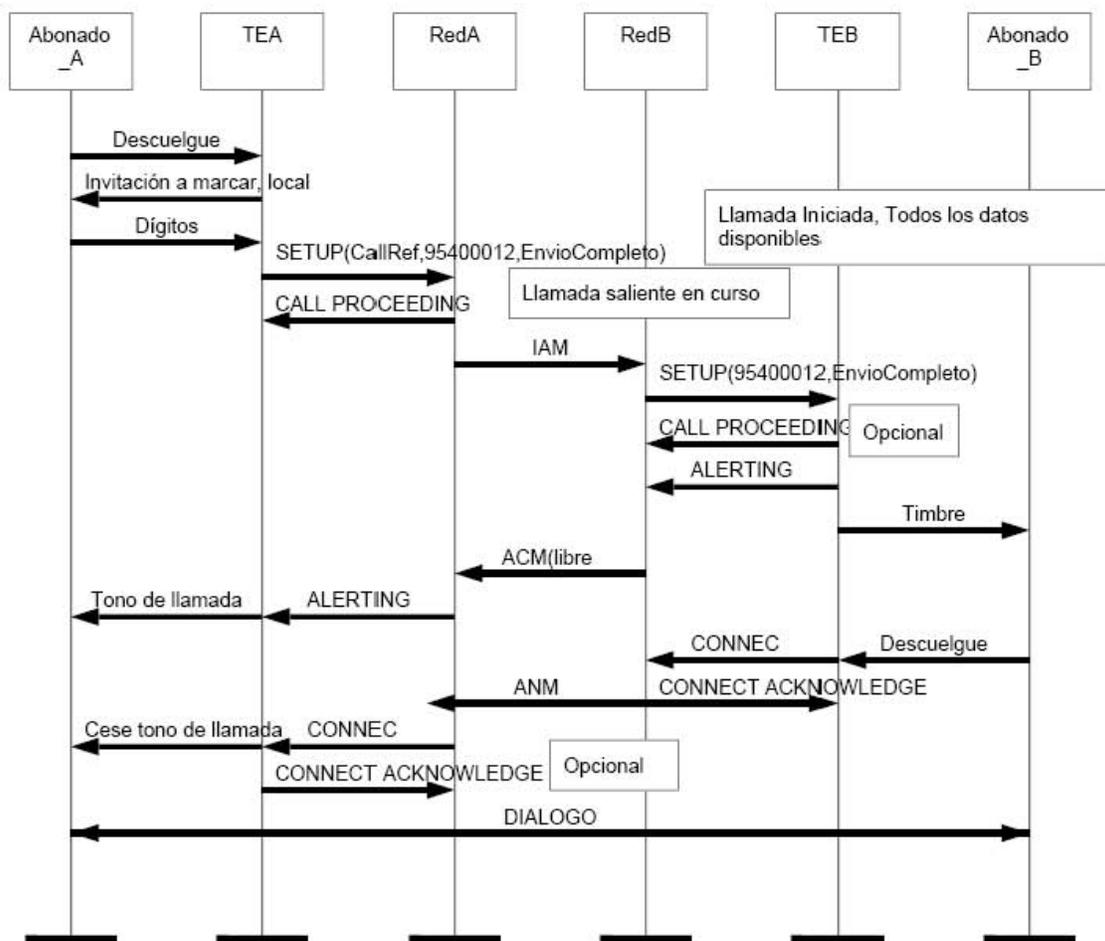


Figura 1.68 Abonados y central, señalización SS7

Cuando se efectúa una llamada el SSP origen transmite un mensaje IAM (Initial Address Message) para reservar un enlace libre entre el conmutador origen y el destino. Este mensaje incluye, entre otros datos, los identificadores de los puntos origen y destino de señalización, los números de teléfono origen y destino y el tipo de llamada. El conmutador destino comprueba si el abonado destino está libre, y en tal caso envía de vuelta un mensaje ACM (Address complete message) al conmutador origen para indicar que el enlace ha sido reservado. Cuando el llamado descuelga el teléfono el conmutador desactiva el timbre y transmite un mensaje ANM (Answer message) para indicar que se ha descolgado.

El conmutador origen verifica que el llamante sigue a la espera y comienza la comunicación (y la tarificación). Cuando el llamante cuelga, su conmutador envía un mensaje REL (Release Message) al conmutador del abonado destino, que será asentido por este mediante un mensaje RLC (Release Complete Message).

## Estructura de la Red Digital Integrada

La Red Digital Integrada (RDI) es una red de conmutación telefónica con todos los sistemas de transmisión y conmutación digitalizados, a excepción del tramo final que conecta al abonado. A continuación se detalla la estructura de las diferentes partes que componen la RDI.

### El bucle de abonado

Permite llevar la señal analógica desde el último nodo de la red hasta un punto denominado PTR (Punto de Terminación de Red), que se sitúa dentro de la vivienda del abonado. Desde la galería de cables de la central, situada a nivel de subsuelo, salen líneas de usuarios agrupadas en cables multipares a través de canalizaciones subterráneas llamadas ductos. Estas canalizaciones intercalan, cada 150 m aproximadamente, distintas cámaras de registro que permiten el acceso al cableado y se encuentran protegidas contra la humedad y el agua.

Desde estas cámaras de registro se realiza la segregación de pares para los diferentes abonados, que salen en cables de menor capacidad finalizados en las cajas terminales (antiguamente instalados en las fachadas de los edificios). La continuidad entre la caja terminal y el domicilio del abonado se garantiza mediante un cable con dos hilos de cobre de  $\frac{1}{2}$  mm de grosor, que finaliza en el punto de terminación de red (PTR). A partir de este punto la instalación depende del abonado, pudiendo conectar un teléfono principal y varios supletorios. Como se muestra en la imagen figura siguiente 1.69:

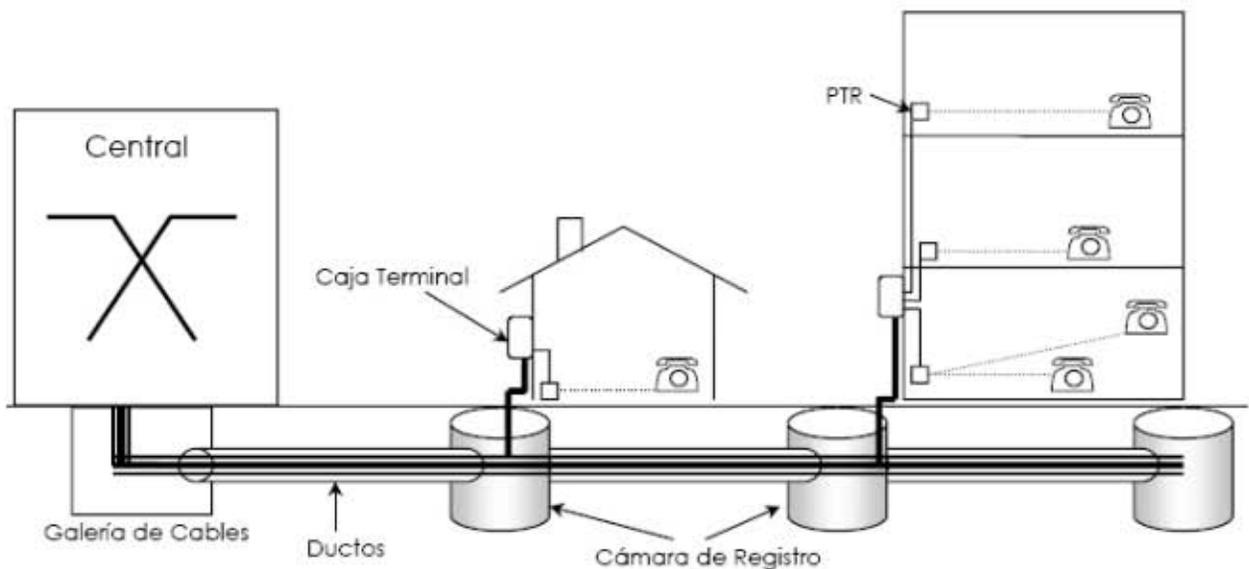


Figura 1.69 El bucle de abonado

### La red de acceso

Está formada por los equipos dónde terminan los bucles de abonado, permitiendo la conexión de éstos con el resto de la red. Está formada por dos tipos diferentes de equipos.

- Centrales Locales digitales (SPC): Descritas en el apartado anterior. Conectan a los abonados con el resto de la red telefónica ofreciendo también su servicio a otros usuarios que acceden a ellas mediante concentradores remotos.

- Concentradores Remotos (RSSU, Remote Subscriber Switching Units): Permiten la conexión de usuarios alejados de la central local digital (SPC) mediante líneas digitales de baja capacidad (normalmente de 2Mb/s o 8 Mb/s). Las RSSU dependen de las SPC en cuanto a señalización y conmutación. Suelen tener un número relativamente pequeño de abonados (entre 400 y 1500) y constan de un distribuidor principal, MDF, que conectan a los abonados con las SLTU. Tras estas, se montan tramas E1 que son transmitidas hacia la central digital (SPC), tras una etapa de concentración opcional, usando la interface V.5.2 ( si no existe etapa de concentración se utiliza la interface V.5.1). En la SPC, dichos enlaces digitales se conectan directamente a la DLTU antes de ingresar en la matriz de conmutación. Como se muestra en la figura 1.70:

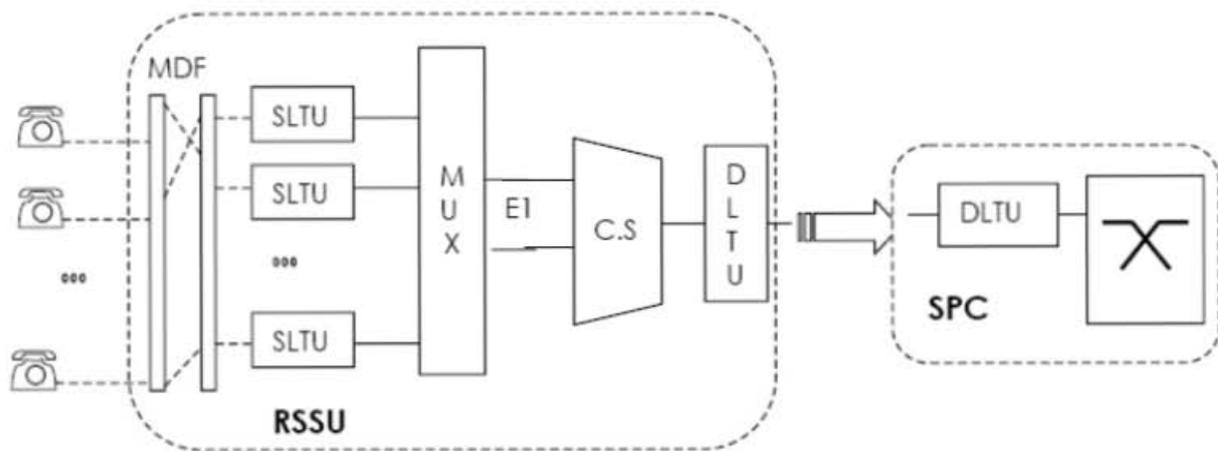


Figura 1.1.72 La red de acceso; Concentradores remotos

Normalmente estos concentradores remotos disponen de una unidad de control remota gobernada por la central SPC, que es quién proporciona conmutación y señalización a la RSSU. Además, en ocasiones pueden disponer de una pequeña matriz de conmutación que en caso de aislamiento de la RSSU facilita el tránsito de llamadas entre usuarios conectados a la misma RSSU.

Desde las centrales locales digitales se accede al núcleo de la red digital integrada mediante interfaces digitales normalizadas. La digitalización de la red de acceso permite disminuir el número de centrales locales necesarias (en relación de una digital por cada 15 analógicas), ya que parte de los usuarios se conectará a las RSSU, permitiendo así una simplificación de la estructura de red de acceso respecto a su equivalente analógico.

Las centrales locales digitales de un mismo municipio permanecen unidas bajo un mallado parcial, lo que permite disponer de redundancia en los enlaces, así como balancear la carga entre distintas rutas en caso de saturación.

### **El núcleo de la red digital integrada**

Antes de la digitalización de las centrales, los abonados siempre se conectaban a centrales locales, que a su vez se conectaban entre sí utilizando centrales primarias, de un orden jerárquico superior, que podían disponer abonados propios. El tráfico de las centrales primarias se interconecta entre sí mediante centrales secundarias, cuya misión es cursar llamadas de tránsito. El último eslabón en la red jerárquica de conmutación lo constituían las centrales terciarias, unas seis en el territorio nacional, que permitían cursar las llamadas de tránsito entre dos centrales secundarias, así como servir de acceso a las redes internacionales.

El núcleo de la red digital integrada está formado por centrales nodales, constituidas por dos centrales en tandem, que se encuentran interconectadas entre sí mediante una malla de enlaces digitales. Estas centrales nodales sustituyen a las centrales secundarias y terciarias en la red analógica.

El tráfico internacional se cursará a través de dichas centrales, estando conectadas cada una a dos centrales internacionales. Las SPC de acceso, que junto con las RSSU sustituyen a las centrales locales y primarias) se encuentran siempre conectadas a dos centrales nodales, lo que incrementa la fiabilidad de la red.

### **Estructuración en varios niveles**

La red digital integrada puede verse como la unión de diversas redes superpuestas:

~ Red de transmisión: Digital en toda la red a excepción del bucle de abonado.

Utiliza multiplexión por división en el tiempo, con un grupo básico formado por 30 canales de voz (E1), aunque existe una jerarquía que permite incrementar el grado de agregación (PDH) hasta 7680 canales (E5). Los enlaces PDH en ocasiones se llevan dentro de tramas STM-n de la jerarquía SDH basada en el uso de fibra óptica, lo que permite incrementar notablemente la velocidad de transmisión.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

~ Red de conmutación: estructurada en dos niveles: acceso, que es la de mayor coste debido a su gran capilaridad, y tránsito, formada por las centrales SPC nodales, carentes de abonados y con gran nivel de redundancia (fiabilidad: parada de 2 horas en 40 años). Para la comunicación entre centrales se utiliza la red de transmisión.

~ Red de Sincronismo: permite a los relojes de las centrales ajustarse a una fuente de referencia (reloj atómico de cesio) que va repartiendo la señal de reloj mediante una red jerárquica a todos los nodos.

~ Red de Señalización: utiliza los enlaces de la red de transmisión para el intercambio de información entre puntos de señalización. En la red digital integrada se utiliza la señalización por canal común SS7 entre los distintos nodos de señalización.

~ Red de Gestión: Permite planificar, organizar, supervisar y controlar los elementos de comunicaciones a fin de garantizar un nivel de servicio. Se puede aplicar a diversos ámbitos: gestión de fallos, configuración, prestaciones, contabilidad y seguridad. En telefonía se emplea el modelo de Gestión de Red conocido como TMN, que se apoya en una red de comunicación de datos de gestión que utiliza a su vez los enlaces proporcionados por la red de transmisión.

~ Red Inteligente: Diseñada para el despliegue rápido de nuevos servicios en la red telefónica (ejemplo, nº 900), permite encaminamientos flexibles según origen y hora, así como distribución de llamadas.

Tiene como requisito fundamental no modificar la base instalada y puede utilizar enlaces de señalización SS7 para la comunicación entre sus elementos. Sin embargo, todas estas redes utilizan los mismos canales físicos de transmisión digital de la red, conformando así distintos niveles sobre una red de transmisión digital, donde la única parte analógica de la red es el bucle de abonado.

Esto se muestra en la siguiente imagen 1.71 de redes superpuestas:

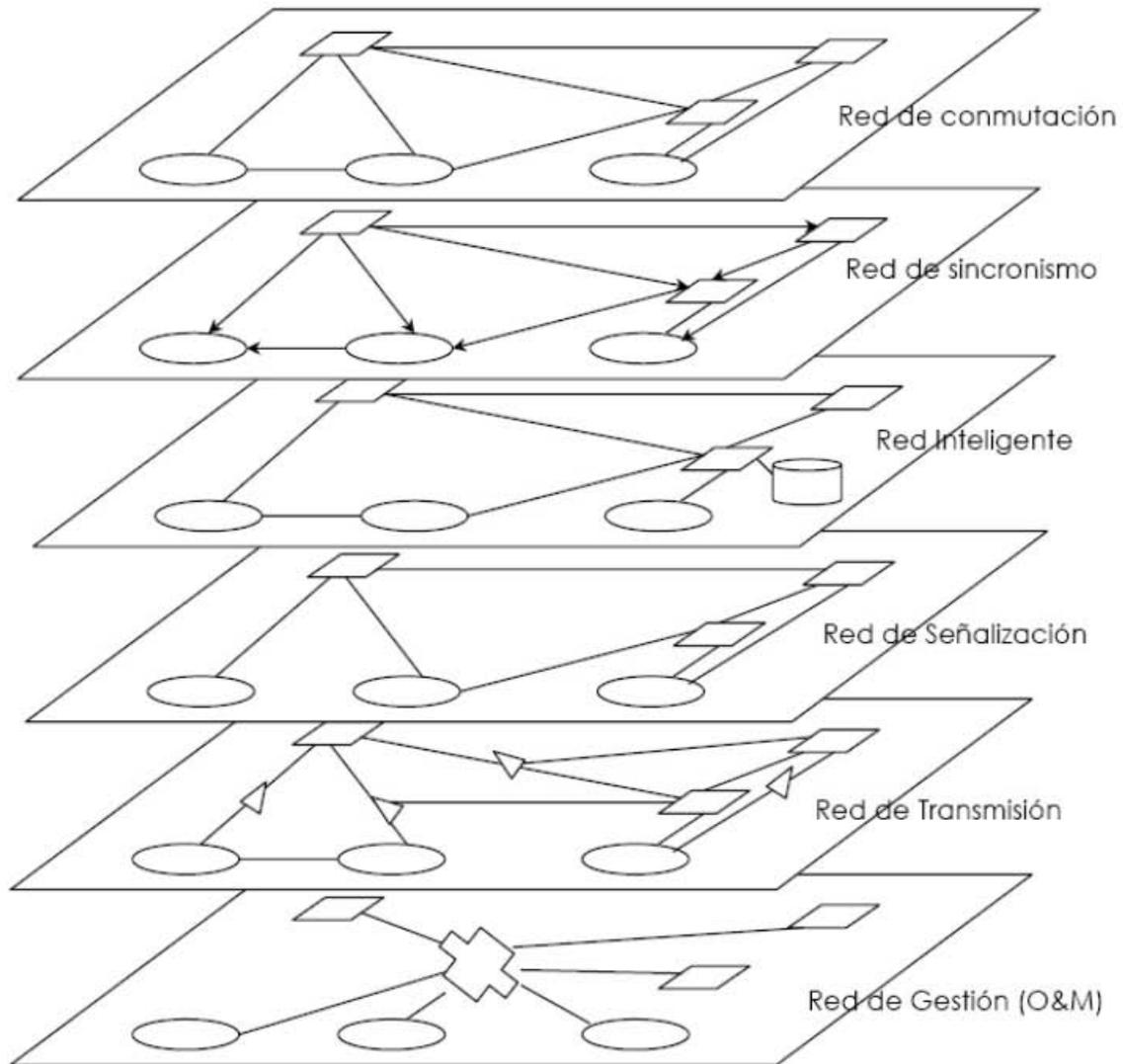


Figura 1.71 Esquema de redes superpuestas

La digitalización del bucle de abonado: RDSI

La Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), pretende ofrecer a los usuarios una amplia cantidad de servicios portadores (capacidad de transmisión y conmutación digital) y servicios finales, utilizando para ello un punto de acceso a la red común, formado por la central local y la línea de abonado. La digitalización del bucle de abonado comenzó en 1985 y continúa aún en nuestros días debido a que el coste que debe pagar el usuario para acceder a RDSI es percibido, en muchos casos, como innecesario.

### **Estructura de transmisión**

Está formada por la vía digital existente entre el usuario y la red, y en ella distinguimos tres conceptos:

a) forma en que se canaliza o reparte dicho régimen binario mediante multiplexión por división en el tiempo: En RDSI se distinguen tres tipos de canales full duplex para la comunicación usuario red:

1. Canales B (Bearer, Portador): de 64 Kb/s de capacidad para el envío de voz digitalizada o de datos.

2. Canal D (Data), que puede ser de 16 o 64 Kb/s, utilizado fundamentalmente para el envío de señalización y adicionalmente y con menor prioridad se puede utilizar para el envío de paquetes a baja velocidad.

3. Canal H: Permite ofrecer al usuario velocidades de transporte por encima de 64 Kb/s. Hay tres tipos: H0 de 384 Kbps, H11 de 1536 Kbps y H12 de 1920 Kb/s, que equivalen a 6,24 y 30 canales B respectivamente.

b) agrupación de canales que se ofrece al usuario final: Las canalizaciones están disponibles a los usuarios en un conjunto de agregados, que podrán ser contratados. Actualmente hay dos definidos:

1. Acceso básico (BRI) que consta de 2 canales B y 1 canal D de 16 Kb/s (total 144 Kb/s). Se ofrece sobre el mismo bucle de abonado de la red telefónica conmutada.

2. Acceso primario (PRI) que consta de canales B y H hasta completar 1920 Kb/s (ejemplo: 30B, o 5Ho, ...) y un canal D de 64 Kbps. Está orientado a oficina y centralitas. Normalmente necesita fibra óptica o cable coaxial hasta el abonado.

c) régimen binario existente entre el usuario y la red: que puede ser de dos tipos:

192 Kb/s full duplex para el acceso básico y algo más de 2Mb/s full duplex para el primario. Este régimen binario no puede ser utilizado entero por el usuario, ya que parte está destinado para tareas como alineamiento de trama, sincronismo, control de errores de transmisión, y otras sobrecargas.

### Arquitectura y plan de numeración de RDSI.

En la definición de RDSI se contemplaron diferentes tareas a realizar, que se agrupan en diversos grupos funcionales, estableciéndose a su vez distintos puntos de referencia como frontera o interfaz entre ellos.

Los grupos funcionales son:

a) Terminación de Red tipo 1 (NT1): Realiza funciones asociadas a la interfaz física (mecánica y eléctrica) del bucle de abonado en la RDSI, estableciendo la frontera entre éste y la instalación propietaria del abonado. Permite la conexión de varios equipos a la vez (topología en bus), por lo que incorpora mecanismos de control de acceso al canal común de señalización D.

b) Terminación de Red tipo 2 (NT2): Dispositivo inteligente que realiza las funciones de concentración y conmutación locales a la instalación del abonado.

Ejemplo: centralitas o encaminadores en las redes de área local.

c) Equipo Terminal tipo 1 (TE1): Dispositivo digital que soporta la interfaz estándar RDSI. Ejemplo: teléfono RDSI o computadora con tarjeta RDSI.

d) Equipo Terminal tipo 2 (TE2): Dispositivo que no soporta la interfaz estándar RDSI

e) Adaptador de Terminal (TA): Transforma los equipos TE2 en TE1

Los puntos de referencia R,S, y T representan la frontera entre los diferentes grupos funcionales y pueden estar ausentes en una instalación. Como se muestra en la figura 1.72:

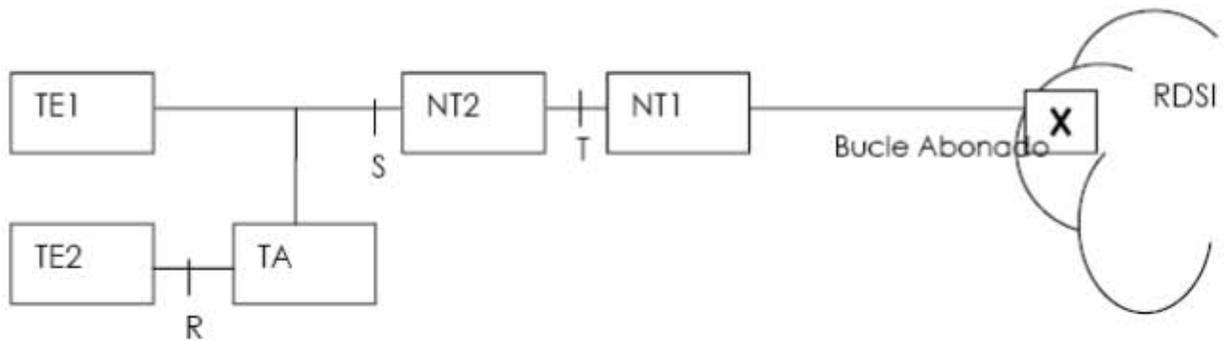


Figura 1.72 Arquitectura y plan de numeración de RDSI.

Respecto a la arquitectura de protocolos utilizados por RDSI entre el usuario y la red, distinguiremos tres planos:

- Plano de control, utilizado para establecer y liberar conexiones. Se basa en el uso de señalización.
- Plano de usuario, utilizado para la transferencia de información entre dos usuarios conectados a RDSI.
- Plano de Gestión, que permite la operación y el control de parámetros del sistema.

A nivel físico se realizan tareas relacionadas con la transmisión de señales (parámetros físicos y eléctricos), multiplexión de canales, codificación de línea, acceso por contienda al canal D, e identificación de los terminales. Todo ello viene descrito en la recomendación I.430 para el acceso básico e I.431 para el acceso primario. La I.410 establece un conector RJ-45 con 4 hilos activos como mínimo, así como código de línea HDB3. Se fijan también aquí las posibles configuraciones de cableado (punto a punto, bus pasivo corto/largo, ... )

Sobre ese nivel físico el usuario podrá enviar directamente sus datos (por ejemplo voz codificada en canales B) cuando esté utilizando conmutación de circuitos, y una vez establecido éste. Las señales del plano de control necesarias para el establecimiento y liberación de circuitos entre el usuario y la red se definen en la recomendación Q.931 (SET UP, CONNECT, ALERTING, ...), y son enviadas a la red dentro de tramas LAPD (definido en la Q.921) que utilizan físicamente los bits del canal D.

Con el plan de numeración podemos distinguir a cada equipo de usuario del resto, permitiendo a la red su localización y facilitando su tarificación. El plan de numeración RDSI establece números RDSI de forma independiente de la naturaleza del servicio (voz, datos, ...), y como extensión del plan de numeración de la red telefónica tradicional (E.164). Como se muestra en la figura 1.73:

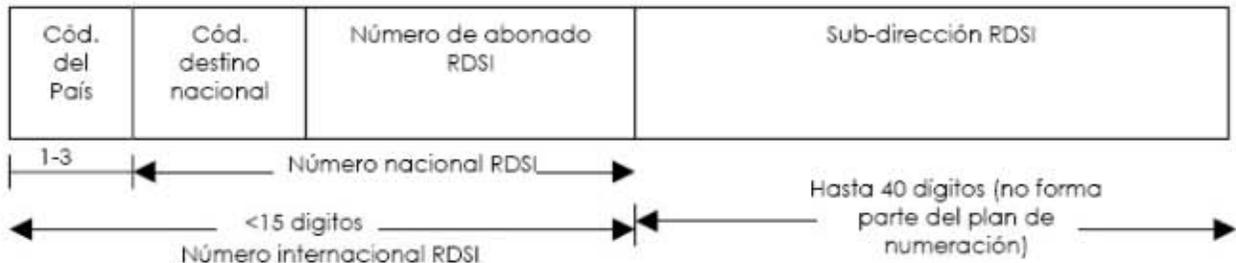


Figura 1.73 Plan de enumeración RDSI

### Servicios ofrecidos por RDSI

Podemos entender por servicios un conjunto de facilidades proporcionadas por un proveedor a los usuarios. La ITU-T ha definido tres tipos de servicios:

a) Servicios Portadores: Ofrecen al usuario, mediante una interfaz normalizada de acceso a la red, la capacidad de transportar información con independencia de su contenido. Hay dos tipos básicos de servicios portadores:

- Modo circuito: La información de los usuarios se transporta por conmutación de circuitos sobre canales B o H. En función del modo en que se establezca el circuito distinguiremos circuitos bajo demanda, que utilizan el canal D para la señalización, o circuitos semipermanentes, en cuyo caso se encuentran siempre disponibles y no es necesario establecer las conexiones mediante señalización.

- Modo paquete: La información del usuario se transmite hacia el equipo destino mediante conmutación de paquetes. Este servicio puede ofrecerse mediante una red externa o mediante los propios nodos de RDSI. La conmutación de paquetes no asegura el retardo que éstos pueden sufrir al atravesar la red, por lo que sólo es válida para el transporte de datos sin requisitos de tiempo real. El siguiente tema definirá con más precisión los fundamentos básicos de la conmutación de paquetes. La información a transmitir por el usuario se trocea en paquetes que deben cumplir con la recomendación X.25 y se envían en tramas de tipo LAPB sobre el canal físico (canales B o H, aunque este servicio también se puede ofrecer a través del canal D). Otro servicio de conmutación de paquetes ofrecido por la RDSI es la conmutación de tramas (Frame Relay) que permite el envío de paquetes denominados tramas mediante conexiones semipermanentes entre dos puntos fijos, a una velocidad de hasta 2 Mb/s.

b) Teleservicios: Utilizan un servicio portador y proporcionan una comunicación completa entre usuarios (incluyendo los equipos terminales). En RDSI hay definido un gran conjunto de servicios, como el de telefonía, que permite conversaciones bidireccionales en tiempo real para señales analógicas con un ancho de banda de 3,1 KHz, telefax del grupo 4 (permite transferir de forma fiable texto, imágenes, ...), videotex, ...

c) Servicios Suplementarios: Son servicios que modifican o complementan a los anteriores (portadores y teleservicios). No pueden contratarse de forma aislada, sino asociados a otro servicio. Ejemplo: Identificación de llamada entrante, subdireccionamiento, transferencia/desvío de llamada, llamada en espera, ...

Existe además un método que permite especificar nuevos servicios en base a sus atributos, como la capacidad de transferencia de información (régimen binario, tipo de conmutación, modo de establecimiento de la conexión, ...), características de acceso (velocidad, canales y protocolos de acceso), y otras características generales como nivel de calidad, interfuncionamiento con otros servicios, ... De esta forma, especificando las características del servicio, es posible ofrecer con RDSI nuevos servicios que aparezcan en un futuro.

Como conclusión, sobre las redes telefónicas podemos decir que:

La red telefónica está, compuesta básicamente por los siguientes elementos constitutivos:

Nodos de Conmutación:

Dentro de éstos existen dos tipos de nodos los que se denominan centrales locales, también conocidos por su expresión central office o local Exchange, a los que se conectan los usuarios de la red; y los que se denominan centrales de tránsito, también conocidos por transit Exchange o toll center que son los encargados de encaminar las comunicaciones permitiéndoles que puedan llegar a los destinos solicitados. Estos últimos nodos no poseen usuarios conectados a ellos.

Enlaces urbanos e interurbanos:

Los enlaces que se usan en la red telefónica conmutada por interconectar las centrales locales entre sí, y las centrales de tránsito, se suelen denominar enlaces troncales por la cantidad de canales de voz que suelen transportar. Estos enlaces constituyen lo que hemos denominado la red de soporte, pues no solo se utilizan para facilitar las comunicaciones en la misma red telefónica, sino que parte de ellos se suelen usar con fines variados. Uno de ellos, mediante el uso de canales digitales de distintas velocidades, para organizar las que se llaman Redes Especiales de Transmisión de Datos. Otro de los usos es para la provisión de Enlaces dedicados o arrendados para distintos fines, que pueden tener características urbanas, interurbanas o internacionales.

**Enlaces de Abonado:**

Es el vínculo de comunicaciones que conecta al equipo, o los equipos terminales del usuario, con la central local, de la que es tributario. También es conocida como Par de abonado o como local loop.

**Equipos terminales:**

Son los equipos que cada usuario podrá conectar a la red de acuerdo con las prestaciones que la misma pueda brindar. Lógicamente, el primero y más importante que debe de considerarse en esta red es precisamente el teléfono. Sin embargo actualmente también se pueden conectar a ella un amplio conjunto de equipos terminales que prestan servicios diversos, tales como facsímiles, computadoras, tele text, etc.

### **Características Particulares de la red Telefónica pública conmutada**

La red telefónica pública conmutada presenta las siguientes características particulares.

~La red está casi siempre en todas partes.

Resulta muy difícil que no se encuentre disponible un equipo terminal de la red telefónica conmutada en algún punto geográfico del planeta. Esta característica hace que esta red sea muy interesante para establecer puntos terminales de circuitos de transmisión de datos. Si en algún punto geográfico la red no está presente, otras posibilidades serán igualmente complejas.

~Normalmente los costos son bajos o, al menos, razonables

Los costos de la red telefónica conmutada en casi todos los países son muy accesibles, en función de las condiciones económicas de cada uno. La UIT-T establece parámetros para el establecimiento de las tarifas de todos los servicios si estos parámetros son respetados por las administraciones de cada país, la afirmación anterior es válida. Sin embargo en pocos casos, las tarifas son distorsionadas con impuestos o sobrecargas adicionales, no recomendadas internacionalmente, y en ese caso, esta afirmación podría dejar de tener sentido práctico. En estas últimas situaciones, las variaciones tarifarias provocan distorsiones en el uso de las distintas posibilidades que se ofrecen a los usuarios. Éstas traen, posteriormente, deformaciones en la demanda que se traduce en la necesidad de nuevas inversiones, que en la gran mayoría de los casos resulta en un sistema abierto.

~El sistema telefónico es un sistema Abierto:

Estas condiciones permiten que el uso de la red no necesite autorizaciones especiales, ni requerimientos adicionales ante las administraciones. Pueden existir casos especiales en los que se requiera algún tipo de autorización para el uso de la red, no obstante, la detección del uso temporal de la red telefónica para la transmisión de datos resulta muy difícil.

~La obtención de hardware necesario no presenta complicaciones técnicas importantes:

Los equipos necesarios son de fácil obtención en el mercado tele informático, tanto en el orden nacional como en el internacional.

Técnicas usadas en las redes telefónicas conmutadas

~Aspectos generales

Las redes telefónicas públicas conmutadas están compuestas por tres tipos de hardware de características diferenciadas: equipos terminales, sistemas de conmutación y sistemas de transmisión.

Equipos terminales:

Los equipos terminales más comunes conectados a la red telefónica conmutada son los teléfonos, los equipos facsímil y las computadoras a través de módem de datos.

### **Sistemas de Conmutación**

Esta técnicas fueron usadas en las primeras etapas de la conmutación y telefónica, y aún hoy existen algunas instalaciones que están en servicio. Consisten, básicamente, en sistemas donde el mando de la central que realiza la conmutación es un mecanismo que produce la apertura y cierre de relés electromecánicos, que permiten el paso de las señales telefónicas a través del conmutador en forma de señales analógicas, tal como llegan al nodo de conmutación

Permiten a este grupo las tecnologías conocidas como:

+ Pasó a paso o Sistema Strower.

Esta técnica conocida como pasó a paso o sistema de mando directo, consiste en un método de selección en serie, donde cada dígito que llega a la central va avanzando un paso, hasta llegar al selector final del abonado con el que se quiere conectar. Por esa razón también se lo denomina sistema en cascada.

+ De barras cruzadas o Sistema Crossbar:

Esta técnica, conocida como de barras cruzadas o sistema de mando indirecto, consiste en un método de selección en paralelo, donde todos los dígitos que llagan a la central se van acumulando en una memoria, produciéndose finalmente la conexión con el abonado deseado.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

### Técnicas híbridas:

Estas técnicas fueron usadas en las primeras etapas que empezaron a ser abandonadas las técnicas electromecánicas, por las que se llamaron de conmutación semielectrónica.

Consisten básicamente en un sistema de conmutación donde el mando de la central que realiza la conmutación es un computador de propósitos especiales y maneja a tal fin señales de tipo digital. Por este motivo, la técnica usada se denominó por Control de programa almacenado o SPC (Store Program Control) sin embargo, las señales telefónicas que pasan a través del conmutador (matrices de relevadores rápidos), lo hace en forma de señales analógicas, tal como llegan al nodo de conmutación.

### Técnicas electrónicas:

Estas técnicas son las que se usan actualmente en la totalidad de los casos. El mando de la central que produce la conmutación es similar, conceptualmente, al que usan las centrales de conmutación de técnicas híbridas. Se trata también de un computador de propósitos especiales, que maneja señales digitales para producir las funciones de conmutación, mediante un sistema de control de programa almacenado.

La diferencia fundamental radica en que las señales telefónicas enviadas por los usuarios, que serán conmutadas, deberán entrar al conmutador previamente digitalizadas.

Es evidente que mientras el par de abonado y el equipo terminal sean de características analógicas, a la entrada de los conmutadores electrónicos deben de haber convertidores analógicos/Digitales.

A la salida del nodo, después de la conmutación, pueden ocurrir dos situaciones diferentes. Si la señal conmutada es direccionada hacia un usuario analógico ubicado en el mismo nodo, esta debe de pasar por unos convertidores Digitales/Analógicos, que le permitirán recuperar la señal originalmente transmitida, para que pueda ser transmitida a través del par de abonado hacia el equipo terminal del destinatario ambos de características analógicas.

### Nivel Jerárquico de la red

Según el carácter y la jerarquía que poseen dentro de la red telefónica pública conmutada los sistemas de transmisión se pueden clasificar en:

#### + URBANOS:

Se denomina sistemas de transmisión urbana aquellos que instalados dentro de una zona o área común de servicios, conectan nodos de conmutación o de tránsito. En particular enlazan, por ejemplo de conmutación o de tránsito que están ubicados en una misma ciudad, o grupo de ellos que forman parte de una única área múltiple de servicios.

+ INTERURBANOS:

Se denominan sistemas de transmisión interurbanos aquellos que, instalados dentro de un área geográfica importante, conectan nodos de conmutación de diferente jerarquía dentro de la red, o si son de igual jerarquía, estos pertenecen a distintas áreas múltiples de servicios. En particular enlazan, por ejemplo a los nodos de conmutación o de tránsito que están ubicados en ciudades diferentes y que pertenecen a dos áreas de servicio distintos.

+ INTERNACIONALES:

Se denominan sistemas de transmisión internacionales a aquellos que conectan nodos de tránsito que permitan la interconexión entre dos o más países diferentes y que están regulados por acuerdos internacionales.

Telefonía celular. Aspectos técnicos.

## 1.- Introducción

Los inicios de la telefonía celular como la conocemos actualmente, comenzaron a finales de los años 70 y principios de los 80. Después de analizar todos los antecedentes históricos que conllevaron este logro tecnológico, veremos en este capítulo un aspecto más profundo de cómo funciona la telefonía celular, pasando por cada una de sus generaciones y estudiando su evolución hasta nuestros días.

Diversas empresas pioneras empezaron a crear tecnología y diversos sistemas de telecomunicación, para cumplir las demandas de servicios de telefonía inalámbrica propios de la época. Lo que origino una relación entre gobiernos para regular el espectro radiofónico y las compañías para lograr la meta de telefonía mundial.

Los teléfonos celulares han revolucionado el área de las comunicaciones, redefiniendo cómo percibimos las comunicaciones de voz. En un principio los teléfonos celulares se mantuvieron fuera del alcance de la mayoría de los consumidores debido a los altos costos involucrados.

Como resultado, las compañías proveedoras de servicios invirtieron tiempo y recursos en encontrar nuevos sistemas de mayor capacidad, y por lo tanto un menor costo. Los sistemas celulares se están beneficiando de estas investigaciones y han comenzado a desarrollarse como productos de consumo masivo, más allá de los servicios que originalmente proveerían que era simplemente un teléfono; actualmente ofrecen una gama muy amplia de servicios, por lo que las compañías creadoras de teléfonos celulares se han vuelto más competitivas.

La telefonía celular es un sistema de comunicación telefónica totalmente inalámbrica. Los sonidos se convierten en señales electromagnéticas, que viajan a través del aire, siendo recibidas y transformadas nuevamente en mensajes. Inicialmente los celulares eran analógicos evolucionando a un sistema totalmente digital.

La nueva revolución que implementa el uso social de celulares genera ventajas y al mismo tiempo desventajas. La accesibilidad al nuevo medio de comunicación, en un fuerte aumento en los últimos años, propone un contacto constante entre pobladores de distintas comunidades y culturas. En este punto surge el dilema o las distintas interpretaciones sobre si el nuevo método comunicativo es positivo o negativo.

## 2.- Funcionamiento de la telefonía celular

La telefonía celular se compone de dos grandes partes que englobaremos como Hardware y Software, primeramente analizaremos, el hardware que nos referimos a la parte de “fierros” o aquellos elementos físicos que permiten que trabaje nuestro sistema. El software es otra parte crucial ya que con él se controla el sistema. Analizando esto dentro de una analogía decimos que en una computadora el hardware es el mouse, el monitor y el CPU, y nuestro sistema operativo (Linux, Mac, Windows etc.) es la parte de software. Estos dos componentes son un complemento una para el otro.

La estructura básica de Hardware de todo sistema celular contiene cuatro elementos:

- Terminal celular móvil
- Estación base
- Celdas
- Antenas

Además de lo ya antes mencionado se incluye el Software que es la parte de sistema que controla la red y el tránsito de llamadas, entre otras cosas.

En la siguiente imagen 1.74 si llegar a detallar su contenido en este momento, observaremos una red de telefonía de celular y sus partes.

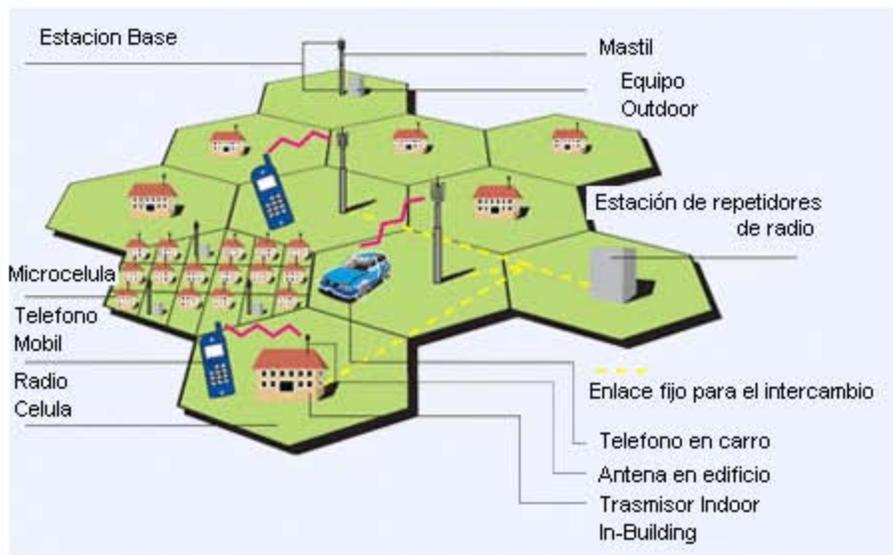


Imagen 1.74 Red de telefonía celular

A continuación explicaremos cada elemento una red de telefonía celular.

### 3.- Hardware Parte física del sistema de telecomunicaciones.

#### a.- Terminal - Celular móvil

En un contexto simple podemos decir que los teléfonos celulares son terminales y son básicamente radio transmisores personales, bajo un sistema de dualidad, lo que significa manejan envío y recepción de sonido o en este caso de voz; todo esto al mismo tiempo.

Los teléfonos móviles son radios de dos vías. Cuando se habla en un teléfono móvil, que recoge su voz y convierte el sonido a la energía de radiofrecuencia (u ondas de radio). Las ondas de radio viajan por el aire hasta llegar a un receptor en una estación base cercana. La estación base envía la llamada a través de la red telefónica hasta que lleguen a la persona que está llamando. Cuando recibe una llamada en su teléfono móvil, el mensaje viaja a través de la red telefónica hasta que llegue a su fin a la estación base al teléfono. La estación base envía ondas de radio que son detectadas por un receptor en su teléfono, donde las señales se cambian de nuevo en voz o datos.

Dependiendo del equipo y el operador, la frecuencia con que cada operador utilice es de 900 MHz, 1800 MHz o 2100 MHz.

Entendemos que la frecuencia es un evento se repite durante un período determinado de tiempo. En física, la frecuencia de una onda es el número de crestas de las olas que pasan por un punto en un segundo (una cresta de la ola es el pico de la onda).

Hertz (símbolo Hz) es la unidad de la frecuencia.

La relación entre frecuencia y longitud de onda se expresa por la fórmula:

$$f = v / \lambda$$

Donde  $v$  es la velocidad y  $\lambda$  (lambda) es la longitud de onda. La fórmula para la frecuencia de las ondas de luz es  $f = c / \lambda$  donde  $c$  es la velocidad de la luz.

Todas las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz en el vacío, sino que viajan a velocidades más lentas cuando se desplazan a través de un medio que no es un vacío. Otras ondas, como ondas de sonido, los viajes a velocidades mucho más bajas y no pueden viajar a través del vacío.

Ejemplos de las ondas electromagnéticas son: las ondas de luz, ondas de radio, rayos infrarrojos, microondas y ondas gamma.

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz.

Ahora entendemos que la telefonía celular utiliza estas Radio Frecuencias como medio para transmitir voz y datos.

### b.- Estaciones Base (Radio Bases)

Las estaciones de base están diseñadas para una serie de propósitos diferentes, tales como dar cobertura a una amplia zona o para aumentar la capacidad en un área muy congestionada.

Conocida actualmente como BTS (Base Transceiver Station), realiza el enlace de RF a los terminales celulares, transmite información entre la celda y la estación de control y conmutación, monitorea la comunicación de los abonados (Líneas telefónicas). Está conformado por: una unidad de control, unidad de energía, TRAU (unidad encargada de adaptar y hacer la conversión de código y velocidad de las señales), y terminal de datos. Principalmente.

Las estaciones de base forman células que se dividen en dos categorías:

**Macro células.** Estas son la estructura principal de las redes de telefonía móvil y manejan hasta un rango teórico de 35 kilómetros aproximadamente. En realidad, usualmente cubren un área mucho más pequeña, eventualmente de tan sólo un kilómetro y medio o dos, porque la intensidad de la señal se reduce por edificios, árboles y elementos del paisaje; lo que se conoce como accidentes topográficos.

**Micro elementos.** Se utilizan para mejorar la capacidad de la red principal, especialmente en áreas donde el volumen de llamadas es alto, como en los aeropuertos, edificios, centros comerciales, etc. Emiten menos energía que el macro células y tienen un alcance de sólo unos pocos cientos de metros.

Particularmente de este tipo de sistemas desarrollaremos la tesis; Procesos de implementación de un sistema GSM dentro de un edificio corporativo, lo cual veremos más adelante conforme avancemos en los capítulos.

Existen varios sistemas de intercomunicación, en principio para entender cómo funcionan estos aparatos podemos ayudarnos compararlos con una radio de onda corta (OC, walkie-talkie). Un radio OC es un aparato simple. Este permite que dos personas se comuniquen utilizando la misma frecuencia, así que sólo una persona puede hablar al tiempo.

Este sistema se le conoce como PTT (En Inglés es Push to talk), es un método para hablar en líneas de comunicación, apretando un botón para transmitir y liberándolo para recibir. Este tipo de comunicación permite llamadas de tipo uno-a-uno. A este tipo de sistemas se les conoce como Half-duplex, o semiduplex en español.

Este tipo sistemas presenta muchas desventajas; desde su origen fueron diseñados para un uso militar, mas adelante adoptados para uso de la policía, servicios de la emergencia, y empleos comerciales e industriales.

El funcionamiento de estos equipos es que un canal (misma frecuencia) de un equipo trasmite a varios equipos; esto requiere una gran infraestructura de repetidoras ya que la señal que transmiten por lo general no es mayor a 5 kilómetros, es una señal muy débil que además solo permite voz y no datos.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

Por ejemplo: En el caso de los servicios de urgencias medicas, la central trasmite un mensaje de que se requiere una ambulancia en un accidente, es recibido por todas las ambulancias y en algunas otros casos a la Policía y Bomberos así todos están enterados del mensaje, esta ambulancia al contestar el mensaje este llegara a todas la ambulancias. Este ejemplo se ilustra en la siguiente imagen 1.75:



Imagen 1.75 Sistema Half-duplex en operación

A diferencia del sistema Half-duplex los teléfonos celulares que funcionan bajo sistema Full-duplex, La mayoría de los sistemas y redes de comunicaciones modernos funcionan bajo este modo permitiendo canales de envío y recepción simultáneos. Podemos conseguir esa simultaneidad mediante el empleo de frecuencias separadas (multiplexación en frecuencia).

Un full-duplex (FDX) o sistema de doble-doble cara, permite la comunicación en ambas direcciones y a diferencia de half-duplex, permite que esto suceda de forma simultánea. Redes de línea fija de teléfono son dúplex completo, ya que permiten que tanto las personas que llaman hablar y ser escuchados al mismo tiempo.

Las ventajas de este sistema son muy claras en cierto aspecto, permite una comunicación más directa y mayor orden en líneas telefónicas con respecto al reparto de frecuencias; Esto se lleva a cabo por medio de una sectorización mejor conocida como celdas.

Los radios de dos vías pueden ser diseñados como sistemas de full-duplex, el cual transmite en una frecuencia y reciben en una frecuencia diferente. Esto también se llama dúplex por división de frecuencia. Sistemas de distribución de frecuencia dúplex se puede extender a más distancias con pares de estaciones repetidoras simples, porque las comunicaciones transmitidas en cualquier frecuencia siempre viajen en la misma dirección.

Hay varias ventajas al uso de full-duplex sobre half-duplex. En primer lugar, el tiempo de retardo en la transmisión es mínimo, ya que las ondas no deben ser retransmitidas, ya que no hay colisiones o pérdida de enlace.

En segundo lugar, la capacidad de datos completa está disponible en ambas direcciones debido a que el envío y recepción funciones están separadas. En tercer lugar, las estaciones (o nodos) no tienen que esperar hasta que otros completen su transmisión, ya que sólo hay un transmisor. Un teléfono celular es un dispositivo dual, esto quiere decir que utiliza una frecuencia para hablar, y una segunda frecuencia aparte para escuchar. Una radio OC tiene 40 canales. Un teléfono celular puede utilizar 1664 canales.

Estos teléfonos también operan con "células" (o "celdas") y pueden alternar la célula usada a medida que el teléfono es desplazado. Las células le dan a los teléfonos un rango mucho mayor a los dispositivos que lo comparamos. Un walkie-talkie puede transmitir hasta quizás un poco más de cinco kilómetros. Alguien que utiliza un teléfono celular, puede manejar a través de toda la ciudad y mantener la conversación todo el tiempo. Las células son las que dan a los teléfonos celulares un gran rango.

#### Regulador de la estación base (BSC)

Ahora si nos llegamos a preguntar, quien controla las BTS's veremos que son las BSC.

Base Station Controller (BSC) - El BSC controla a la múltiples BTS's. Se ocupa de la asignación de canales de radio, la administración de frecuencias, medidas de potencia y señal de la MS, y el traspaso de una BTS a otra (si ambas BTS son controlados por el mismo BSC). Se reduce el número de conexiones con el centro de conmutación móvil (MSC) y permite conexiones de mayor capacidad a la MSC.

Un BSC puede ser colocado junto con una BTS o puede estar geográficamente separados, incluso puede ser colocado con el Centro de conmutación móvil (MSC). Para explicar lo que acabamos de mencionar con respecto a las BSC lo vemos en la siguiente imagen 1.76:

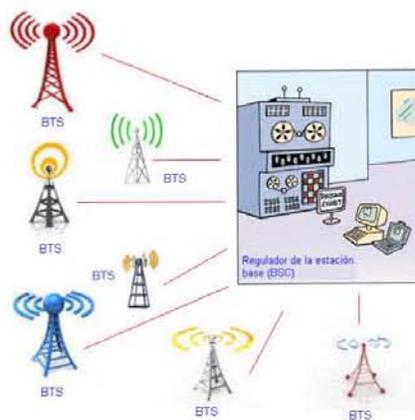


Imagen 1.76 BSC con múltiples BTS's

c.- Celdas

La telefonía celular se desarrollo bajo una red celular esto es una red de radio bases distribuidas en las zonas terrestres llamadas células, cada una atendida por al menos un transmisor-receptor fijo en una ubicación conocida como un sitio o estación base de la célula. Cuando se unieron estas células proporcionan cobertura de radio sobre un área geográfica amplia. Esto permite que un gran número de transmisores-receptores portátiles para comunicarse entre sí y con transeptores y teléfonos fijos en cualquier parte de la red, a través de estaciones de base, incluso si algunos de los receptores se mueven a través de más una celda durante la transmisión.

Estas redes ofrecen varias ventajas comparadas con otras soluciones alternativas: Incrementan la capacidad de llamadas, Reducen el uso de energía, Tienen mejor cobertura y Reducir las interferencias de otras señales.

En concepto un sistema de radio celular, un área de tierra a un suministro de servicio de radio está dividida en células en forma regular, que puede ser hexagonal (esto en un contexto teórico), cuadradas, circulares o algunas otras formas irregulares, aunque las células hexagonales son convencionales. Cada una de estas células se asigna frecuencias múltiples (F1 - F6) que han correspondientes estaciones base de radio. El grupo de frecuencias pueden ser reutilizadas en otras células, siempre que las mismas frecuencias que no se reutilizan en celdas adyacentes, que puedan causar interferencias en el co-canal.

El aumento de la capacidad en una red celular, en comparación con una red con un solo transmisor, viene del hecho de que la misma frecuencia de radio se pueden reutilizar en un área diferente para una transmisión completamente diferente. Si hay un transmisor simple único, sólo una transmisión puede ser utilizada en cualquier frecuencia dada. Pero es inevitable un cierto nivel de interferencia de la señal de las otras células que utilizan la misma frecuencia. Como se observa en la siguiente Figura 1.77:

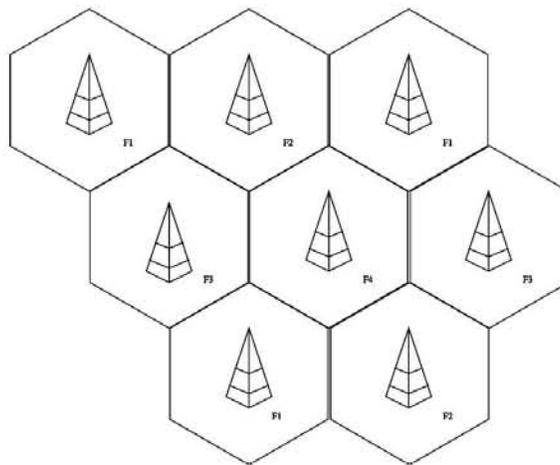


Figura 1.77 Factor de reutilización de frecuencias

### d.- Las antenas.

Las antenas son otro elemento físico muy importante en las telecomunicaciones ya que sin ellas no sería posible realizar los enlaces, entre los equipos, probablemente este término ya es muy común en nuestro lenguaje pero que son realmente o cómo funcionan aquí lo explicaremos.

Una antena es un dispositivo eléctrico que envía las ondas de radio en el espacio libre por medio de una corriente eléctrica utilizada por un receptor de radio o transmisor. En la recepción, la antena intercepta parte de la energía de una onda electromagnética para producir un voltaje pequeño que el receptor de radio puede ampliar. Por otra parte, un transmisor de radio produce una corriente de frecuencia de radio de gran tamaño que puede ser aplicada a los terminales de la misma antena con el fin de convertirlo en una onda electromagnética (ondas de radio) irradiada hacia el espacio libre. Las antenas son esenciales para el funcionamiento de todos los equipos de radio, ambos transmisores y receptores. Se utilizan en sistemas tales como las emisiones de radio y televisión, de radio bidireccional, LAN inalámbrica, telefonía móvil, radares y comunicaciones por satélite.

En la telefonía celular utiliza un cierto tipo de antena en las torres de celular, estas funciona por medio de radiación que es el fenómeno que consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas

Para ello se consideran las siguientes características para su diseño por el tipo de radiación:

- Dirección de apuntamiento: Es la de máxima radiación. Directividad y Ganancia.
- Lóbulo principal: Es el margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.
- Lóbulos secundarios: Son el resto de máximos relativos, de valor inferior al principal.
- Ancho de haz: Es el margen angular de direcciones en las que el diagrama de radiación de un haz toma un valor de 3dB por debajo del máximo. Es decir, la dirección en la que la potencia radiada se reduce a la mitad.
- Relación de lóbulo principal a secundario (SLL): Es el cociente en dB entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo del lóbulo secundario.
- Relación delante-atrás (FBR): Es el cociente en dB entre el valor de máxima radiación y el de la misma dirección y sentido opuesto.

Cada torre cuenta con tres conjuntos de antenas direccionales dirigidas en tres direcciones diferentes con 120 grados para cada celda (un total de 360 grados) y receptor / transmisor en tres diferentes células en diferentes frecuencias. Esto proporciona un mínimo de tres canales (de tres torres) para cada celda. Los números de la ilustración son los números de canal, que se repiten cada 3 celdas. Células grandes se pueden subdividir en células más pequeñas para las zonas de alto volumen.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

En la siguiente imagen 1.78 observamos cómo es la propagación:

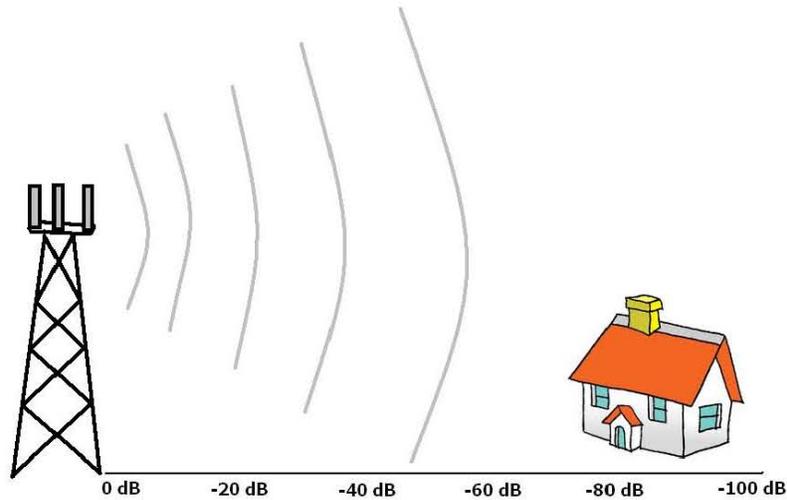


Imagen 1.78 Propagación de onda de radio

De una manera más técnica y con los elementos antes mencionados: tenemos la siguiente imagen 1.79, desde un plano vertical.

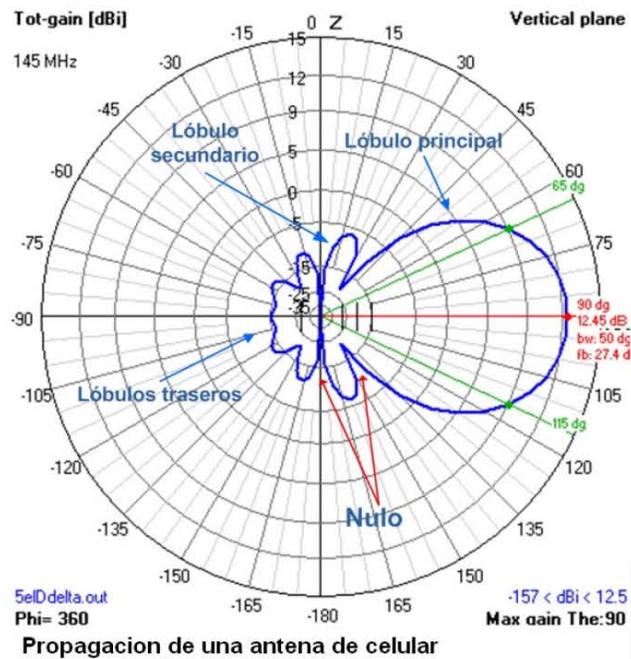


Imagen 1.2.6 Plano vertical de propagación de onda

Estos cuatro elementos nos sirven para empezar con un punto importante en nuestro sistema que es la cobertura.

#### 4.- Cobertura

Se entiende por cobertura la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones de base y viceversa. Es en el primer parámetro en que se piensa al diseñar una red de comunicaciones móviles. En primer lugar, la cobertura o el alcance radio de una red es la composición del alcance radio de la suma de todas sus estaciones de base. A la hora de planificar una red, desde el punto de vista de la cobertura, el primer dato que se necesita saber es la zona que se desea cubrir, o zona de servicio.

Si se parte de esta hipótesis, dado un área a cubrir, sería necesario un número de células tal que la suma de las áreas cubiertas por dichas células, a una altura determinada y transmitiendo a su máxima potencia, fuera igual al área a cubrir.

Ahora debemos tener en cuenta que no basta con realizar el cálculo de potencia en el sentido estación base a móvil; también es necesario que el móvil, en función de su capacidad de transmisión, pueda llegar hasta la estación de base. Por ello, la cobertura de la red debe planificarse teniendo en cuenta las condiciones de transmisión en las que se encuentra el móvil: es a lo que se denomina realizar un balance de enlace. Actualmente, las redes se diseñan teniendo en cuenta varios tipos de móviles: la máxima cobertura se ofrece para terminales instalados en vehículos, con antena exterior, y también se realizan previsiones para equipos portátiles en el exterior y en interior de vehículos, sin antena externa.

Debido a las características particulares del trayecto radioeléctrico, únicamente puede hablarse de cobertura en sentido estadístico. Esto implica que, las áreas que se representan teóricamente cubiertas, lo están en un determinado porcentaje de ubicaciones y de tiempo. Existen gráficas, obtenidas de medidas empíricas sobre propagación, que muestran las correcciones en atenuación que se deben realizar para calcular correctamente el área de cobertura de un transmisor radio, así como la probabilidad de cobertura asociada a dichas correcciones.

Hasta aquí todo es aplicable a casi cualquier sistema que tenga la radio como medio de transmisión. Lo que diferencia a un sistema celular es que, en zonas de alta densidad de tráfico, es capaz de utilizar más eficientemente que otros sistemas el limitado espectro radioeléctrico que tiene asignado. Esto implica un diseño de red radio denominado “celular”, que es lo que le da el nombre al sistema.

Esto consiste en dividir el área a cubrir en un número de células suficientemente grande, que permita la reutilización de frecuencias. Desde el punto de vista de cobertura, lo que esta división en pequeñas células implica es que la cobertura de cada célula va a estar limitada por interferencia; es decir, el diseño se hará de forma tal que las células que utilizan los mismos canales de radio emitan a una potencia suficientemente baja para no interferirse entre sí y, a su vez, no interferir a los móviles a los que están dando servicio. En definitiva, el máximo alcance de una célula sólo se podrá conseguir en lugares de poca densidad de tráfico, que no son los más adecuados para este tipo de sistemas.

## 5.- Codificación de la señal de la célula

Para distinguir las señales de varios transmisores diferentes; se crearon diversos tipos de codificación por ejemplo el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) y el acceso múltiple por división de código (CDMA).

Con FDMA, las frecuencias de transmisión y recepción en cada célula son diferentes de las frecuencias utilizadas en cada celda vecina. El principio de CDMA es más complejo, pero consigue el mismo resultado; los transceptores distribuidos pueden seleccionar una celda y escucharla.

Otros métodos disponibles de multiplexación como el acceso a la polarización múltiple por división (PDMA) y tiempo de acceso múltiple por división (TDMA) no se puede utilizar para separar las señales de una célula a otra ya que los efectos de ambos varían con la posición y esto haría que la separación de la señal prácticamente imposible. Acceso múltiple por división de tiempo, sin embargo, se utiliza en combinación con FDMA o CDMA en una serie de sistemas para dar varios canales dentro del área de cobertura de una sola célula.

### Tecnologías utilizadas en los teléfonos celulares

Las tecnologías utilizadas actualmente para la transmisión de información en las redes son denominadas de acceso múltiple, debido a que más de un usuario puede utilizar cada una de las celdas de información. Actualmente existen tres diferentes, que difieren en los métodos de acceso a las celdas:

**FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia):** Acceso a las celdas dependiendo de las frecuencias. Básicamente, separa el espectro en distintos canales de voz, al dividir el ancho de banda en varios canales uniformemente según las frecuencias de transmisión. Los usuarios comparten el canal de comunicación, pero cada uno utiliza uno de los diferentes subcanales particionados por la frecuencia. Mayormente es utilizada para las transmisiones analógicas, aún cuando es capaz de transmitir información digital (no recomendada).

**TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo):** Divide el canal de transmisión en particiones de tiempo. Comprime las conversaciones digitales y luego las envía utilizando la señal de radio por un período de tiempo.

En este caso, distintos usuarios comparten el mismo canal de frecuencia, pero lo utilizan en diferentes intervalos de tiempo. Debido a la compresión de la información digital, esta tecnología permite tres veces la capacidad de un sistema analógico utilizando la misma cantidad de canales.

**CDMA (Acceso Múltiple por División de Códigos):** Esta tecnología, luego de digitalizar la información la transmite a través de todo el ancho de banda del que se dispone, a diferencia de

TDMA y FDMA. Las llamadas se sobrepone en el canal de transmisión, diferenciadas por un código de secuencia único. Esto permite que los usuarios compartan el canal y la frecuencia. Como es un método adecuado para la transmisión de información encriptada, se comenzó a utilizar en el área militar. Esta tecnología permite comprimir de 8 a 10 llamadas digitales para que ocupen lo mismo que ocupa una llamada analógica.

En la siguiente figura 1.48 se muestra un gráfico comparativo del funcionamiento de las mencionadas tecnologías.

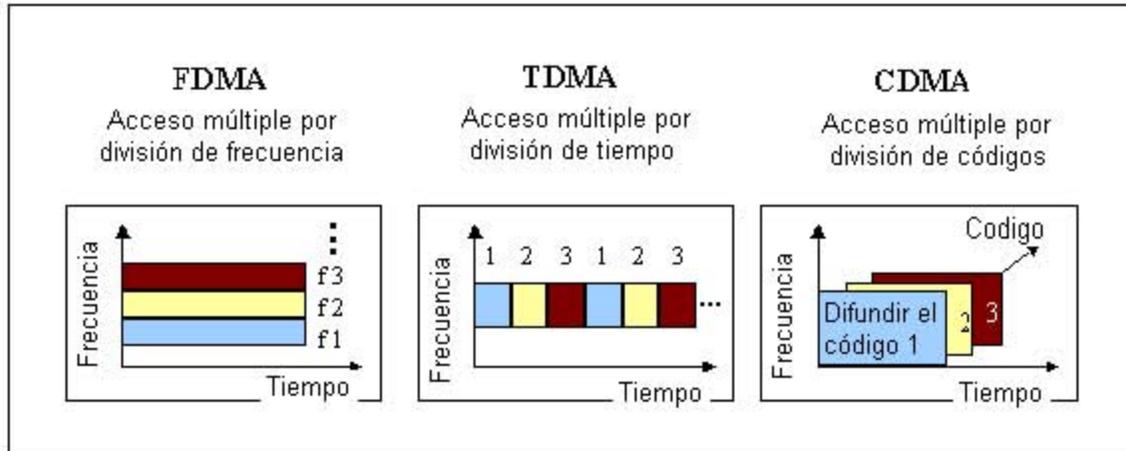


Figura 1.48 Gráfico comparativo de FDMA, TDMA y CDMA

#### Canal de comunicación

Otro aspecto importante en las redes de celular es lo que se conoce como canal de comunicación, en el cual hemos hablado anteriormente; Este es el medio de transmisión por el que viajan las señales portadoras de la información emisor y receptor. Es frecuente referenciarlo también como canal de datos.

Los canales pueden ser personales o masivos: los canales personales son aquellos en donde la comunicación es directa. Voz a voz. Puede darse de uno a uno o de uno a varios. Los canales masivos pueden ser escrito radiales, televisivos e informáticos.

En telecomunicaciones, el término canal también tiene los siguientes significados:

- Una conexión entre los puntos de inicio y terminación de un circuito.
- Un camino único facilitado mediante un medio de transmisión.

## 6.- Reutilización de frecuencias

Es una técnica muy importante la de reutilización de frecuencias y canales dentro de un sistema de comunicaciones para mejorar la capacidad y eficiencia espectral. La reutilización de frecuencias es uno de los conceptos fundamentales en los que los sistemas inalámbricos comerciales se basan que implica la división de un área de radiación de radiofrecuencia (celdas) en segmentos de una célula. Un segmento de la célula utiliza una frecuencia que está lo suficientemente lejos de la frecuencia en el segmento de frontera que no prevé problemas de interferencia. Volver a la frecuencia de uso en los sistemas móviles celulares significa que cada célula tiene una frecuencia que está lo suficientemente lejos de la frecuencia dentro de otra celda, o área limítrofes que no prevé problemas de interferencia. La misma frecuencia se utiliza por lo menos dos células separadas unas de otras. Esta práctica permite a los proveedores de celulares tener muchos más clientes para un sitio dado.

Los límites de las células también pueden superponerse entre las células adyacentes y células grandes se pueden dividir en células más pequeñas.

La reutilización de la frecuencia es el proceso en el cual se pueden asignar el mismo conjunto de frecuencias (canales) a más de una célula, siempre y cuando las células estén alejadas por cierta distancia. Al reducir el área de cobertura de cada célula se invita a la reutilización de frecuencia. Las células que usan el mismo conjunto de canales de radio pueden evitar la interferencia mutua, siempre que están alejados la distancia suficiente. A cada estación de base de célula se le asigna un grupo de frecuencias de canal, distintas de los grupos de las células adyacentes y se escogen las antenas de la estación base para lograr determinada distribución de cobertura (huella) dentro de su célula. Sin embargo, mientras un área de cobertura esté limitada a las fronteras de una célula, se pueden usar el mismo grupo de frecuencias de canal de una célula distinta, siempre que las dos células estén separadas lo suficiente entre sí.

El factor de reutilización de la frecuencia es la velocidad a la que puede ser la misma frecuencia utilizada en la red. Es  $1 / K$  donde  $K$  es el número de células que no pueden utilizar las mismas frecuencias para la transmisión. Los valores comunes para el factor de reutilización de frecuencias son de  $1 / 3$ ,  $1 / 4$ ,  $1 / 7$ ,  $01/09$  y  $1 / 12$  (o 3, 4, 7, 9 y 12 dependiendo de la notación).

En el caso de las antenas sector de  $N$  en el sitio de la estación base misma, cada uno con diferente dirección, la estación base puede servir  $N$  sectores diferentes.  $N$  es típicamente 3. Un patrón de reutilización de  $N / K$  denota una mayor división en frecuencia entre las antenas sector de las  $N$  por sitio. Algunos patrones de reutilización actuales e históricos son 7.3 América del Norte (AMPS), 6.4 (Motorola NAMPS), y  $3 / 4$  (GSM).

A continuación tenemos un mapa de la republica mexicana el cual esta dividido en regiones de telefonía celular.

## 7.- Software del sistema de Telecomunicaciones.

Se conoce como software al equipamiento lógico o soporte lógico de nuestro sistema que en particularmente esta deposita en una computadora digital o algún otro equipo electrónico que se capaz de procesar esta información; El software comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos, que son llamados hardware.

Los componentes lógicos incluyen las aplicaciones informáticas; tales como el control de bases de datos, administración de sistema y cobranza del mismo que permite al compañía de telefonía celular realizar todas las tareas concernientes al control de su sistema; también permite la interacción entre los componentes físicos y el resto de las aplicaciones, y proporcionando una interfaz para el usuario.

## 8.- Capacidad. Formula de Erlang B

Es la cantidad de tráfico que puede soportar este tipo de sistemas lógicos. El diseño de una red celular está pensado para soportar, gracias a la compartición de canales y a la división celular, una gran capacidad de tráfico. A tráfico nos referimos a la cantidad de llamadas que se realiza dentro de una célula.

Al ser un sistema de concentración de canales, la capacidad por cada bloque de canales se calcula mediante la aplicación de la fórmula de Erlang B, es decir, como un sistema de llamadas perdidas (sin colas).

La capacidad que aporta este tipo de sistemas es función del número de canales utilizado, o ancho de banda disponible, del tamaño de las células y de la configuración en racimos o "clusters". La capacidad será mayor cuanto mayor ancho de banda se disponga, cuanto menor sea la célula y cuantas menos células sean necesarias por "cluster". Este último parámetro estará fuertemente ligado a la relación de interferencia co-canal que el sistema sea capaz de soportar. Respecto al tamaño de la célula, este estará limitado por la capacidad del protocolo de gestión de la movilidad y por la velocidad a la que se desplacen los móviles en la zona de servicio.

El diseño de la capacidad de los sistemas se realiza por zonas, tomando cada estación de base independientemente, suponiendo el caso de tráfico más desfavorable; es decir, el tráfico en la hora cargada.

El Erlang es una unidad adimensional utilizada en telefonía como una medida estadística del volumen de tráfico. Recibe el nombre del ingeniero danés A. K. Erlang, pionero de la teoría de colas.

## 9.- Subsistemas

Finalmente al combinar la parte física (Hardware) con la parte lógica (Software) Tenemos nuestro sistema de telecomunicaciones. Pero todavía son necesarios ciertos elementos que ahorita mencionaremos:

Señalización

Por señalización se entiende toda comunicación dedicada a gestionar los recursos del sistema para permitir la comunicación. Al hablar de comunicaciones celulares, se va a tratar de forma diferente la señalización asociada a la transmisión de radio y la relativa a la propia estructura de red. Ambos tipos de señalización sirven a los mismos propósitos, y sólo se diferencian por el tipo de entidades a las que ponen en comunicación. Funcionalmente, se podría distinguir entre:

- \* Señalización destinada a la gestión de los recursos de radio;
- \* Señalización destinada a la gestión de la movilidad; y,
- \* Señalización destinada al establecimiento de la comunicación, que, además, puede ser común con otros sistemas de comunicación y, en particular, debe ser compatible con las redes fijas a las que las redes celulares se conectan.

“Hand-over” o “Traspaso”

Es como se denomina al proceso de pasar una comunicación de un mismo móvil de un canal a otro. Es lo que diferencia a un sistema celular de otro tipo de sistemas de radiocomunicaciones de concentración de enlaces. En función de la relación entre los canales origen y destino de la comunicación, los handover pueden clasificarse en:

- \* Handover intercelular, si el canal destino se encuentra sobre otra frecuencia distinta a la del origen, pero en la misma célula;
- \* Handover interBSC, cuando hay cambio de célula pero ambas células se encuentran dentro del mismo sistema controlador de estaciones base;
- \* Handover interMSC, cuando hay cambio de célula y de controlador de estaciones base (BSC), pero ambos BSC dependen de la misma central de conmutación móvil (MSC); y, finalmente,
- \* Handover entre MSCs, cuando hay cambio de célula y ambas células dependen de MSCs distintas.

HLR

Son las siglas de “Home Location Register” o base de datos donde se contiene toda la información del usuario pertinente para la provisión del servicio de telefonía móvil. Los sistemas de altas y bajas de los operadores actuarán contra esta base de datos para actualizar las características del servicio de cada cliente. También hay en el HLR información actualizada sobre la situación actual de sus móviles.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

### VLR

Corresponde a las siglas “Visitor Location Register” o base de datos donde se contiene toda la información del usuario necesaria para la provisión de los servicios durante la utilización de los mismos. El VLR tiene una copia de parte de los datos del HLR, referidos a aquellos clientes que se han registrado en la zona controlada por dicho VLR.

### Área de Localización

Está formada por un conjunto de células, y determina el área donde se encuentra el móvil y las células a través de las cuales se emitirá un mensaje de búsqueda para este móvil, en caso de llamadas entrantes al mismo.

### Registro

Es el proceso mediante el cual un móvil comunica a la red que está disponible para realizar y recibir llamadas. La red, por su parte, llevará a cabo una serie de intercambios de información con sus bases de datos antes de permitir o “registrar” al móvil. Gracias a este registro, la red sabrá en cada momento dónde localizar dicho móvil en caso de llegarle una llamada entrante.

### Roaming o Itinerancia

Es la capacidad que ofrece una red móvil para poder registrarse en cualquier VLR de la red. Actualmente, este concepto está comúnmente asociado al registro de un móvil en una red distinta de la propia.

De manera genérica, los diferentes subsistemas de que consta cualquier red celular, teniendo en cuenta sus características básicas.

### Radio

El subsistema de radio, o la radio, es el que realiza el enlace entre los terminales móviles y las redes terrenas. El diseño de esta red es tremendamente importante en la configuración de una red celular, y gran parte del éxito o fracaso de la calidad de una red pasa por la planificación adecuada de este subsistema.

### Conmutación

La conmutación o estructura de red es el subsistema encargado de llevar las comunicaciones por tierra desde la estación base a la que se conecta el móvil hasta su conexión con la red destino de la llamada (generalmente la red fija) o hacia otra estación base a la que se encuentra conectado otro móvil. Se incluyen dentro de los sistemas de red todas aquellas bases de datos que apoyan a las distintas funciones del sistema.

### Transmisión

Es la estructura de enlaces que soporta las comunicaciones entre los diversos elementos de red. Es un elemento importante en la planificación, dado que implica grandes costes de explotación, y al que no se presta la debida importancia por ser poco “llamativo” cuando se explican las funcionalidades y capacidades de una red celular. Este subsistema es común a cualquier red de telecomunicación.

Ya con nuestro sistema armado hay un aspecto final, que es necesario y muy importante, para mantener en operación y este sea redituable y auto sostenible.

### Operación y Mantenimiento

Otro de los subsistemas importantes en una red celular es el subsistema de operación y mantenimiento. Suele quedar fuera de todos los planes de estudio, dado que el funcionamiento teórico de la red no necesita de este subsistema. No obstante, no sería posible mantener en un correcto funcionamiento una red de telecomunicaciones sin un sistema de operación y mantenimiento que permita detectar y corregir o, al menos, ayudar a corregir los posibles fallos que se producen a diario en cualquier red.

### Explotación

Al igual que el anterior, el subsistema de explotación no suele aparecer en los libros de texto. Es más, los fabricantes de equipos de red sólo dotan a estos de un interfaz hacia el subsistema de explotación, que debe ser comprado o, en el mejor de los casos, desarrollado a medida para el operador.

El subsistema de explotación es el que permitirá al operador cobrar por el uso de su red, así como administrar la base de datos de sus clientes y configurar sus perfiles de usuario en función de las políticas comerciales desarrolladas.

## Generaciones de telefonía celular

## 1.- Introducción. Generaciones de telefonía celular.

Uno de los aspectos más interesantes del teléfono celular es que es solamente un radio extremadamente sofisticado, pero un radio a fin de cuentas.

Es difícil atribuir la invención de la radio a una única persona. En diferentes países se reconoce la paternidad en clave local: Aleksandr Stepánovich Popov hizo sus primeras demostraciones en San Petersburgo, Rusia; Nikola Tesla en San Luis (Missouri, Estados Unidos); Guillermo Marconi en el Reino Unido o el comandante Julio Cervera en España.

En 1824 el físico escocés James Clerk Maxwell formuló la teoría de las ondas electromagnéticas, que son la base de la radio. En 1888 el Físico alemán Heinrich Hertz descubrió las radioondas. En 1895 el italiano Guillermo Marconi construyó el primer sistema de radio, y en 1901 logró enviar señales a la otra orilla del Atlántico. El español Julio Cervera Baviera, que trabajó tres meses en 1898 en el laboratorio privado de Marconi es, según investigaciones realizadas por un profesor de la Universidad de Navarra, el inventor de la radio; Marconi inventó antes de Cervera la telegrafía sin hilos, pero no trabajó en la radio hasta 1913, mientras Cervera fue quien resolvió los problemas de la telefonía sin hilos, lo que conocemos hoy día como radio, al transmitir la voz humana -y no señales- sin hilos entre Alicante e Ibiza en 1902, y llegó a registrar la patente en cuatro países: España, Inglaterra, Alemania y Bélgica.

El teléfono móvil se remonta a los inicios de la Segunda Guerra Mundial, donde ya se veía que era necesaria la comunicación a distancia, es por eso que la compañía Motorola creó un equipo llamado Handie Talkie H12-16, que es un equipo que permite el contacto con las tropas vía ondas de radio cuya banda de frecuencias en ese tiempo no superaban los 60 MHz. A continuación se muestran fotografías (Foto 1.81) de teléfonos utilizados en la guerra.



Foto 1.81

Foto superior. Ejemplo de teléfonos usado en la segunda guerra mundial.

Foto izquierda. Ejemplo de cómo se utilizaba un Walkie Talkie utilizado en la guerra de Vietnam.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

Este fue el inicio de una de las tecnologías que más avances tiene, aunque continúa en la búsqueda de novedades y mejoras.

Los primeros sistemas de telefonía móvil civil empiezan a desarrollarse a partir de finales de los años 40 en los Estados Unidos. Eran sistemas de radio analógicos que utilizaban en el primer momento modulación en amplitud (AM) y posteriormente modulación en frecuencia (FM). Se popularizó el uso de sistemas FM gracias a su superior calidad de audio y resistencia a las interferencias. El servicio se daba en las bandas de HF y VHF.

Los primeros equipos eran enormes y pesados, por lo que estaban destinados casi exclusivamente a su uso a bordo de vehículos. Generalmente se instalaba el equipo de radio en el maletero y se pasaba un cable con el teléfono hasta el salpicadero del coche.

Una de las compañías pioneras que se dedicaron a la explotación de este servicio fue la americana Bell. Su servicio móvil fue llamado Bell System Service.

No era un servicio popular porque era extremadamente caro, pero estuvo operando (con actualizaciones tecnológicas, por supuesto) desde 1946 hasta 1985.

En La imagen 1.82 se muestra la instalación de un sistema de telefonía móvil en la década de los 50.

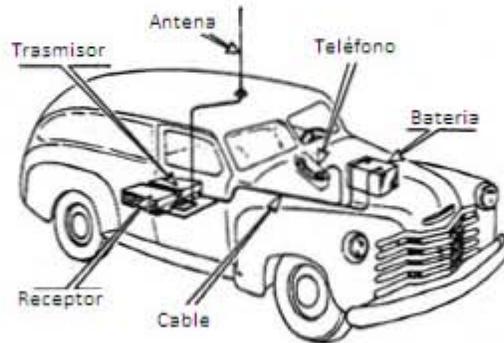


Imagen 1.82 Telefonía móvil dentro de un vehículo

En la actualidad se está extendiendo mucho el uso de navegadores para el automóvil y en la telefonía móvil. Un GPS (Global Positioning System) es un sistema de posicionamiento global, basado en un sistema de operaciones que está formado por satélites de navegación y satélites de control de órbita. El receptor GPS convierte la señal codificada que envía el satélite en valores de velocidad, posición y tiempo.

## 2.- Aspectos técnicos de la primera generación de celular. 1G

La 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979, si bien proliferó durante los años 80. Introdujo los teléfonos "celulares", basados en las redes celulares con múltiples estaciones de base relativamente cercanas unas de otras, y protocolos para el "traspaso" entre las celdas cuando el teléfono se movía de una celda a otra.

La transferencia analógica y estrictamente para voz son características identificadoras de la generación.

Con calidad de enlaces muy reducida, la velocidad de conexión no era mayor a (2400 bauds). En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad (Basadas en FDMA, Frequency Division Multiple Access), lo que limitaba en forma notable la cantidad de usuarios que el servicio podía ofrecer en forma simultánea ya que los protocolos de asignación de canal estáticos padecen de ésta limitación.

El Acceso múltiple por división de frecuencia (Frequency Division Multiple Access o FDMA, del inglés) es una técnica de multiplexación usada en múltiples protocolos de comunicaciones, tanto digitales como analógicas, principalmente de radiofrecuencia, y entre ellos en los teléfonos móviles de redes GSM.

En FDMA, el acceso al medio se realiza dividiendo el espectro disponible en canales, que corresponden a distintos rangos de frecuencia, asignando estos canales a los distintos usuarios y comunicaciones a realizar, sin interferirse entre sí. Los usuarios pueden compartir el acceso a estos distintos canales por diferentes métodos como TDMA, CDMA o SDMA, siendo estos protocolos usados indistintamente en los diferentes niveles del modelo OSI.

El modelo de interconexión de sistemas abiertos, también llamado OSI (en inglés open system interconnection) es el modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional para la Estandarización en el año 1984. Es decir, es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.

En algunos sistemas, como GSM, el FDMA se complementa con un mecanismo de cambio de canal según las necesidades de la red lo precisen, conocido en inglés como frequency hopping o "saltos en frecuencia".

Su primera aparición en la telefonía móvil fue en los equipos de telecomunicación de Primera Generación (años 1980), siendo de baja calidad de transmisión y una pésima seguridad. La velocidad máxima de transferencia de datos fue 2400 baudios.

Con respecto a la seguridad, las medidas preventivas no formaban parte de esta primitiva telefonía celular. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System), desarrollada principalmente por Bell. Si bien fue introducida inicialmente en los Estados Unidos, fue usada en otros países en forma extensiva.

Otro sistema conocido como Sistema de Comunicación de Acceso Total (TACS) fue introducido en el Reino Unido y muchos otros países.

El baudio (en inglés baud) es una unidad de medida, usada en telecomunicaciones, que representa el número de símbolos transmitidos por segundo en una red analógica.

Es importante resaltar que no se debe confundir el baud rate o velocidad en baudios con el bit rate o velocidad en bits por segundo, ya que cada evento de señalización (símbolo) transmitido puede transportar uno o más bits. Sólo cuando cada evento de señalización (símbolo) transporta un solo bit coincide la velocidad de transmisión de datos baudios y en bits por segundo. Las señales binarias tienen la tasa de bit igual a la tasa de símbolos ( $r_b = r_s$ ), con lo cual la duración de símbolo y la duración de bit son también iguales ( $T_s = T_b$ ).

$$n = r_b / r_s$$

Donde  $r_b$ : régimen binario o tasa de bits (bit rate)  $r_s$ : tasa de modulación o tasa de símbolos y  $n$ : número de bits por nivel para la codificación de línea

Se utilizó originariamente para medir la velocidad de las transmisiones telegráficas, tomando su nombre del ingeniero francés Jean Maurice Baudot, quien fue el primero en realizar este tipo de mediciones.

Ejemplos:

\* En el caso de las máquinas teletipo, todavía en uso en algunos medios, se decía que la velocidad de transmisión era normalmente de 50 baudios. En este caso, como los eventos eran simples cambios de voltaje 1-->(+) , 0-->(-) , cada evento representaba un solo bit o impulso elemental, y su velocidad de transmisión en bits por segundo coincidía con la velocidad en baudios.

\* Sin embargo, en los módems que utilizan diversos niveles de codificación, por ejemplo mediante modulación de fase, cada evento puede representar más de un bit, con lo cual ya no coinciden bits por segundo y baudios.

Si bien había diferencias en la especificación de los sistemas, eran conceptualmente muy similares. La información con la voz era transmitida en forma de frecuencia modulada al proveedor del servicio. Un canal de control era usado en forma simultánea para habilitar el traspaso a otro canal de comunicación de serlo necesario. La frecuencia de los canales era distinta para cada sistema. MNT usaba canales de 12.5KHz, AMPS de 30KHz y TACS de 25KHz.

El NMT (12.5KHz) (Nordisk MobilTelefoni o Nordiska gruppen MobilTelefoni, Telefonía Móvil Nórdica en Español) es el primer sistema de telefonía celular totalmente automático. Se ha precisado por las administraciones de telecomunicaciones nórdica (PTT) y se abrió para el servicio en 1981 como respuesta a la creciente congestión y los requisitos de pesado de las redes de telefonía móvil manual: ARP (150 MHz) en Finlandia y MTD (450 MHz) en Suecia, Noruega y Dinamarca. El sueco ingeniero eléctrico Östen Mäkitalo es considerado como el padre de este sistema, y del teléfono celular.

NMT se basa en la tecnología analógica (primera generación o 1G) y existen dos variantes: NMT-450 y NMT-900. Los números indican las bandas de frecuencia de usos. NMT-900 fue introducido en 1986, ya que tiene más canales que los anteriores NMT-450.

Las especificaciones NMT estaban libres y abiertos, permitiendo a muchas empresas a producir hardware NMT y empujando los precios hacia abajo. El éxito de NMT significó mucho para Nokia (entonces Mobira) y Ericsson. Primero fueron los ejecutores danesa Storno (entonces propiedad de General Electric, más tarde adquirida por Motorola) y AP (luego adquirida por Philips). Inicial teléfonos NMT fueron diseñados para montar en el maletero de un coche, con un teclado de la unidad o la pantalla en el asiento del conductor. "portátil" existían versiones: una sin duda podía moverse, pero eran voluminosos, y la duración de la batería era un gran problema. Modelos de los Últimos Días (como Benefon) fueron tan pequeñas como de 100 mm y pesa sólo 100 gramos.

La red NMT fue inaugurada en Suecia y Noruega en 1981, y en Dinamarca y Finlandia en 1982. Islandia se unió en 1986. Sin embargo, curiosamente para un estándar de telefonía móvil que tiene la palabra "nórdico" en él, el servicio de primer comercial fue introducido en Arabia Saudita el 1 de septiembre de 1981 hasta 1200 usuarios, un mes antes de que Suecia. En 1985 la red había crecido a 110.000 abonados en los países escandinavos y Finlandia, en Noruega solo 63.300, lo que la convirtió en la mayor red mundial de móviles en el momento.

La red NMT ha sido empleando sobre todo en los países nórdicos, Suiza, Holanda, Hungría, Polonia, Bulgaria, Rumania, los países en la República Checa, Eslovaquia, Eslovenia, Serbia, Turquía, Croacia, Bosnia, el Báltico y Rusia y en Asia. La introducción de las redes móviles digitales tales como el GSM ha reducido la popularidad de la TNM y algunas de las empresas de telefonía nórdicos han suspendido sus redes NMT. En Finlandia la red de TeliaSonera TNM fue suspendido el 31 de diciembre de 2002. Red NMT última de Noruega, suspendida el 31 de diciembre de 2004. TeliaSonera Suecia red NMT se suspendió el 31 de diciembre de 2007. La red NMT (450 MHz), sin embargo tiene una gran ventaja sobre GSM, que es el rango, esta ventaja es valioso en los países en grande pero escasamente poblado como Islandia. En Islandia, la red GSM alcanza el 98% de la población del país, pero sólo una pequeña proporción de su superficie terrestre. El sistema TNM sin embargo llega a la mayoría del país y una gran cantidad de las aguas circundantes, con lo que la red es muy popular entre los pescadores y aquellos que viajan en las montañas. En Islandia servicio NMT fue detenido el 1 de septiembre de 2010, cuando cerró Síminn que la red NMT a las 08:15 UTC.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

A su vez, el tamaño de los aparatos era mayor al de hoy en día; fueron originalmente diseñados para el uso en los automóviles. Motorola fue la primera compañía en introducir un teléfono realmente portátil.

Estos sistemas (NMT, AMPS, TACS, RTMI, C-Netz, y Radiocom 2000) fueron conocidos luego como la Primera Generación (G1) de Teléfonos Celulares.

En Setiembre de 1981 la primera red de telefonía celular con roaming automático comenzó en Arabia Saudita; siendo un sistema de la compañía NMT. Un mes más tarde los países Nórdicos comenzaron una red NMT con roaming automático entre países.

### AMPS - 30KHz

El Sistema Telefónico Móvil Avanzado o AMPS (del inglés Advanced Mobile Phone System) es un sistema de telefonía móvil de primera generación (1G, voz analógica) desarrollado por los laboratorios Bell. Se implementó por primera vez en 1982 en Estados Unidos. Se llegó a implantar también en Inglaterra y en Japón, con los nombres TACS y MCS-L1 respectivamente.

#### Funcionamiento

AMPS y los sistemas telefónicos móviles del mismo tipo dividen el espacio geográfico en una red de celdas o simplemente celdas (en inglés cells, de ahí el nombre de telefonía celular), de tal forma que las celdas adyacentes nunca usen las mismas frecuencias, para evitar interferencias. Para poder establecerse la comunicación entre usuarios que ocupan distintas celdas se interconectan todas las estaciones base a un MTSO (Mobile Telephone Switching Office), también llamado MSC (Mobile Switching Center). A partir de allí se establece una jerarquía como la del sistema telefónico ordinario.

#### Problemas del uso de esta tecnología.

El uso de sistemas celulares da algunos problemas, como los que se plantean si el usuario cambia de celda mientras está hablando. AMPS prevé esto y logra mantener la comunicación activa siempre y cuando haya canales disponibles en la celda en la que se entra. Esta transferencia de celda (en inglés denominada handoff) se basa en analizar la potencia de la señal emitida por el móvil y recibida en las distintas estaciones base y es coordinada por la MTSO. Depende del modo en el que se haga puede cortarse la comunicación unos 300 ms para reanudarse inmediatamente después o puede ser completamente inapreciable para el usuario.

AMPS usa 832 canales dobles, formados por 832 simples de bajada y otros 832 simples de subida, cada uno de ellos con un ancho de banda de 30KHz, frente a los 200KHz de sistemas como GSM. La banda de frecuencias usada va de 824 a 849 MHz para los canales de transmisión y de 869 a 894 Mhz para los canales de recepción. No todos los canales se usan para comunicación de los usuarios, sino que hay también canales destinados a control, a asignación de canales de conversación y para alertar de llamadas entrantes.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

AMPS pertenece la primera generación de telefonía móvil al tener la capacidad de alternar entre radiobases en zonas distantes sin perder la conexión.

### Uso actual

AMPS está siendo reemplazado por los sistemas digitales tales como GSM y D-AMPS (que no es más que AMPS en digital), pero ha sido un sistema de importancia histórica capital para el desarrollo de las comunicaciones móviles por el éxito obtenido y por las ideas novedosas que aportaba.

Actualmente muchas operadoras todavía la usan como tecnología de respaldo. Cubre más territorio que las digitales TDMA, GSM y CDMA, sin embargo, al ser netamente análoga, AMPS no es compatible con servicio de mensajería corta de texto ni ningún tipo de datos.

En la actualidad pocas operadoras han dado de baja sus redes AMPS:

- \* Telcel de México por ejemplo, tiene una red AMPS compartida con una TDMA de 800 Mhz y GSM en 1900 Mhz (PCS).

- \* Movistar de Venezuela compartió la red AMPS con CDMA2000 y GSM 850 Mhz hasta el 15 de marzo de 2007 cuando se apagó dicha red, para liberar espectro.

- \* Movilnet de Venezuela utilizó CDMA2000 y TDMA en conjunto. Este último fue apagado y se está realizando una inversión para implantar una red GSM en 850 y 1900 Mhz en el año 2008.

- \* Verizon Communications en República Dominicana la descartó migrando a CDMA2000 en 1900 Mhz para dejarla en desuso.

- \* Personal de Argentina es una de las pocas operadoras que tiene todas las generaciones: AMPS, TDMA, GSM y 3G con HSDPA, aunque ya anunció que apagará la primera el 31 de diciembre de 2007.

- \* En Ecuador recientemente Porta dio de baja la red TDMA/AMPS de 800 MHz por ordenanza de la Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador, con el fin de liberar el espectro electromagnético y dado el poco uso que se le daba; los usuarios pasarían a GSM 850 MHz. Estos cambios concluyeron en octubre de 2007.

- \* En el mismo país, Movistar anunció la baja de su red AMPS que se llevará a cabo a mediados de 2008; la red servía de apoyo para TDMA (que también será desmantelada junto a ésta) y para la actualmente en uso CDMA 800 MHz.

Total Access Communication System (25KHz) (TACS) y ETACS son variantes en su mayoría obsoletas-de los amperios que fueron utilizados en algunos países europeos (incluyendo el Reino Unido e Irlanda en 1983). TAC también se utilizó en Japón bajo el nombre japonés comunicaciones de acceso total (JTAC). También fue utilizado en Hong Kong. ETACS fue una versión extendida del TAC con más canales.

TACS y ETACS son obsoletos en Europa, habiendo sido sustituido por el sistema GSM. En el Reino Unido, el servicio de ETACS último operado por Vodafone se suspendió el 31 de mayo de 2001, después de dieciséis años de servicio. El servicio de la competencia en el Reino Unido operados por Cellnet (últimamente BTCellnet) fue cerrado el domingo 1 de octubre de 2000.

Eircell (ahora Vodafone España) cerró su red de TAC, el 26 de enero de 2001. Esto siguió a un largo período durante el cual los clientes se les animó a cambiar a los servicios GSM. Cuando la red se cerró, hubo muy pocos, en su caso, los clientes TAC activo a la izquierda. Los clientes que cambiaron de red fueron capaces de mantener su número de teléfono, pero el prefijo (088) fue cambiado a GSM o (087) o 086 Eircell Digifone ahora GSM O2 Irlanda. En ese momento, la portabilidad de números móviles completa no estaba disponible para los clientes TAC y el prefijo (088) estaba cerrado. Un mensaje de voz automático quedó en su lugar durante 12 meses asesorando a personas que llaman de nuevo prefijo del cliente.

ETACS Sin embargo, todavía en uso en un puñado de países en otras partes del mundo. NMT es otra norma analógica celular que fue utilizado ampliamente en Europa, principalmente en los países nórdicos, que ya ha sido totalmente sustituido por la tecnología GSM, excepto para un uso limitado en las zonas rurales debido a su rango superior.

Banda de frecuencias usadas por las ETACS en reino unido. Como se muestra en la tabla 1.5:

Canal	Célula TX (MHz)	Teléfono TX (MHz)	Notas
1	935.0125	890.0125	25kHz Canales Espaciados
23	935.5625	890.5625	1 al 21 Canales Dedicados Vodafone
24	935.5650	890.5650	2 al 21 Canales Dedicados Vodafone
300	942.4875	898.0625	9.5 Pico de desviación FM
323	943.0625	898.0625	1 al 21 Canales Dedicados Cellnet
600	949.9875	904.9875	Ultimo canal TACS, ETACS extendido hacia 1320.

Tabla 1.5 Frecuencias utilizadas por las ETACS

Con la aparición de una segunda generación totalmente digital, la primera generación de redes celulares se volvió obsoleta.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

En 1981 el fabricante Ericsson lanza el sistema NMT 450 (Nordic Mobile Telephony 450 MHz). Este sistema seguía utilizando canales de radio analógicos (frecuencias en torno a 450 MHz) con modulación en frecuencia (FM). Era el primer sistema del mundo de telefonía móvil tal como se entiende hoy en día.

Los equipos 1G pueden parecer algo aparatosos para los estándares actuales pero fueron un gran avance para su época, ya que podían ser trasladados y utilizados por una única persona.

Esta tecnología utilizaba transferencia analógica y solamente se podía transmitir voz. A principios de los 80's en Arabia Saudita, comenzó el Roaming automático.

En 1986, Ericsson modernizó el sistema, llevándolo hasta el nivel NMT 900. Esta nueva versión funcionaba prácticamente igual que la anterior pero a frecuencias superiores (del orden de 900 MHz). Esto permitió dar servicio a un mayor número de usuarios y avanzar en la portabilidad de los terminales.

El servicio fue especificado hacia 1970 y entró en servicio en 1981.

Las razones de su desarrollo se encuentran en los problemas de congestión de las redes de telefonía móvil existentes: ARP (150 MHz) en Finlandia y MTD (450 MHz) en Suecia, Noruega y Dinamarca.

NMT es una tecnología analógica, y según la frecuencia, existen dos variantes: NMT-450 y NMT-900. Los números indican las frecuencias utilizadas.

La norma NMT-900 fue introducida en 1986 porque podía utilizar más canales (y por lo tanto transportar más llamadas) que la norma 450.

Los principios técnicos de NMT estaban listos hacia 1973, y las especificaciones de las estaciones de base, hacia 1977.

Las especificaciones eran gratuitas y abiertas, permitiendo a todas las compañías que lo desearan, producir equipo NMT y bajar los precios.

El éxito de NMT significó para Mobira (el ancestro de Nokia) y Ericsson su despegue como compañías de la rama telecomunicaciones.

Al principio, los teléfonos NMT eran típicos de su época: eran transportables pero no portables; su utilización natural era a bordo de autos. Sin embargo, los modelos más recientes, como los de Benefon, eran tan pequeños que pesaban solamente 100g y medían apenas 100mm

La red fue inaugurada en Suecia y Noruega en 1981, y en Dinamarca y Finlandia en 1982. Islandia se les unió en 1986. Desde entonces, la red NMT ha sido usada además de Escandinavia, en Suiza, Holanda, Hungría, Eslovenia, Croacia, Bosnia, los países bálticos, y Rusia; pero también en Oriente Medio y Asia.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

El teléfono móvil Dynatac 8000x fue desarrollado en el año 1983 por Motorola, siendo el primer teléfono móvil del mundo. Pesaba 800 gramos y medía 33 por 4,5 por 8,9 centímetros. En la fecha de salida al mercado del producto, el terminal costaba 3.995 dólares estadounidenses y su batería tenía únicamente la autonomía de una hora en conversación. Un año más tarde (1984) 300.000 usuarios habían comprado el terminal. Este primer paso de la revolución móvil vino de la mano de Rudy Krolopp.

Además del típico teclado numérico (keypad) telefónico, tenía nueve teclas especiales, situadas debajo de éste:

Rcl (Recall).

Clr (Clear).

Snd (Send).

Sto (Store).

Fcn (Function).

End (End).

Pwr (Power).

Lock (Lock).

Vol (Volume).

A continuación se muestra este teléfono y sus componentes principales, en la imagen 1.83:

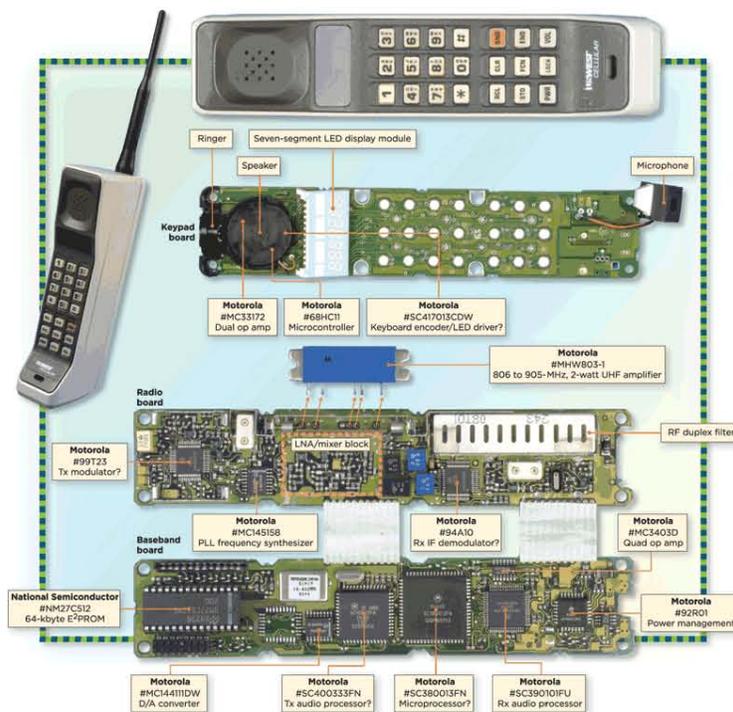


Imagen 1.33 Teléfono Dynatac 8000x y sus componentes

### 3.- Aspectos técnicos de la segunda generación de celular. 2G

2G (o 2-G) es la abreviatura de la tecnología de telefonía inalámbrica de segunda generación. Segunda generación de redes de telecomunicaciones 2G celular se lanzaron comercialmente en la norma GSM en Finlandia por Radiolinja (ahora parte de Elisa Oyj) en 1991. Tres principales ventajas de las redes 2G sobre sus predecesores que las conversaciones telefónicas fueron cifrados digitalmente, los sistemas 2G fueron significativamente más eficiente en el espectro que permite mucho mayor nivel de penetración de los teléfonos móviles, y 2G introducido servicios de datos para móviles, a partir de mensajes de texto SMS.

Después de 2G se puso en marcha, los anteriores sistemas de telefonía móvil se denominó retroactivamente 1G. Mientras que las señales de radio en redes 1G son analógicos, las señales de radio en redes 2G son digitales. Ambos sistemas utilizan señalización digital para conectar las torres de radio (que escuchar a los teléfonos móviles) para el resto de la red telefónica.

2G ha sido reemplazado por nuevas tecnologías como 2.5G, 2.75G, 3G y 4G, sin embargo, las redes 2G se siguen utilizando en muchas partes del mundo.

#### Tecnologías 2G

Tecnologías de 2G se puede dividir en las normas TDMA y CDMA basada en basada en función del tipo de multiplexación utilizada. El principal 2G normas son:

\* GSM (TDMA-basado), originaria de Europa pero que se utilizan en casi todos los países en los seis continentes habitados. Hoy en día las cuentas de más del 80% del total de suscriptores en todo el mundo. Más de 60 operadores GSM también está usando CDMA2000 en la banda de frecuencias de 450 MHz (CDMA450).

Circuit Switched Data (CSD) es la forma original de la transmisión de datos desarrollada para el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) móvil basada en los sistemas telefónicos como Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM). CSD utiliza una ranura de radio sola vez para entregar 9,6 kbit / s de transmisión de datos a la red GSM y del subsistema de conmutación en el que podría ser conectado a través del equivalente de un módem normal a la red telefónica pública conmutada (PSTN), que permite llamadas directas a cualquier dial-el servicio.

Antes de la CDS, la transmisión de datos a través de sistemas de telefonía móvil se llevó a cabo mediante un módem, ya sea incorporado en el teléfono o que se le atribuye. Dichos sistemas se han limitado por la calidad de la señal de audio a 2,4 kbit / s como máximo. Con la introducción de la transmisión digital en los sistemas basados en TDMA como GSM, la CDS proporciona un acceso casi directo a la señal digital subyacente, lo que permite velocidades más altas. Al mismo tiempo, el discurso orientado a la compresión de audio utilizado en las redes GSM en realidad quería decir que los tipos de datos mediante un módem tradicional conectado al teléfono habría sido aún menor que con los antiguos sistemas analógicos.

A las funciones de llamada CDS de una manera muy similar a una llamada de voz normal en una red GSM. Una única ranura de radio dedicado tiempo se reparte entre el teléfono y la estación base. Una "sub-ranura de tiempo" (16 kbit / s) se asigna desde la estación base para el transcoder, y finalmente otra franja horaria (de 64 kbit / s) se asigna desde el transcoder al Centro de conmutación móvil (MSC).

\* SE-95 también conocido como cdmaOne (basadas en CDMA, comúnmente conocido simplemente como CDMA en los EE.UU.), que se utiliza en América y partes de Asia. Hoy en día las cuentas por cerca de 17% de todos los suscriptores a nivel mundial. Más de una docena de operadores de CDMA han migrado a GSM, incluyendo los operadores en México, India, Australia y Corea del Sur.

Se trata de un estándar de telecomunicaciones móviles 2G que utiliza CDMA, un esquema de acceso múltiple para la radio digital, para enviar voz, datos y datos de señalización (como un número telefónico marcado) entre teléfonos móviles y sitios de la célula.

CDMA o "acceso múltiple por división de código" es un sistema de radio digital que transmite flujos de bits (códigos PN). CDMA permite que varias radios a compartir las mismas frecuencias. A diferencia de TDMA "acceso múltiple por división de tiempo", un sistema de competencia utilizado en 2G GSM, todas las radios pueden estar activos todo el tiempo, porque la capacidad de la red no se limitan directamente el número de radios activa. Dado que un mayor número de teléfonos se puede servir por un número menor de células sitios, las normas basadas en CDMA tienen una ventaja económica significativa sobre las normas TDMA-basado, o las más antiguas normas celular que utiliza la multiplexación por división de frecuencia.

En América del Norte, la tecnología compitió con Digital AMPS (IS-136, una tecnología TDMA). Ahora está siendo suplantado por el IS-2000 (CDMA2000), un estándar más basado en CDMA.

\* PDC (TDMA-basado), utilizado exclusivamente en Japón

Personal Digital Cellular (PDC) es un estándar de telecomunicaciones móviles 2G desarrollado y utilizado exclusivamente en Japón.

Después de un pico de casi 80 millones de suscriptores a PDC, había 46 millones de suscriptores en diciembre de 2005, y poco a poco están eliminando gradualmente en favor de las tecnologías 3G como W-CDMA y CDMA2000. A finales de octubre de 2008, el número se había reducido hasta 10,4 millones de suscriptores.

### Descripción técnica

Al igual que D-AMPS y GSM, PDC utiliza TDMA. El estándar fue definido por el RCR (más tarde se convirtió en ARIB) en abril de 1991, y NTT DoCoMo lanzó su servicio mova Digital en marzo de 1993. PDC compañía utiliza 25 kHz, modulación pi/4-DQPSK con 11.2 3-horario kbit / s (full-rate) o 6-horario 5,6 kbit / s (la mitad de tasa) códecs de voz.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

PDC se lleva a cabo en los 800 MHz (810-888 MHz enlace descendente, ascendente 893-958 MHz), y 1,5 GHz (enlace descendente de 1477-1501 MHz, enlace ascendente 1429-1453 MHz). La interfaz de aire se define en el RCR STD-27 y la red principal MAP por JJ-70.10. NEC y Ericsson son los principales fabricantes de equipos de red.

\* iDEN (TDMA-basado), propietaria de la red utilizada por Nextel en los Estados Unidos y la movilidad de Telus en Canadá

Integrated Digital Enhanced Network (iDEN) es una tecnología de telecomunicaciones móviles, desarrollado por Motorola, que proporciona a sus usuarios los beneficios de una radio troncalizado y un teléfono celular. iDEN lugares más usuarios en un espacio espectral, en comparación con los sistemas analógicos de radio celular y de doble vía, utilizando la compresión de expresión y el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).

iDEN es diseñado y con licencia para operar en las frecuencias individuales que pueden no ser contiguos. iDEN opera en canales de 25 kHz, pero sólo ocupa 20 kHz a fin de proporcionar protección contra la interferencia a través de bandas de guarda. En comparación, el celular TDMA (Digital AMPS) es licenciado en bloques de 30 canales kHz, pero cada emisión ocupa 40 kHz, y es capaz de servir el mismo número de abonados por cada canal como iDEN. iDEN utiliza la frecuencia de división de impresión a doble cara para transmitir y recibir señales por separado, con la transmisión y recepción de bandas separadas por 39 MHz, 45 MHz o 48 MHz en función de la banda de frecuencia que se utiliza.

iDEN soporta tres o seis interconexión de los usuarios (los usuarios de teléfonos) por canal, envío y seis usuarios (pulsar para hablar) por canal, usando el acceso múltiple por división de tiempo. La transmisión y recepción de las franjas horarias asignadas a cada usuario son deliberadamente compensar a tiempo para que un usuario no tiene que transmitir y recibir al mismo tiempo. Esto elimina la necesidad de un adaptador en el extremo móvil, ya doble cara de división de tiempo de uso de la sección de RF puede ser realizado.

\* SE-136 también conocido como D-AMPS (TDMA-basado, comúnmente conocida como simplemente "TDMA en los EE.UU.), que una vez fue prevalente en las Américas, pero la mayoría han migrado a GSM.

Los servicios de 2G se refieren con frecuencia como Servicio de Comunicaciones Personales o PCS, en los Estados Unidos.

IS-54 e IS-136 son de segunda generación (2G) de telefonía móvil, conocida como Digital AMPS (D-AMPS). Alguna vez fue prevalente en todo el continente americano, particularmente en los Estados Unidos y Canadá. D-AMPS se considera al final de su vida, y las redes existentes en su mayoría han sido reemplazados por la tecnología GSM / GPRS o tecnologías CDMA2000.

## Capítulo I Antecedentes Teóricos

Este sistema es más a menudo se refiere como TDMA. Ese nombre se basa en el acrónimo de acceso múltiple por división de tiempo, una técnica común de acceso múltiple que es utilizado por varios protocolos, incluyendo GSM, así como en la SE-54 y SE-136. Sin embargo, D-AMPS ha estado compitiendo contra GSM y los sistemas basados en el acceso múltiple por división de código (CDMA) para su adopción por las compañías de red, aunque ahora se está eliminando gradualmente en favor de GSM / GPRS y la tecnología CDMA2000.

D-AMPS utiliza los canales AMPS y permite una transición suave entre sistemas analógicos y digitales en la misma zona. La capacidad se incrementó sobre el diseño analógico anterior dividiendo cada par de canales de 30 kHz en tres ranuras de tiempo (por lo tanto, de división de tiempo) y comprimiendo digitalmente los datos de voz, con un rendimiento tres veces la capacidad de llamadas en una sola celda. Un sistema digital también se pide más seguro porque los escáneres analógicos no podían acceder a señales digitales. Pide fueron cifrados, aunque el algoritmo utilizado (CAEM) fue encontrado más tarde a ser débiles.

### Capacidades, ventajas y desventajas

#### Capacidad

Uso de señales digitales entre los dispositivos y la capacidad de las torres de sistema aumenta de dos maneras fundamentales:

- \* Datos de voz digital puede ser comprimida y multiplexada mucho más eficaz que la codificación de voz analógica a través de la utilización de codecs diferentes, permitiendo que más llama a ser embalados en la misma cantidad de ancho de banda de radio.

- \* Los sistemas digitales han sido diseñados para emitir menos energía de radio de los teléfonos. Esto significa que las células podrían ser más pequeños, así que más células podrían ser colocados en la misma cantidad de espacio. Esto fue también posible gracias a las torres de celulares y equipos relacionados con cada vez menos costosos.

#### Ventajas

- \* Las emisiones de energía más bajo ayudado a solucionar problemas de salud.
- \* El ir all-digital permitió la introducción de servicios digitales de datos, como SMS y correo electrónico.
- \* Se ha reducido enormemente el fraude. Con los sistemas analógicos que era posible tener dos o más "clonado" teléfonos que tenía el mismo número de teléfono.
- \* Mayor privacidad. Una ventaja clave digital no se menciona a menudo es que las llamadas celulares digitales son mucho más difíciles de interceptar por el uso de los escáneres de radio. Si bien la seguridad algoritmos utilizados han demostrado no ser tan seguro como en un principio anunciado, los teléfonos 2G son inmensamente más privado que 1G teléfonos, que no tienen ninguna protección contra las escuchas.

### Desventajas

\* En las zonas menos pobladas, más débil la señal digital no puede ser suficiente para llegar a una antena de telefonía móvil. Esto tiende a ser un problema particular en los sistemas 2G desplegados en frecuencias más altas, pero no es principalmente un problema en los sistemas 2G desplegados en frecuencias más bajas. Las regulaciones nacionales difieren mucho entre los países que dictan en 2G se puede implementar.

\* Analógica tiene una curva de caída suave, digital una Steppy irregulares. Esto puede ser a la vez una ventaja y una desventaja. En buenas condiciones, mejor sonido digital. En condiciones ligeramente peor, analógica experimenta estática, mientras digital ha abandonos ocasionales. Como las condiciones empeoran, sin embargo, digitales comienzan a fallar por completo, dejando caer las llamadas o ser ininteligibles, mientras analógica empeora lentamente, por lo general la celebración de una llamada más tiempo y permitir que al menos unas palabras a pasar.

\* A pesar de las llamadas digitales tienden a estar libres de ruido estático y el fondo, la compresión con pérdida utilizado por los codecs tiene un precio, la gama de sonidos que se transmiten se reduce. Oírás menos de la tonalidad de la voz de alguien hablando por un teléfono celular digital, pero lo escuchará con más claridad.

### Evolución

Redes 2G se construyeron principalmente para servicios de voz y transmisión de datos es lenta. Algunos protocolos, como GSM y EDGE para 1x-RTT para CDMA2000, se definen como "3G" de servicios (ya que se definen en los documentos de especificaciones IMT-2000), pero son considerados por el público en general a servicios de 2,5 G (o 2,75 G que suena aún más sofisticado) porque son varias veces más lento que el de hoy en día los servicios 3G.

### 2.5G (GPRS)

2.5G es un paso intermedio entre 2G y 3G, las tecnologías inalámbricas celulares. El término "segunda generación y media" se utiliza para describir los sistemas de 2G-que han puesto en marcha un dominio de conmutación de paquetes, además de la conmutación de circuitos de dominio. No tiene por qué proporcionar servicios más rápidos debido a la agrupación de intervalos de tiempo se utiliza para servicios de datos con conmutación de circuitos (HSCSD) también.

El primer paso importante en la evolución de las redes de GSM a 3G se produjo con la introducción de General Packet Radio Service (GPRS). Redes CDMA2000 evolucionado de manera similar a través de la introducción de 1xRTT. La combinación de estas capacidades llegó a ser conocida como 2.5G.

GPRS puede proporcionar velocidades de datos de 56 kbit / s hasta 115 kbit / s. Se puede utilizar para servicios tales como Wireless Application Protocol (WAP) de acceso, servicio de mensajería multimedia (MMS), y para los servicios de comunicación de Internet como el correo electrónico y el World Wide Web de acceso.

GPRS de transferencia de datos es generalmente cobra por megabyte de tráfico transferido, mientras que la comunicación de datos a través de conmutación de circuitos tradicionales se factura por minuto de tiempo de conexión, independiente de si el usuario es en realidad la utilización de la capacidad o está en un estado de inactividad.

1xRTT apoya bi-direccional (arriba y enlace descendente) Precio de datos pico de hasta 153,6 kbit / s, la entrega de un usuario medio de transmisión de datos de 80 a 100 kbit / s en redes comerciales. También se puede utilizar para WAP, SMS y MMS servicios, así como el acceso a Internet.

### 2.75G (EDGE)

Redes de GPRS a EDGE redes evolucionado con la introducción de 8PSK codificación. Velocidades de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM (EDGE), GPRS mejorado (EGPRS), o IMT portadora única (IMT-SC) es compatible con versiones anteriores de tecnología de telefonía móvil digital que permite mejorar las tasas de transmisión de datos, como una extensión en la parte superior de la norma GSM. EDGE fue desplegada en redes GSM a partir de 2003, inicialmente por parte de Cingular (ahora AT & T) en los Estados Unidos.

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) permite velocidades de datos hasta 384 Kbps. es estandarizado por 3GPP como parte de la familia GSM y es una actualización que proporciona un aumento potencial de tres veces en la capacidad de las redes GSM / GPRS. La especificación más alta alcanza tasas de datos (hasta 236,8 kbit / s) por el cambio a métodos más sofisticados de codificación (8PSK), en intervalos de tiempo GSM existentes.

La segunda generación de redes móviles (G2) marcó un quiebre con la primera generación de teléfonos celulares al pasar de tecnología analógica a digital.

Los principales estándares de telefonía móvil de G2 son:

GSM (Sistema global para las comunicaciones móviles): El estándar más usado en Europa a fines de siglo XX y también se admite en Estados Unidos. Este estándar utiliza las bandas de frecuencia de 900 MHz y de 1800 MHz en Europa. Sin embargo, en Estados Unidos la banda de frecuencia utilizada es la de 1900 MHz. Por lo tanto, los teléfonos móviles que pueden funcionar tanto en Europa como en Estados Unidos se denominan teléfonos de tribanda.

CDMA (Acceso múltiple por división de código): Utiliza una tecnología de espectro ensanchado que permite transmitir una señal de radio a través de un rango de frecuencia amplio.

TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo): Emplea una técnica de división de tiempo de los canales de comunicación para aumentar el volumen de los datos que se transmiten simultáneamente. Esta tecnología se usa, principalmente, en el continente americano, Nueva Zelanda y en la región del Pacífico asiático.

Gracias a la G2, es posible transmitir voz y datos digitales de volúmenes bajos, por ejemplo, mensajes de texto (SMS siglas en inglés de Servicio de mensajes cortos) o mensajes multimedia (MMS siglas en inglés de Servicio de mensajes multimedia). El estándar GSM permite una velocidad de datos máxima de 9,6 kbps.

Se han hecho ampliaciones al estándar GSM con el fin de mejorar el rendimiento. Una de esas extensiones es el servicio GPRS (Servicio general de paquetes de radio) que permite velocidades de datos teóricas en el orden de los 114 Kbits/s pero con un rendimiento cercano a los 40 Kbits/s en la práctica. Como esta tecnología no se encuentra dentro de la categoría "G3", se la llama G2.5.

El estándar EDGE (Velocidades de datos mejoradas para la evolución global) anunciado como G2.75, cuadruplica las mejoras en el rendimiento de GPRS con la tasa de datos teóricos anunciados de 384 Kbps, por lo tanto, admite aplicaciones de multimedia. En realidad, el estándar EDGE permite velocidades de datos teóricas de 473 Kbits/s pero ha sido limitado para cumplir con las especificaciones IMT-2000 (Telecomunicaciones móviles internacionales-2000) de la ITU (Unión internacional de telecomunicaciones).

### **4.- Aspectos técnicos de la tercera generación de celular. 3G**

3G o tercera generación de telecomunicaciones móviles, es una generación de estándares para teléfonos móviles y servicios móviles de telecomunicaciones el cumplimiento de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales-2000 (IMT - 2000). Pliego de condiciones por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Los servicios de aplicación incluyen teléfono de área amplia inalámbrica de voz, acceso a Internet móvil, video llamadas y TV móvil, todo ello en un entorno móvil. Para cumplir con las normas IMT-2000, un sistema está obligado a proporcionar datos de velocidades máximas de al menos 200 kbit / s. Recientes versiones 3G, 3.5G y denota a menudo 3.75G, también ofrecen acceso de banda ancha móvil de varios Mbit / s para teléfonos inteligentes y los módems de telefonía móvil en los ordenadores portátiles.

Las siguientes normas son generalmente 3G de marca:

\* El sistema UMTS, ofreció por primera vez en 2001, estandarizada por 3GPP, usado principalmente en Europa, Japón, China (sin embargo con una interfaz de radio diferente) y otras regiones con predominio de la infraestructura del sistema GSM 2G. Los teléfonos celulares son normalmente UMTS y GSM híbridos. Varias interfaces de radio se ofrecen, compartiendo la misma infraestructura:

- o La interfaz de radio original y más extendida se llama W-CDMA.

- o La interfaz de radio TD-SCDMA, se comercializó en 2009 y sólo se ofrece en China.

- o La última versión UMTS, HSPA +, puede proporcionar velocidades de datos pico de hasta 56 Mbit / s en el enlace descendente en la teoría (28 Mbit / s en los servicios existentes) y 22 Mbit / s en el enlace ascendente.

Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) es uno de los de tercera generación (3G), tecnologías de las telecomunicaciones móviles, que también se está desarrollando en una tecnología 4G. El primer despliegue del UMTS es la release99 (R99) de la arquitectura. Se especifica por el 3GPP y es parte de la mundial ITU IMT-2000. La forma más común de UMTS utiliza W-CDMA (IMT ensanchamiento directo) como la interfaz de aire subyacente pero el sistema también cubre TD-CDMA y TD-SCDMA (tanto a las IMT CDMA TDD). Al ser un sistema de red completo, UMTS también abarca la red de acceso radio (UMTS Terrestrial Radio Access Network, o UTRAN) y la red principal (la parte de aplicaciones móviles, o MAP), así como la autenticación de los usuarios a través de tarjetas SIM (Subscriber Identity Module) La figura 1.84 de la Arquitectura UMTS.

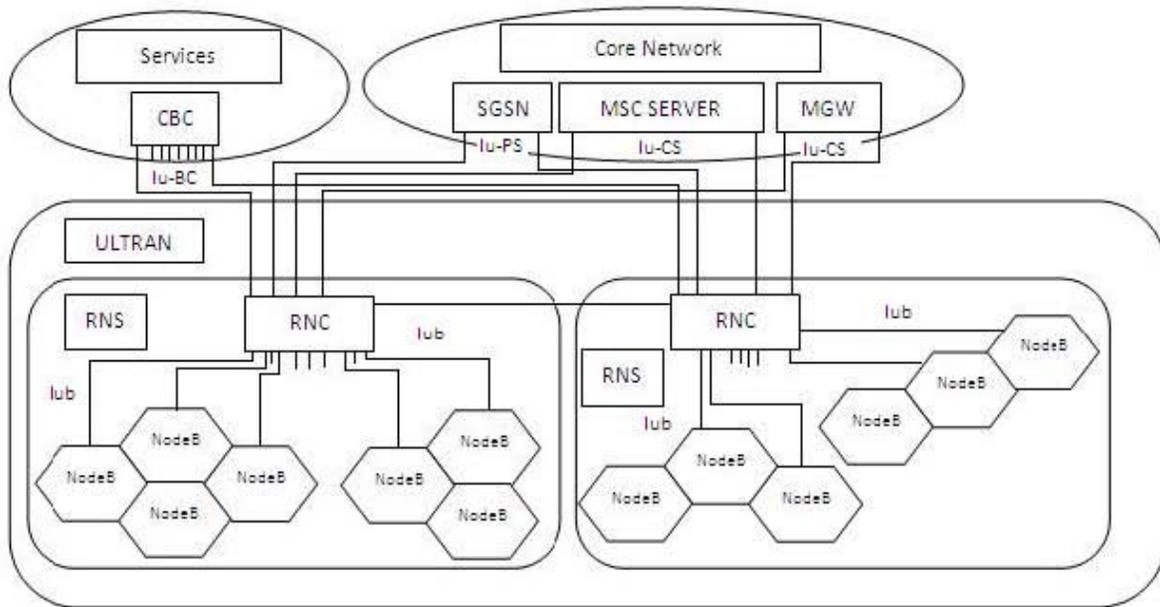


Imagen 1.84 Imagen de la arquitectura UMTS

A diferencia de EDGE (IMT portadora única, basada en GSM) y CDMA2000 (IMT Multi-Carrier), UMTS requiere nuevas estaciones base y las nuevas asignaciones de frecuencia. Sin embargo, está estrechamente relacionado con GSM / EDGE, ya que pide prestado y se basa en conceptos de GSM. Además, la mayoría de los teléfonos UMTS, GSM apoyo, lo que permite el funcionamiento continuo de modo dual. Por lo tanto, UMTS a veces se comercializa como 3GSM, haciendo hincapié en la estrecha relación con el GSM y elemento diferenciador de las tecnologías competidoras.

### Características

UMTS, con 3GPP, soportes de datos máxima teórica tasas de transferencia de 45 Mbit / s (con HSPA +), aunque a los usuarios del momento en las redes desplegadas puede esperar una tasa de transferencia de hasta 384 kbit / s para dispositivos R99, y 7.2 Mbit / s para dispositivos HSDPA en la conexión del enlace descendente. Esto es aún mucho mayor que el 9,6 kbit / s de un error y GSM-circuito de conmutación de canal de datos corregidos o múltiples 9,6 kbit / s en canales HSCSD (14,4 kbit / s para CDMAOne), y en competencia con otras tecnologías de red tales como CDMA2000, PHS o WLAN, ofrece acceso a la World Wide Web y otros servicios de datos en dispositivos móviles.

Precusores de 3G son sistemas 2G de telefonía móvil, tales como GSM, cdmaOne, PDC, Digital AMPS, iDEN, PHS y otras tecnologías de 2G desplegadas en los diferentes países. En el caso de GSM, hay un camino de evolución de 2G, a GPRS, también conocida como 2.5G. GPRS es compatible con una tasa mucho mejores datos (hasta un máximo teórico de 140,8 kbit / s, aunque las tasas típicas están más cerca de 56 kbit / s) y de conmutación de paquetes en vez de orientado a conexión (conmutación de circuitos). Se despliega en muchos lugares donde se utiliza GSM. E-GPRS o EDGE, es una evolución del GPRS y se basa en sistemas más modernos de codificación. Con EDGE, los datos reales de paquetes de tarifas puede alcanzar alrededor de 180 kbit / s (en vigor). Sistemas EDGE se conocen como "Sistemas de 2.75G".

Desde 2006, las redes de UMTS en muchos países han sido o están en proceso de ser actualizado con High Speed Downlink Packet Access (HSDPA), a veces conocida como 3.5G. En la actualidad, HSDPA permite velocidades de descarga de transferencia de hasta 21 Mbit / s.

El trabajo también avanza en la mejora de la velocidad de transferencia de enlace ascendente con el Alto-Speed Uplink Packet Access (HSUPA). A más largo plazo, el proyecto 3GPP Long Term Evolución de los planes para mover UMTS a 4G velocidades de 100 Mbit / s de bajada y 50 Mbit / s de subida, con un aire de nueva generación de tecnología de interfaz basada en la multiplexación por división ortogonal de frecuencia.

La primera UMTS redes nacionales de consumidores puso en marcha en 2002 con un fuerte énfasis en telecomunicaciones proporcionados por las aplicaciones móviles tales como la televisión móvil y video llamadas. Las velocidades de datos de alta de UMTS son ahora más a menudo se utiliza para acceder a Internet: la experiencia en Japón y en otros lugares ha demostrado que la demanda de los usuarios de llamadas de video no es muy alta, y la empresa de telecomunicaciones proporcionados por contenidos de audio y de vídeo ha disminuido en popularidad a favor de la alta velocidad el acceso a la World Wide Web - ya sea directamente en un teléfono o conectados a un ordenador a través de Wi-Fi, Bluetooth, infrarrojos o USB.

\* el sistema CDMA2000, ofreció por primera vez en 2002, estandarizado por 3GPP2, usada especialmente en América del Norte y Corea del Sur, compartición de infraestructuras con la SE-95 2G estándar. Los teléfonos celulares son normalmente CDMA2000 y ES-95 híbridos. La última versión EVDO Rev B ofrece tasas de pico de 14.7 Mbit / s downstreams.

CDMA2000 (también conocido como IMT multi portadora (IMT-MC)) es una familia de 3G los estándares de tecnología móvil, que utilizan el acceso CDMA canal, para enviar voz, datos y señalización de datos entre teléfonos móviles y sitios de la célula. El conjunto de normas incluye: CDMA2000 1X, CDMA2000 EV-DO Rev. 0, CDMA2000 EV-DO Rev. A, y CDMA2000 EV-DO Rev. B Todos son interfaces aprobadas por la UIT, las IMT-2000. CDMA2000 tiene una historia relativamente larga y técnica es compatible con sus anteriores 2G iteración IS-95 (cdmaOne). En los Estados Unidos, CDMA2000 es una marca registrada de la Telecommunications Industry Association (TIA-EE.UU.). El sucesor de CDMA2000 es LTE, que forma parte de la familia compiten 3GPP.

Las especificaciones IMT-2000 (Telecomunicaciones móviles internacionales para el año 2000) de la Unión internacional de telecomunicaciones (ITU) definieron las características de la G3 (tercera generación de telefonía móvil). Las características más importantes son:

Alta velocidad de transmisión de datos:

144 Kbps con cobertura total para uso móvil.

384 Kbps con cobertura media para uso de peatones.

2 Mbps con áreas de cobertura reducida para uso fijo.

Compatibilidad mundial.

Compatibilidad de los servicios móviles de G3 con las redes de segunda generación.

La G3 ofrece velocidades de datos de más de 144 Kbit/s y de este modo brinda la posibilidad de usos multimedia, por ejemplo, transmisión de videos, video conferencias o acceso a Internet de alta velocidad. Las redes de G3 utilizan bandas con diferentes frecuencias a las redes anteriores: 1885 a 2025 MHz y 2110 a 2200 MHz.

El estándar G3 más importante que se usa en Europa se llama UMTS (Sistema universal de telecomunicaciones móviles) y emplea codificación W-CDMA (Acceso múltiple por división de código de banda ancha). La tecnología UMTS usa bandas de 5 MHz para transferir voz y datos con velocidades de datos que van desde los 384 Kbps a los 2 Mbps. El HSDPA (Acceso de alta velocidad del paquete de Downlink) es un protocolo de telefonía móvil de tercera generación, apodado "G3.5", que puede alcanzar velocidades de datos en el orden de los 8 a 10 Mbps. La tecnología HSDPA usa la banda de frecuencia de 5 GHz y codificación W-CDMA. Tabla 1.6:

Estándar	Generación	Banda de frecuencia	Rendimiento	
GSM	G2	Permite la transferencia de voz o datos digitales de bajo volumen.	9,6 kbps	9,6 kbps
GPRS	G2.5	Permite la transferencia de voz o datos digitales de volumen moderado.	21,4 a 171,2 kbps	48 kbps
EDGE	G2.75	Permite la transferencia simultánea de voz y datos digitales.	43,2 a 345,6 kbps	171 kbps
UMTS	G3	Permite la transferencia simultánea de voz y datos digitales a alta velocidad.	0,144 a 2 Mbps	384 kbps

Tabla 1.6 Generaciones de telefonía celular

## 5.- La historia de la telefonía celular en México

En 1989 la telefonía celular da sus primeros pasos en México cuando la compañía Iusacell empieza ofrecer el servicio en el Distrito Federal. Un año después, la compañía Telcel empieza sus operaciones ofreciendo también el servicio en la capital del país. Posteriormente ambas compañías empiezan a expandir sus redes a otras latitudes.

Para ese entonces el país ya se había dividido en 9 regiones. Cada una de estas regiones se dividen en 2 bandas de frecuencia, la Banda "A" y la Banda "B". En cada una de las 9 regiones habría un concesionario operando en la banda de frecuencias "A" (825-835 MHz, 870-880 MHz). La banda "B" (835-845 MHz, 880-890 MHz) operaría en todas las 9 regiones para un solo concesionario, en este caso, Radiomóvil Dipsa (Telcel).

Posteriormente la COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones) en 1997 lanza una convocatoria para licitar en México una nueva banda de frecuencias (1850-1970 MHz). Posterior a esta licitación aparecen nuevos operadores en estas bandas como Unefon, Pegaso PCS, Telcel y Iusacell.

### Concesionarios por Región

#### Región Compañía Celular

- 1 Baja Celular Mexicana (Bajacel)\*
- 2 Movitel del Noroeste (Movitel)\*
- 3 Telefonía Celular del Norte (Norcel)\*
- 4 Celular de Telefonía (Cedotel)\*
- 5 Comunicaciones Celulares de Occidente (Comcel)\*\*
- 6 Sistemas Telefónicos Portátiles Celulares\*\*
- 7 Telecomunicaciones del Golfo (Telcom)\*\*
- 8 Portatel del Sureste (Portatel)\*\*
- 9 SOS Telecomunicaciones (SOS)\*\*

\*Empresas adquiridas por Telefónica Movistar

\*\*Empresas del Grupo Iusacell

En agosto de 1998 empieza operar en nuestro país Nextel Internacional (Nextel), quien se alió con Motorola para establecer una red de radio digital (trunking) con la tecnología conocida como iDEN (integrated Digital Enhanced Network).

En 2001 la empresa española Telefonía Movistar, adquiere los 4 operadores del Norte del país (Cedotel, BajaCel, Norcel y Movitel). La transacción fue estimada en 1790 millones de dólares. Posteriormente en Mayo de 2002, Telefonía Movistar adquiere gran parte de las acciones de la compañía Pegaso PCS.

A este paso, el sector de la telefonía celular en México se compone únicamente de 5 compañías: Telcel, Iusacell, Telefónica Movistar, Unefon y Nextel. Telcel es el operador más importante en número de usuarios, con casi con el 76% del mercado nacional. Le sigue Movistar con 12%, Iusacel con 5%, Unefon con 4% y Nextel con menos del 3%.

### La teledensidad en México

Según la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL, [www.cft.gob.mx](http://www.cft.gob.mx)), los usuarios de telefonía celular en México superan los 35 millones, mientras que la telefonía fija apenas supera los 18 millones de líneas. Los 35 millones de usuarios, significa que uno de cada 3 mexicanos tiene un teléfono celular en las manos. La modalidad "El que llama paga", implementada por la COFETEL en mayo de 1999, fue un detonante importante en el incremento de la teledensidad celular (número de teléfonos por cada 100 habitantes). Anteriormente a esta medida, a un usuario se le aplicaba un costo por recibir llamadas. En la actualidad, los usuarios de telefonía celular que reciben una llamada local no tienen costo alguno. Al implementarse esta medida del que llama paga en tan sólo un año (del 1999 a 2000) se incrementó el número de usuarios casi al doble, pasando de 8 millones a 14 millones.

### 6.- Cuarta generación (4G)

La 4G son las siglas de la cuarta generación de telefonía móvil y estará basada totalmente en tecnología IP, alcanzando la convergencia entre las redes por cable e inalámbricas así como en computadoras, dispositivos electrónicos y tecnología de la información para proveer velocidad de acceso de 100 Mbps en movimiento y 5 Gbps en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) de punta la punta de alta seguridad para permitir ofrecer servicios de cualquier tipo, en cualquier momento y en cualquier lugar.

El WWRF (Wireless World Research Forum) define 4G como una red que funcione en la tecnología de Internet, combinándola con otros usos y tecnologías tales como Wi-Fi y WiMAX. La 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata. El IEEE aún no se ha pronunciado designando a la 4G como "más allá de la 3G".

En Noruega y Japón ya se está experimentando con las tecnologías de cuarta generación, estando TeliaSonera en el país escandinavo y NTT DoCoMo en el asiático, a la vanguardia. Ésta última realizó las primeras pruebas con un éxito rotundo (alcanzó 100 Mbps en un vehículo a 200 km/h) y espera poder lanzar comercialmente los primeros servicios de 4G en el año 2010. En España Yoigo espera poder empezar a desplegar su red 4G en 2011.

### 4G en México

Telefónica México, firma de telefonía móvil, se adelantó a su rival Telcel y concretó este viernes las primeras pruebas de la tecnología 4G o Long Term Evolution (LTE), en el marco de la feria de la computación y tecnología Campus Party México.

El 4G o LTE (que responde a los términos "Long Term Evolution", es decir, evolución a largo plazo.) es un conjunto de técnicas que permiten enviar datos de manera mucho más eficiente en un rango de espectro radioeléctrico menor, logrando el traslado de paquetes de datos de voz, imagen, texto o video como si fuese un enlace IP (Protocolo de interacción de Internet).

No será una transición brusca hacia el 4G, de hecho los operadores primero tendrán que rentabilizar las inversiones en 3G y evolucionar esta tecnología que ofrece mayor velocidad. La cuarta generación permitirá conectar un dispositivo móvil a 1Gb de velocidad en un punto fijo y hasta 100Mb en movimiento (hasta 120 Km/hora). La velocidad de subida será de 50Mb y la latencia será muy baja, siendo inferior a 10 ms.

### 7.- Introducción al estándar GSM

La red GSM (Sistema global de comunicaciones móviles) es, a comienzos del siglo XXI, el estándar más usado de Europa. Se denomina estándar "de segunda generación" (2G) porque, a diferencia de la primera generación de teléfonos portátiles, las comunicaciones se producen de un modo completamente digital.

En 1982, cuando fue estandarizado por primera vez, fue denominado "Groupe Spécial Mobile" y en 1991 se convirtió en un estándar internacional llamado "Sistema Global de Comunicaciones Móviles".

En Europa, el estándar GSM usa las bandas de frecuencia de 900MHz y 1800 MHz. Sin embargo, en los Estados Unidos se usa la banda de frecuencia de 1900 MHz. Por esa razón, los teléfonos portátiles que funcionan tanto en Europa como en los Estados Unidos se llaman tribanda y aquellos que funcionan sólo en Europa se denominan bibanda.

El estándar GSM permite un rendimiento máximo de 9,6 kbps, que permite transmisiones de voz y de datos digitales de volumen bajo, por ejemplo, mensajes de texto (SMS, Servicio de mensajes cortos) o mensajes multimedia (MMS, Servicio de mensajes multimedia).

El concepto de red celular

Las redes de telefonía móvil se basan en el concepto de celdas, es decir zonas circulares que se superponen para cubrir un área geográfica. Figura 1.85:

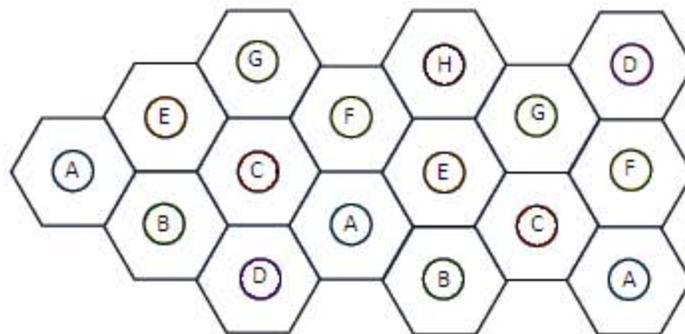


Figura 1.85 Concepto de celdas.

Las redes celulares se basan en el uso de un transmisor-receptor central en cada celda, denominado "estación base" (o Estación base transceptora, BTS).

Cuanto menor sea el radio de una celda, mayor será el ancho de banda disponible. Por lo tanto, en zonas urbanas muy pobladas, hay celdas con un radio de unos cientos de metros mientras que en zonas rurales hay celdas enormes de hasta 30 kilómetros que proporcionan cobertura.

En una red celular, cada celda está rodeada por 6 celdas contiguas (por esto las celdas generalmente se dibujan como un hexágono). Para evitar interferencia, las celdas adyacentes no pueden usar la misma frecuencia. En la práctica, dos celdas que usan el mismo rango de frecuencia deben estar separadas por una distancia equivalente a dos o tres veces el diámetro de la celda.

### Arquitectura de la red GSM

En una red GSM, la terminal del usuario se llama estación móvil. Una estación móvil está constituida por una tarjeta SIM (Módulo de identificación de abonado), que permite identificar de manera única al usuario y a la terminal móvil, o sea, al dispositivo del usuario (normalmente un teléfono portátil).

Las terminales (dispositivos) se identifican por medio de un número único de identificación de 15 dígitos denominado IMEI (Identificador internacional de equipos móviles). Cada tarjeta SIM posee un número de identificación único (y secreto) denominado IMSI (Identificador internacional de abonados móviles). Este código se puede proteger con una clave de 4 dígitos llamada código PIN.

Por lo tanto, la tarjeta SIM permite identificar a cada usuario independientemente de la terminal utilizada durante la comunicación con la estación base. Las comunicaciones entre una estación móvil y una estación base se producen a través de un vínculo de radio, por lo general denominado interfaz de aire (o en raras ocasiones, interfaz Um). Figura 1.86:

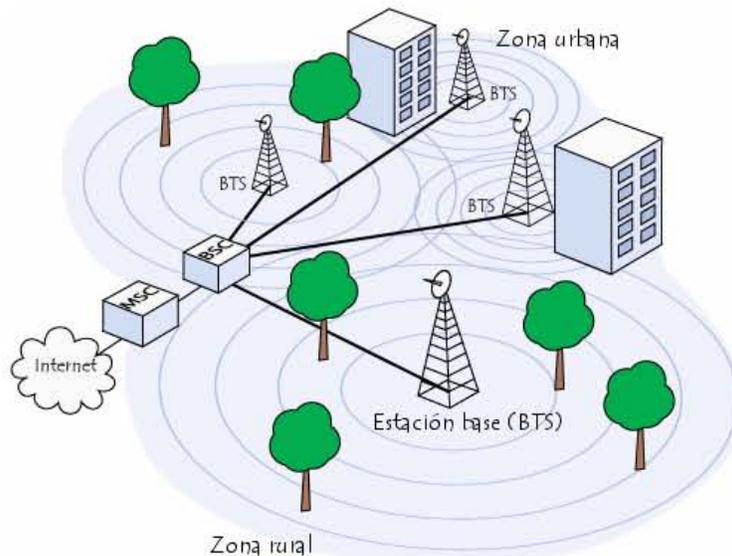


Figura 1.86 Arquitectura de la red GSM

Todas las estaciones base de una red celular están conectadas a un controlador de estaciones base (o BSC), que administra la distribución de los recursos. El sistema compuesto del controlador de estaciones base y sus estaciones base conectadas es el Subsistema de estaciones base (o BSS).

Por último, los controladores de estaciones base están físicamente conectados al Centro de conmutación móvil (MSC) que los conecta con la red de telefonía pública y con Internet; lo administra el operador de la red telefónica. El MSC pertenece a un Subsistema de conmutación de red (NSS) que gestiona las identidades de los usuarios, su ubicación y el establecimiento de comunicaciones con otros usuarios.

Generalmente, el MSC se conecta a bases de datos que proporcionan funciones adicionales:

El Registro de ubicación de origen (HLR): es una base de datos que contiene información (posición geográfica, información administrativa, etc.) de los abonados registrados dentro de la zona del conmutador (MSC).

El Registro de ubicación de visitante (VLR): es una base de datos que contiene información de usuarios que no son abonados locales. El VLR recupera los datos de un usuario nuevo del HLR de la zona de abonado del usuario. Los datos se conservan mientras el usuario está dentro de la zona y se eliminan en cuanto abandona la zona o después de un período de inactividad prolongado (terminal apagada).

El Registro de identificación del equipo (EIR): es una base de datos que contiene la lista de terminales móviles.

El Centro de autenticación (AUC): verifica las identidades de los usuarios.

La red celular compuesta de esta manera está diseñada para admitir movilidad a través de la gestión de trasposos (movimientos que se realizan de una celda a otra).

Finalmente, las redes GSM admiten el concepto de roaming: el movimiento desde la red de un operador a otra.

### Tarjeta SIM

Una tarjeta SIM contiene la siguiente información:

El número telefónico del abonado (MSISDN).

El número internacional de abonado (IMSI, Identificación internacional de abonados móviles).

El estado de la tarjeta SIM.

El código de servicio (operador).

La clave de autenticación.

El PIN (Código de identificación personal).

El PUK (Código personal de desbloqueo).

## Conclusiones del capítulo

### **Conclusiones del capítulo**

En este capítulo estudiamos los conceptos generales en las telecomunicaciones, que son fundamentales para entender la teoría de estos sistemas. Ya que estos sistemas analógicos y digitales como los conocemos se desarrollaron en cuestión en décadas, como lo vimos en los antecedentes históricos.

La historia de las telecomunicaciones ha surgido en paralelo al origen de las civilizaciones, el hombre en su conquista de explotar más recursos y ganar más terreno (generalmente en guerras), lo ha llevado a crear sistemas de telecomunicación muy ingeniosos, pareciera que aquellos tiempos en que Roma se comunicaba con antorchas (solo en la noche o días muy nublados) donde los capitanes las agitaban para movilizar a sus soldados y comunicar que requerían mas suministros o apoyo en alguna área. Pareciera que todo esto ha quedado atrás, pero no es así el hombre en estos momentos sigue y seguirá desarrollando sistemas con el simple objetivo de estar comunicado en cualquier momento y en cualquier lugar.

En esta tesis se desarrollara la implementación de un sistema GSM dentro del edificio corporativo y todo esto conjuga la necesidad del hombre por comunicarse entre sí. Los conceptos teóricos visto aquí en este capítulo son las bases para entender el funcionamiento de las comunicaciones inalámbricas que compone los sistemas de telefonía celular.

Hemos visto también las generaciones de telefonía celular y el gran avance logrando pasar de un sistema analógico a uno totalmente digital, en el siguiente capítulo (Capítulo II Situación actual del sistema GSM dentro de un edificio corporativo) analizaremos y veremos todo el funcionamiento del GSM que es el sistema que utilizaremos para la implementación.

Esta tesis se desarrolla para todos los lectores que no estén familiarizados o no conozcan las telecomunicaciones y la telefonía celular para poder entender la implementación de un sistema GSM dentro de un edificio corporativo.