

**Principios y Estrategias de Digitalización**

**Comparación Redes Analógicas/Digitales**

Sr. H. Leijon, UIT



**UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS  
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION  
UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES**





**ESTRATEGIAS Y PRINCIPIOS DE DIGITALIZACIÓN. COMPARACIÓN REDES ANALÓGICAS / DIGITALES**

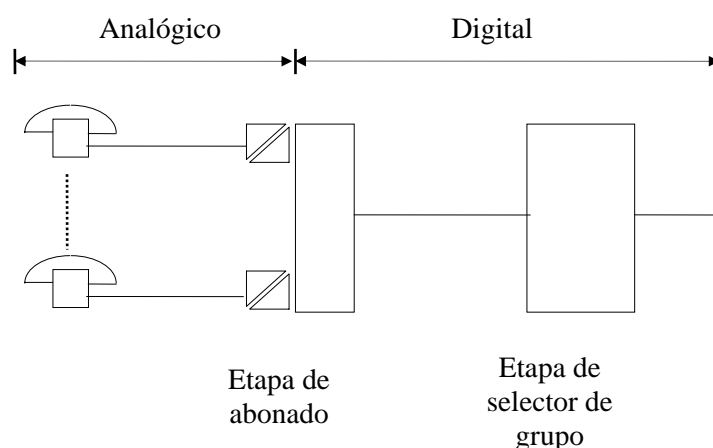
**Contenido**

1. INTRODUCCION
2. PRINCIPIOS DE DIGITALIZACION
  - 2.1 Generalidades
  - 2.2 Digitalización de Redes de Línea de Abonado
  - 2.3 Digitalización de Redes de Empalme
  - 2.4 Digitalización de Redes Troncales
3. ESTRATEGIAS DE DIGITALIZACION
  - 3.1 Generalidades
  - 3.2 Estrategia de Superposición
  - 3.3 Estrategia de Isla
  - 3.4 Estrategia Pragmática
  - 3.5 Ejemplos de una Digitalización Pragmática Por Etapas
4. COMPARACION DE REDES ANALOGICAS / DIGITALES
5. TENDENCIAS DEL DESARROLLO FUTURO

## 1. INTRODUCCION

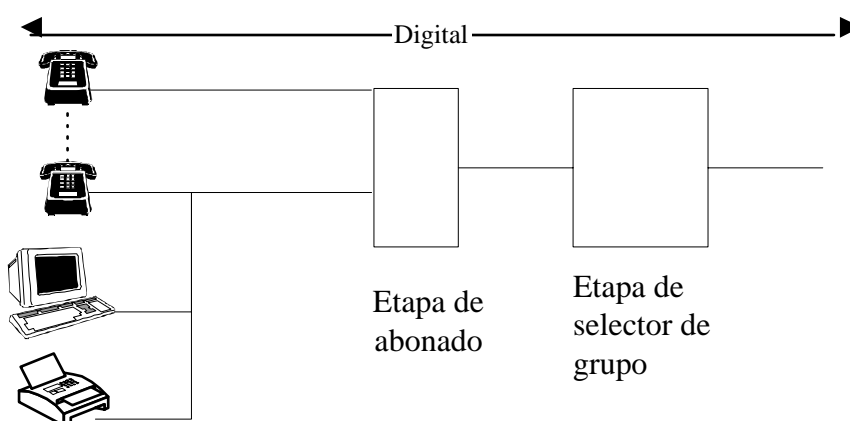
La digitalización de una red de telecomunicaciones es la introducción de transmisión digital y de componentes de conmutación digitales dentro de dicha red. Las razones son básicamente económicas, pero también hay otras razones, tales como, mejora y ampliación de servicios a los abonados, mejor calidad de transmisión, mejores facilidades de mantenimiento y operación, etc.

La mejor economía y funcionamiento se logra cuando la transmisión y la conmutación son digitales e integradas (no se necesitan conversiones A/D). Sin embargo, ya que los aparatos telefónicos existentes son analógicos y el costo de reemplazarlos por aparatos digitales es sustancial, las líneas de abonados se mantendrán analógicas, mientras el resto de la red se digitaliza. Esto nos lleva a la Red Digital Integrada (IDN; Integrated Digital Network, RDI) que es la primera meta en el proceso de digitalización, ver Figura 1.



**Figura 1: Primera meta RDI**

La digitalización final de las líneas de abonados, abre posibilidades futuras para conectar una amplia variedad de equipo digital en el sitio del abonado, tal como, terminales de datos, telefax, teletexto, etc. Entonces tenemos una Red Digital de Servicios Integrados (RDSI; Integrated Services Digital Network, ISDN), en la que los servicios telefónicos, servicios de datos, etc. son conmutados por una red integrada de telecomunicaciones, ver Figura 2.



**Figura 2: Meta final RDSI**

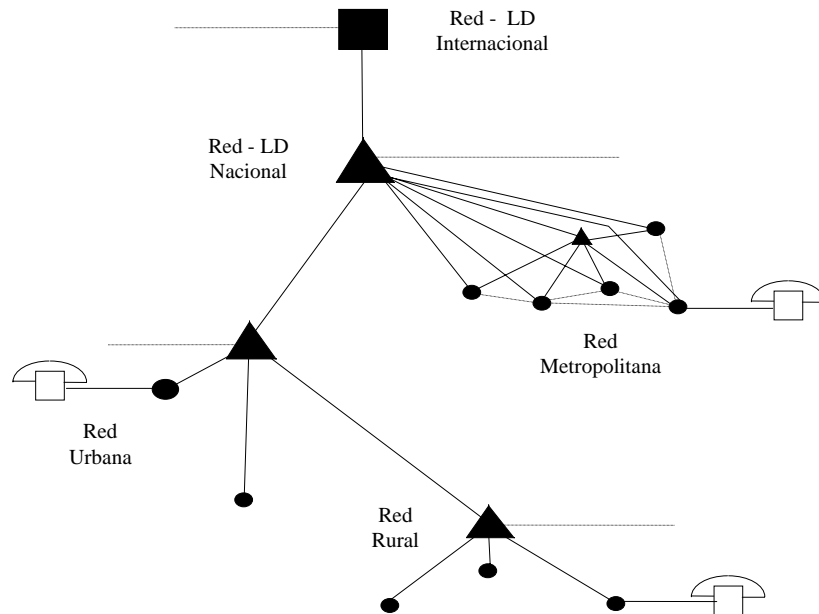
Ya que la red telefónica analógica existente es de lejos, la más importante entre los varios tipos que existen actualmente (teléfono, telex, datos, etc.), el desarrollo hacia RDI / RDSI se iniciará partiendo de esta red. Por lo tanto, el siguiente estudio de principios y estrategias de digitalización está basado en este hecho. El estudio continúa hasta la transición en RDI, porque la transición futura hasta la RDSI todavía tiene que ser discutida y formalizada en muchos

aspectos, por ej. por la UIT-T (ex CCITT). El estudio termina con una comparación entre las características de una red telefónica analógica y una red digital.

## 2. PRINCIPIOS DE DIGITALIZACION

### 2.1 GENERALIDADES

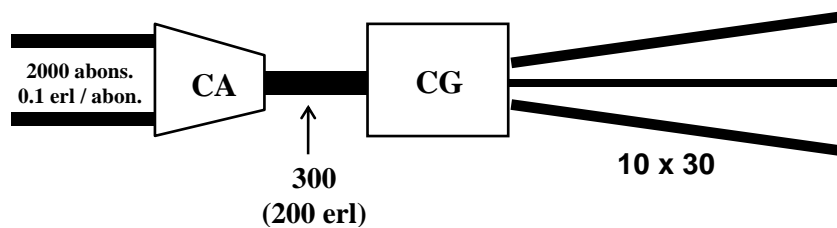
En la Figura 3 se muestra una red telefónica analógica típica. Estudiaremos la digitalización de varias partes de esta red.



**Figura 3: Estructura de una red analógica**

### 2.2 DIGITALIZACION DE REDES DE LINEAS DE ABONADOS

Las redes de líneas de abonado y centrales locales forman parte de redes metropolitanas, redes urbanas y redes rurales. Los principios de digitalización son muy semejantes en todos los casos, así que estudiemos la digitalización de una red de línea de abonado y una central local en el área de una ciudad, ver Figura 4. Hay 2,000 abonados conectados al conmutador de abonado, CA (Subscriber Switch, SS). El conmutador de grupo, CG (Group Switch, GS) de 2 hilos tiene rutas a otras 10 centrales, cada ruta con 30 líneas de empalme (junction lines) de 2 hilos. El CA y el CG están conectados con 300 conexiones de 2 hilos.



**Figura 4: Central local**

La Figura 5 muestra que los 2,000 abonados están conectados con un cable primario de 2,000 pares, desde la central a un gabinete de distribución de cable (simplificado a un gabinete solamente) desde donde 10 cables secundarios con 200 pares cada uno, llevan hacia los abonados.

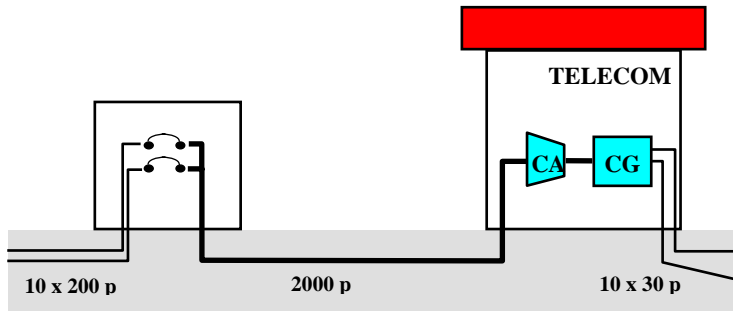


Figura 5: Conexión de abonados

Una reducción dramática en el cable primario se logra introduciendo MIC y un conmutador de abonado a distancia, ver Figura 6. Veinte (20) pares para 10 sistemas MIC de 30 canales (2 pares para cada sistema, 1 par por dirección de transmisión) dan aproximadamente 300 canales de voz entre los CA y CG a distancia, lo que en realidad hoy es más que suficiente para los 200 erlangs de tráfico que se ofrecen. El número de pares es reducido de 2,000 a 20, lo que es un factor de 100.

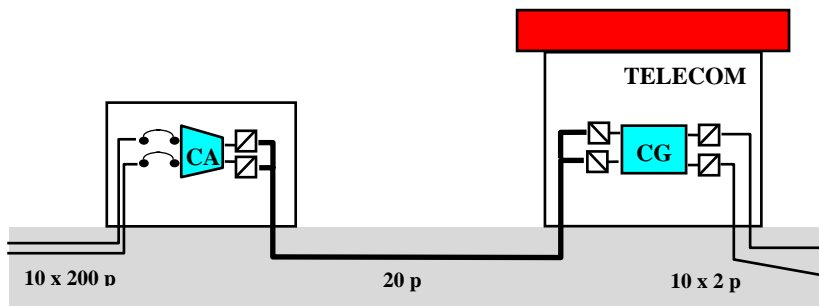


Figura 6: Introducción de la transmisión digital

En la Figura 6, hemos introducido también un sistema MIC de 30 canales en cada ruta de empalme (junction route), lo que resulta en una reducción de cables de empalme de 30 pares a 2 pares por ruta, lo que es un factor de 15. El factor de ganancia de par es menor que para el cable primario, porque un par de empalme (junction pair) originalmente lleva más tráfico que un par de abonado (0.7 - 0.8 erlangs comparado con 0.05 - 0.15 erlang). En el punto 2.3 se ven en mayor detalle los aspectos de digitalizaciones de una red de empalme (junction network).

Como puede verse, la ganancia de par al introducir MIC es sustancial. Desde luego que esto es hasta cierto grado compensado por el costo del equipo MIC.

Al introducir conmutadores digitales como se muestra en la Figura 7, solamente se necesitan convertidores A/D en las líneas de abonado que siguen siendo analógicas, ya que los aparatos telefónicos son analógicos. Tenemos ahora la estructura característica de una Red Digital Integrada, RDI (Integrated digital network, IDN).

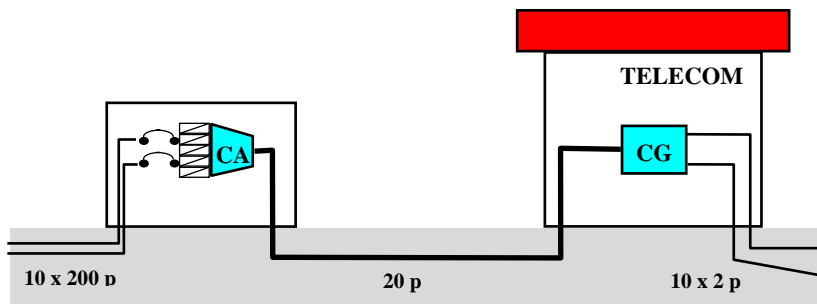


Figura 7: Introducción de conmutación digital

Las líneas de empalme son conexiones entre centrales locales y conexiones entre una central local y una central tándem o tránsito. Considere una ruta de empalme de 2 hilos entre 2 centrales locales (ver Figura 8). La ruta consiste en 300 empalmes o 300 pares. El costo de la ruta depende de la distancia, tal como se muestra, y es la suma del costo fijo del conmutador de grupo y el costo variable del cable que depende de la distancia.

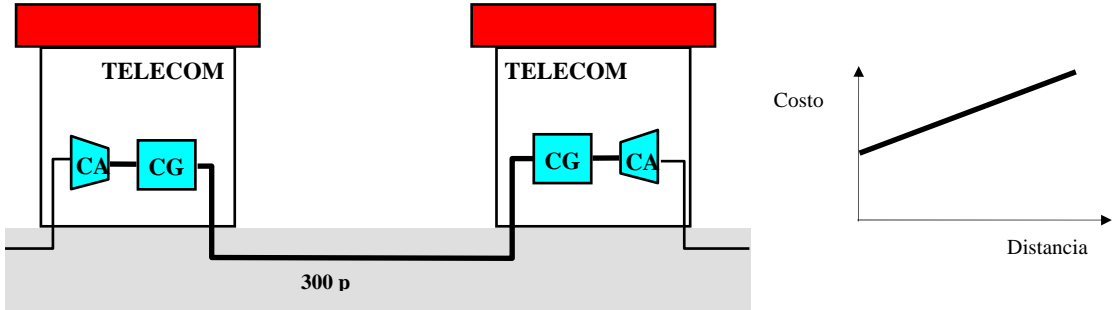


Figura 8: Ruta de empalme

En la Figura 9, hemos introducido MIC en la ruta. Diez 10 sistemas de 30 canales MIC siguen dando 300 conexiones, pero solamente 20 pares. Los costos de los terminales MIC aumentarán el costo fijo mientras el costo del cable se reduce y la ruta es económica más allá de una cierta distancia.

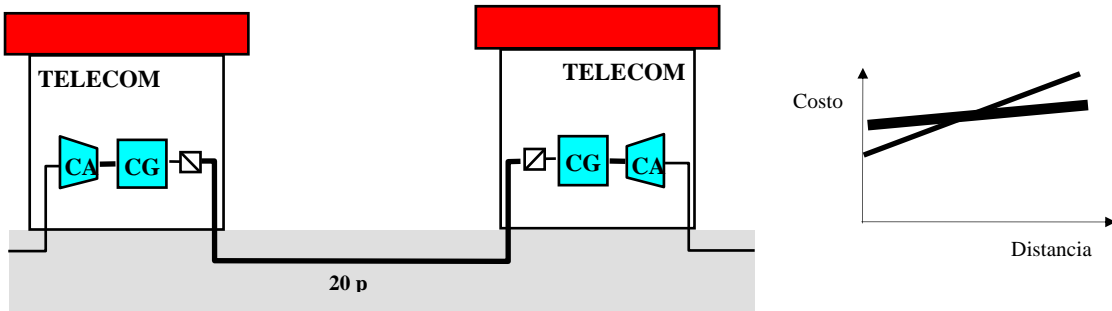


Figura 9: MIC en la ruta

Como en el caso de la red de línea de abonado, se logra la mayor economía cuando las centrales son digitalizadas y los terminales MIC son integrados a la central, ver Figura 10. El método es costo-efectivo desde 0 km.

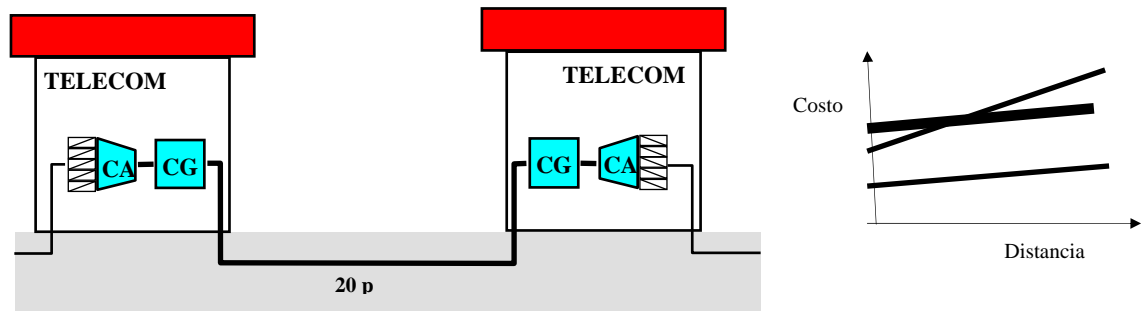


Figura 10: MIC en la ruta y centrales digitales

## 2.4 DIGITALIZACION DE REDES TRONCALES

Las troncales son conexiones entre centrales de tránsito en la red de larga distancia. Hoy en día estas conexiones se establecen por sistemas MDF (Multiplexión por División de Frecuencia; Frequency Division Multiplexing, FDM) de alta eficiencia, y los ahorros serían menores introduciendo sistemas de transmisión digital. Sin embargo, la economía en transmisiones de larga distancia digital mejora rápidamente, especialmente en sistemas de fibra óptica.

Al mantener transmisión analógica en la red de larga distancia, todavía podrían introducirse, con una buena economía, centrales de tránsito digitales, particularmente si las centrales locales y/o las líneas de empalme cooperantes son digitales.

## 3. ESTRATEGIAS DE DIGITALIZACION

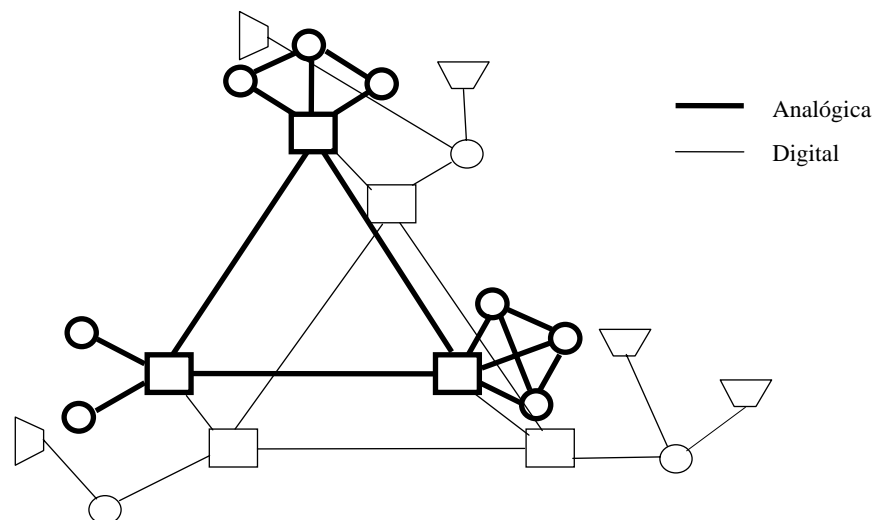
### 3.1 GENERALIDADES

Aunque se ha probado que la digitalización es económica, no es posible digitalizar toda la red en un solo paso, porque la inversión inicial y los recursos necesarios serían enormes. La digitalización tendrá que hacerse por etapas, un proceso paulatino de 20 a 40 años en la mayoría de países. Es por tanto importante que cada administración elabore su propia estrategia de digitalización para establecer dónde, cuándo y cómo se darán los diversos pasos de digitalización.

Hay tres estrategias diferentes:

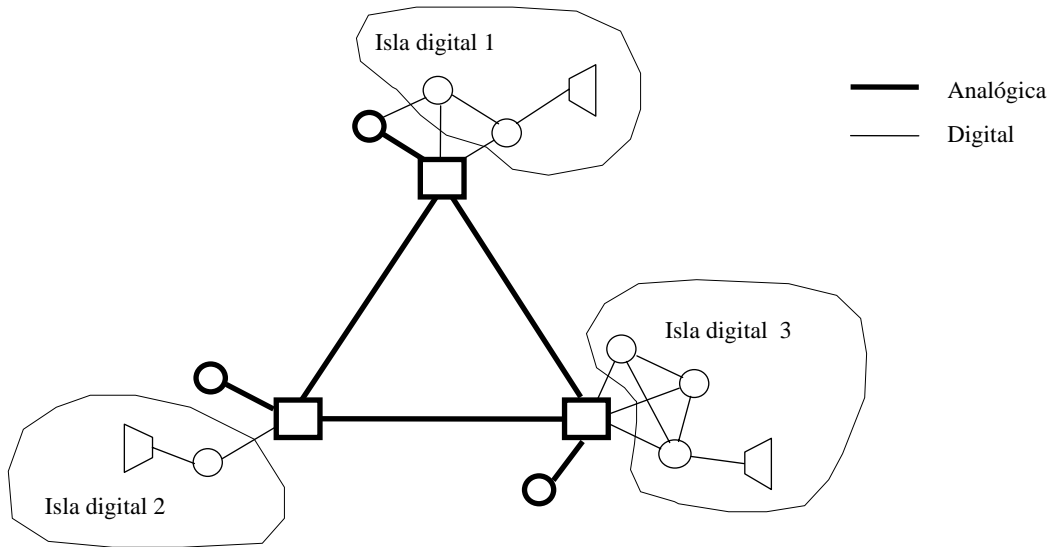
- Estrategia de Superposición
- Estrategia de Isla
- Estrategia Pragmática

La estrategia de superposición es para crear una red digital ligera (thin) extendida en una amplia área geográfica, sobrepuesta a la red analógica existente, ver Figura 11.



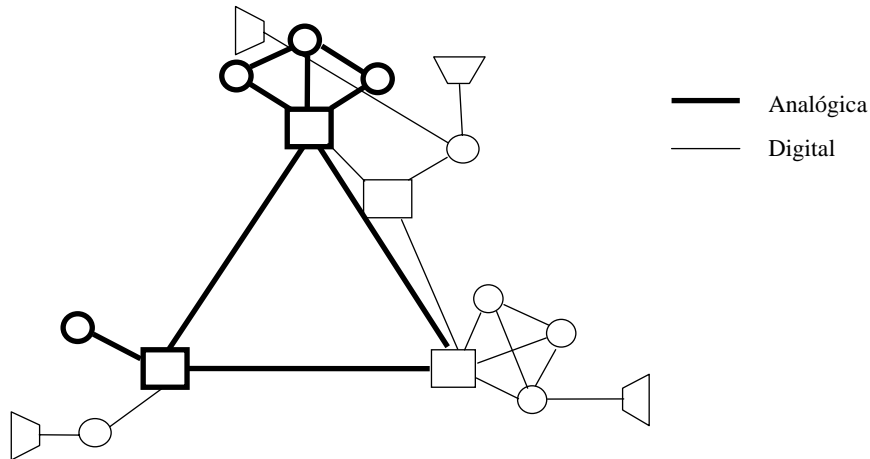
**Figura 11: Estrategia de superposición**

La estrategia de isla consiste en iniciar la digitalización proveyendo capacidad digital completa dentro de ciertas áreas geográficas limitadas, llamadas islas digitales (ver Figura 12).



**Figura 12: Estrategia de Isla**

La estrategia de superposición y la estrategia de isla son las principales. La estrategia pragmática es un compromiso práctico entre las dos (ver Figura 13).



**Figura 13: Estrategia pragmática**

En la siguiente breve descripción de las diferentes estrategias, se encuentran unos cuantos lineamientos para la elección de la estrategia.

### 3.2 ESTRATEGIA DE SUPERPOSICIÓN

Las características de la estrategia de superposición son:

1. Rápida provisión de servicios digitales a nivel nacional.
2. Altos costos de inversión inicial, comparados con la baja capacidad inicial provista. Esto se debe a que inicialmente se necesita cierta conmutación digital de larga distancia y facilidades de transmisión.
3. Personal adicional para operación y mantenimiento y equipo a nivel nacional, lo que significa un aumento en los costos de operación y mantenimiento.
4. Encaminamiento alternativo limitado en la etapa inicial, debido a la red tan ligera.
5. Diferente trato y servicios provistos a los abonados con acceso a la red de superposición, comparados con otros abonados en la misma área geográfica.

La temprana provisión de servicios digitales de extremo a extremo, hace que la estrategia de superposición se adecue más a países con una alta y urgente demanda de nuevos y mejores servicios telefónicos y donde la red analógica existente tenga proyectada una vida útil relativamente larga. La estrategia de superposición también se puede aplicar para crear una red separada dedicada a servicios no-voz en países donde dicha red aun no existe, hoy pero cuya demanda es apremiante.

La estrategia de superposición también podría ser dictada por la política de una Administración para cubrir el crecimiento de abonados y el tráfico por digitalización. Esto podría, por ejemplo, lograrse conectando nuevos abonados a conmutadores de abonados a distancia de unas pocas nuevas centrales digitales, en vez de ampliar las centrales analógicas existentes. Entonces las centrales digitales podrían interconectarse en una red de superposición a nivel nacional.

Nuevos y mejores servicios implican nuevos ingresos, que tienen que ser aprovechados por la alta inversión inicial y los costos adicionales de operación y mantenimiento a nivel nacional, que castigan la estrategia de superposición. También debe considerarse las limitadas posibilidades de encaminamiento alternativo en la etapa inicial y las rutas deben ser técnicamente manejadas de acuerdo a esto. Finalmente, el diferente trato y servicios prestados a los abonados con acceso a la red de superposición, comparados con los de otros abonados en la misma área geográfica, puede causar a la Administración problemas para explicar la diferencia, y se debe pensar cuidadosamente antes de tomar una decisión para adoptar la estrategia de superposición.

La demanda por nuevos y mejores servicios telefónicos y / o servicios no - voz mejorados, proviene en gran medida del sector de negocios, el cual normalmente contribuye a la mayor parte de los ingresos de una administración. Las actividades de negocios están principalmente concentradas en áreas metropolitanas. Combinado con el hecho de que los ahorros de digitalización son mayores en la red de abonado y empalme, el inicio del proceso de digitalización se vuelve muy atractivo en dichas áreas. También, si la misma estrategia es establecida por una política administrativa para lograr el crecimiento por digitalización, la ciudad y las áreas metropolitanas son las más indicadas como puntos de partida, porque generalmente estas áreas muestran los más altos índices de crecimiento.

### 3.3 ESTRATEGIA DE ISLA

Las características de la estrategia de isla son:

1. Provisión de servicios digitales completos dentro de ciertas áreas geográficas limitadas, por el reemplazo de la conmutación analógica y del equipo de transmisión existente. El servicio a nivel nacional no es necesariamente una meta inmediata.
2. Aprovechamiento completo desde el principio la conmutación y transmisión digitales integradas para el área de isla. El equipo digital puede ser concentrado en áreas donde es más necesitado y donde puede ser usado más efectivamente. Inicialmente no es necesario disponer de conmutación digital de larga distancia y de capacidades de transmisión. Por lo tanto es posible esperar economizar en facilidades digitales de largo alcance (long haul facilities).
3. Personal adicional para operación y mantenimiento se necesita solamente para la isla digital y no a nivel nacional.
4. Las posibilidades de encaminamiento alternativo no son afectadas, ni dentro de una isla digital ni tampoco entre islas digitales.
5. Dentro de la isla digital se provee a los abonados el mismo trato y servicio.

La estrategia de isla se adecua mejor a países con crecimiento localizado en áreas con una cantidad relativamente grande de centrales viejas que están al final de su tiempo de vida económica, han alcanzado su máxima capacidad de conmutación o no pueden ampliarse a menos que los edificios también se amplíen. Estas centrales son reemplazadas por centrales con mayor capacidad de conmutación y / o de menor tamaño. Las viejas centrales desmanteladas en relativa buena condición, pueden ser reacondicionadas y usadas en otros lugares donde todavía

pueden servir durante muchos años. Otras, que prácticamente están desgastadas y son muy caras de mantener a un nivel aceptable, son descartadas.

Un candidato para una isla digital también a menudo se caracteriza por tener transmisión digital ya existente en un grado relativamente grande. Al introducir la conmutación digital, se logra dentro de la isla digital la economía de la conmutación digital y de la transmisión integradas.

La estrategia de isla puede también ser ventajosa cuando grandes áreas geográficas separan áreas de crecimiento y el costo actual de interconexión de larga distancia digital es elevado.

Las áreas urbanas y metropolitanas parecen ser los mejores puntos de partida para la estrategia de isla, porque normalmente estas áreas muestran el más alto índice de crecimiento. Estas áreas también muestran con frecuencia el porcentaje más alto de transmisión digital existente.

### 3.4 ESTRATEGIA PRAGMATICA

Como vimos anteriormente, la estrategia de digitalización que habrá de adoptarse variará de país a país, dependiendo de la demanda de la red actual, la política de la administración, la configuración geográfica del país, etc. Sin embargo, al final es la economía negociada versus los servicios provistos lo que dicta la estrategia. En la mayoría de los casos ni la estrategia de superposición pura, ni tampoco la estrategia de isla por sí sola, presentan una negociación satisfactoria. En vez de esto, se tendrá que llegar a un compromiso, que es la estrategia pragmática.

Una estrategia pragmática busca lograr la mejor economía posible versus los servicios provistos por medio de:

1. Optimización del uso del equipo existente.
2. Optimización de la efectividad de la nueva inversión

La estrategia pragmática implica que al evolucionar una red hacia su configuración meta y naturaleza, partes de la misma pueden modernizarse (digitalizarse) por aplicaciones de superposición y otras partes pueden ser actualizadas por islas digitales. Al grado, que los elementos constitutivos que pueden jugar un papel importante en la evolución hacia RDI y RDSI son conservados (algunas veces modernizados).

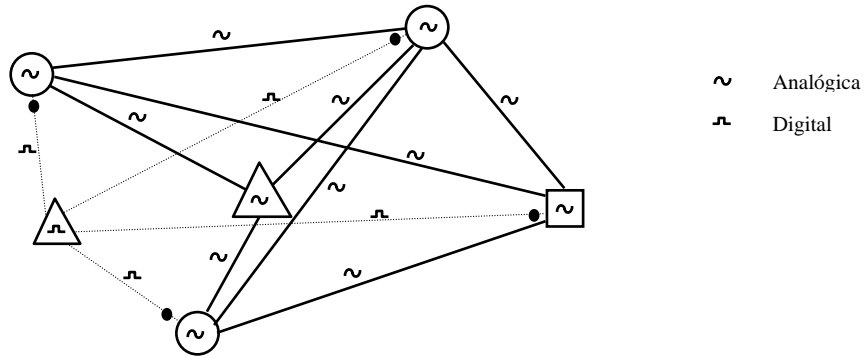
Una característica del control de estrategias pragmáticas es la tendencia a seguir las fuerzas naturales que conducen a la evolución de la red, tales como crecimiento en la demanda, el deseo de proveer la capacidad para nuevos servicios y la necesidad de modernizar la planta de telecomunicaciones, todo medido apropiadamente desde la perspectiva económica total. Esto significa que hay al menos tantas estrategias pragmáticas diferentes como países candidatos para la evolución a RDI / RDSI.

En general, las estrategias pragmáticas sugieren un análisis técnico y económico más detallado de las numerosas combinaciones potenciales de estrategias de isla y / o de superposición matizadas, aplicables a todos los segmentos de la red, para lograr una solución óptima. Para estos propósitos, se han desarrollado varios métodos computarizados de proyección y planeación óptima de redes.

### 3.5 EJEMPLOS DE UNA DIGITALIZACION PRAGMATICA POR ETAPAS

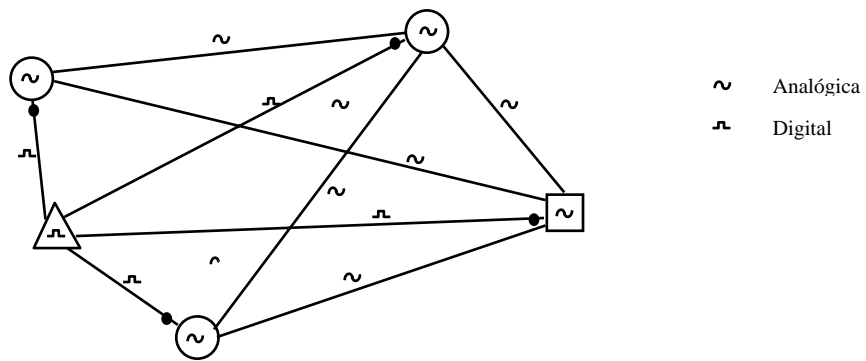
#### 3.5.1 *Introduciendo centrales locales y de tándem digitales*

Vamos a asumir que hemos decidido empezar la digitalización en un área metropolitana introduciendo una tándem digital, ver Figura 14. En este caso, todas las rutas existentes son analógicas desde el principio. En otros casos algunas de ellas podrían ya ser digitales.



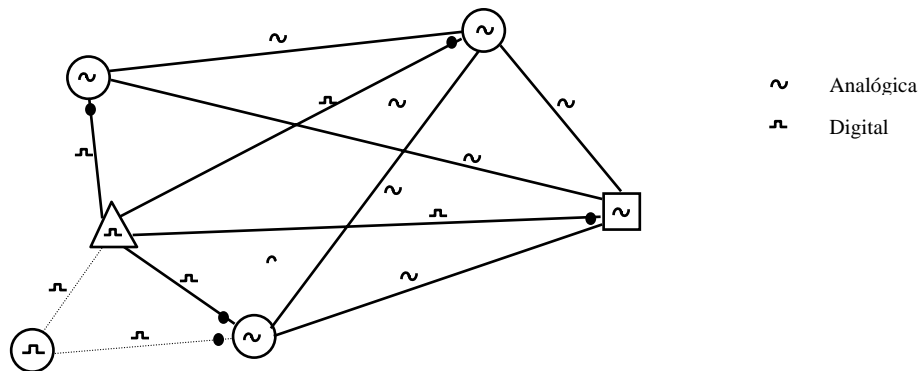
**Figura 14: Introducción de tándem digital**

En la Figura 15, el tándem analógico ha sido “desfasado”, pero esto no siempre es necesario.



**Figura 15: Tándem analógico desfasado**

La red podría ampliarse con nuevas centrales locales que son conectadas al tándem y a las centrales locales existentes, si fuera económico (ver Figura 16).



**Figura 16: Extensión con nueva central local**

Estudiamos una ruta directa entre 2 centrales locales y veamos si la modulación por impulsos codificados es interesante, (ver la Figura 17). Si los sistemas MIC en las rutas hacia la central tándem desde las dos centrales tienen capacidad extra, esta capacidad podría ser utilizada para una ruta directa entre las centrales, pasando por alto el tándem (ver Figura 18).

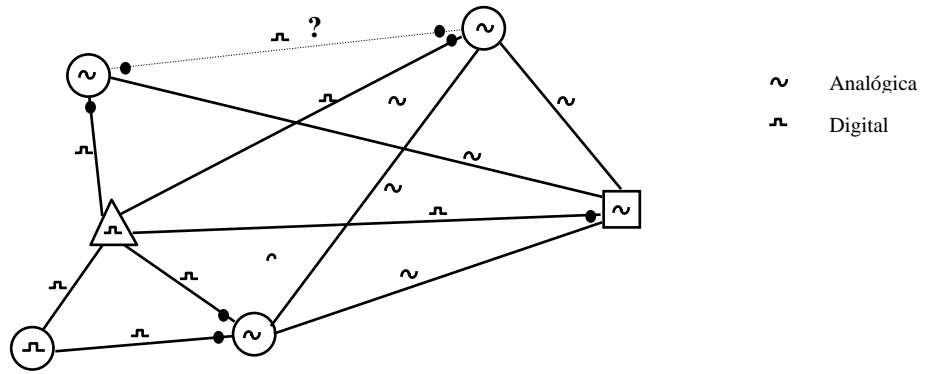


Figura 17: Es interesante MIC en la ruta indicada?

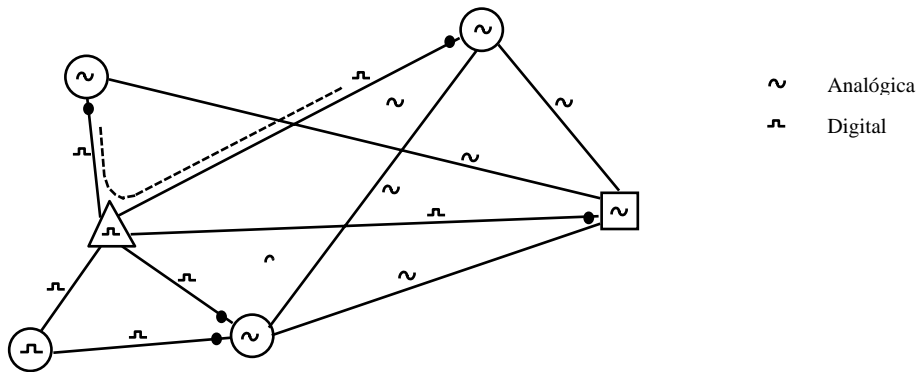


Figura 18: Ruta directa pasando por alto el tándem

La Figura 19 muestra un ejemplo de la ampliación de una central analógica con un conmutador de abonados a distancia conectado a la central tándem digital.. Una gráfica más detallada de esta situación se muestra en la Figura 20. El crecimiento en la central analógica es realizado por una red de superposición digital.

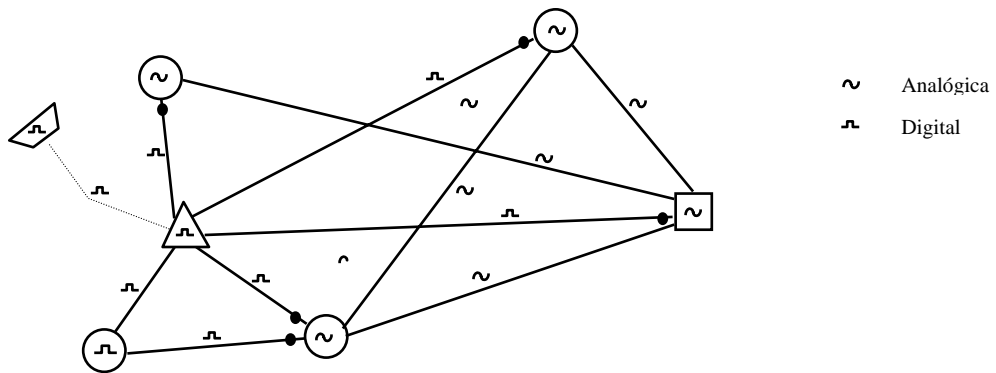


Figura 19: Ampliación de una central analógica con un conmutador de abonado a distancia

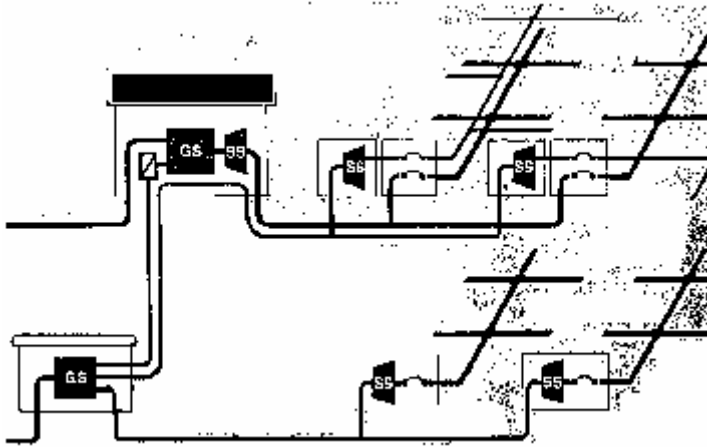


Figura 20: Red digital sobrepuesta

La Figura 21 muestra el reemplazo de una central local analógica con una central digital local. Las flechas indican el reuso de los terminales MIC.

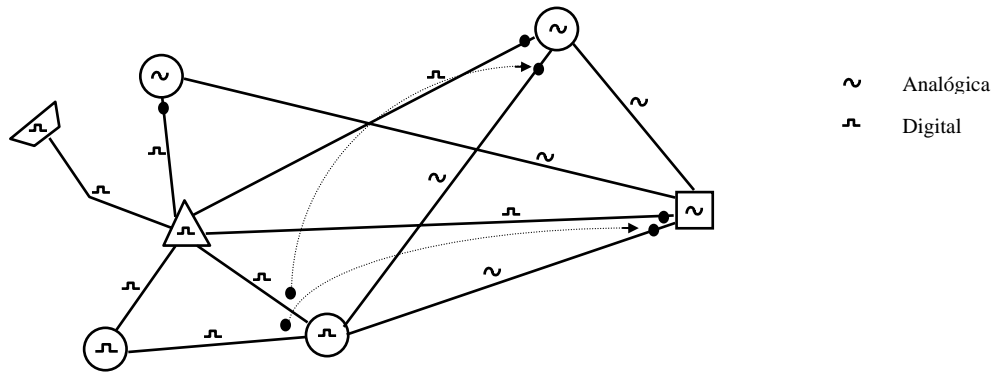


Figura 21: Reemplazo de central analógica.  
( las flechas indican el reuso de los terminales MIC )

La Figura 22 muestra con más detalle el procedimiento usado para reemplazar una central analógica por una central digital mientras ambas centrales están en servicio.

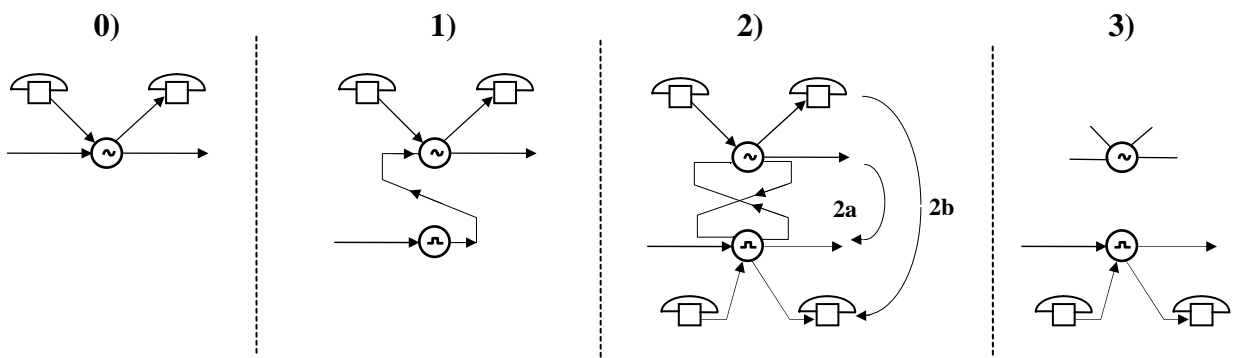
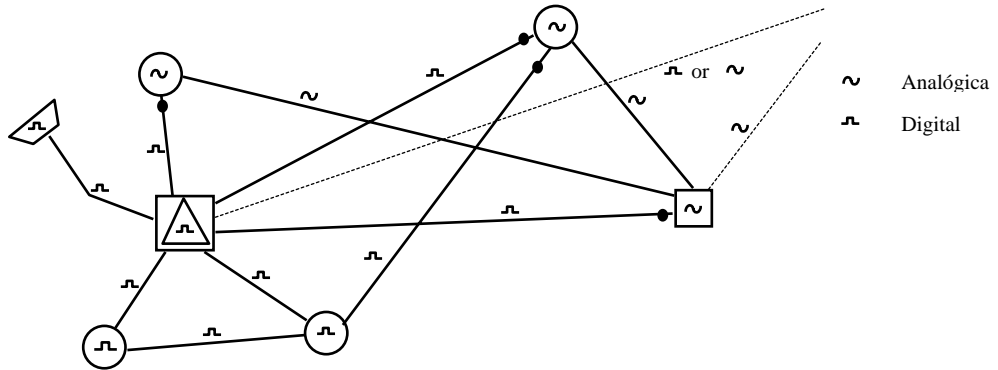


Figura 22: Reemplazo de una central analógica por una central digital

La Figura 23 muestra un ejemplo de la introducción de funciones de tránsito en la central tándem digital existente. El costo de ampliar la central de tránsito analógico existente al aumentar el tráfico de larga distancia, no se justifica en este caso en el largo plazo, comparado con la introducción de funciones de tránsito en la central tándem existente, la cual fácilmente puede ser convertida en una central combinada tándem / tránsito.



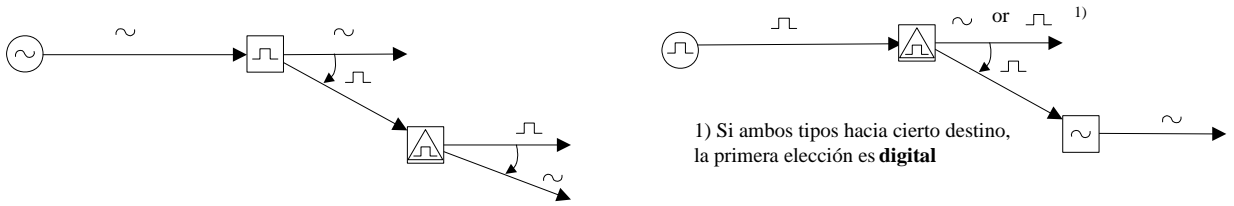
**Figura 23: Introducción de funciones de tránsito en una central tándem digital existente**

Las rutas tándem anteriores son ampliadas para que lleven tráfico de larga distancia también. La ruta de larga distancia entre la central de tránsito analógico y una de las centrales digitales locales se elimina. Esto crea puertos libres en la central de tránsito analógico, puertos que pueden ser usados para la ahora necesaria ampliación de la ruta hacia la central combinada tándem / tránsito.

Todos los nuevos circuitos troncales, tanto digitales como analógicos son conectados a la central tándem digital / tránsito, porque el circuito (hardware) es más barato y se evita el costoso trabajo de realambrado y readaptación en conexión con extensiones de rutas troncales conectadas a la central analógica.

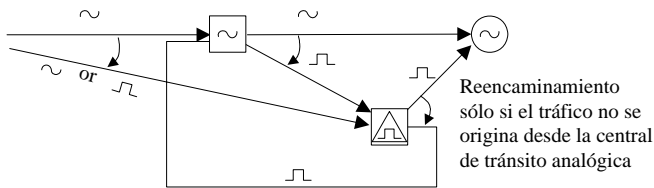
La Figura 24 muestra el encaminamiento de tráfico de larga distancia en esta red mixta analógico / digital. El principio más importante es separar el tráfico digital y el analógico tanto como sea posible para minimizar el número de conversiones analógico - digitales. Sólo en caso de congestión, se permite que el tráfico del “trayecto” digital desborde por el “trayecto” analógico y viceversa.

1. Tráfico LD saliente

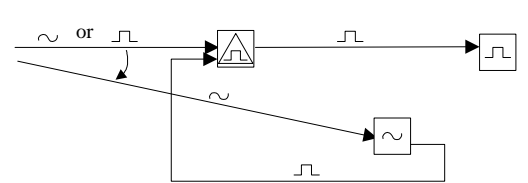


2. Tráfico LD destino de entrante

2.1 A centrales locales analógicas



2.2 A centrales locales digitales



3. Tráfico LD de tránsito

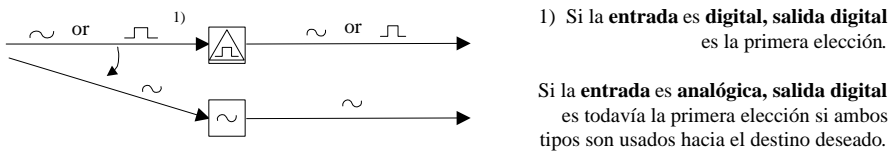


Figura 24: Encaminamiento de tráfico LD

La Figura 25 muestra la situación después que la central de tránsito analógico ha sido desmantelada.

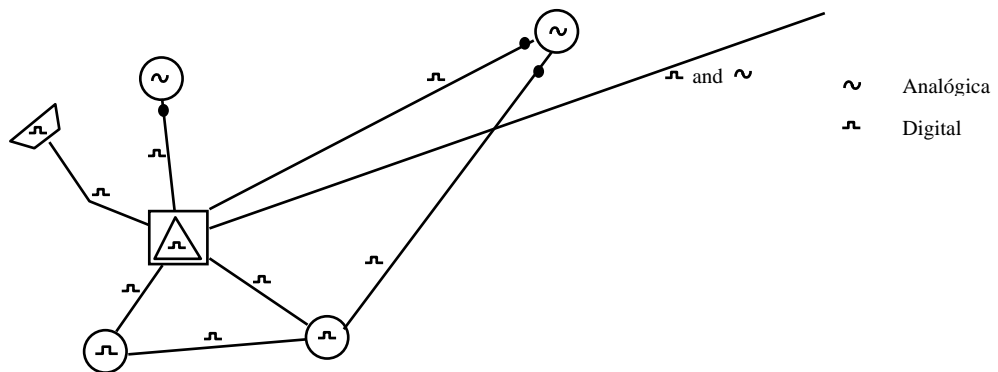
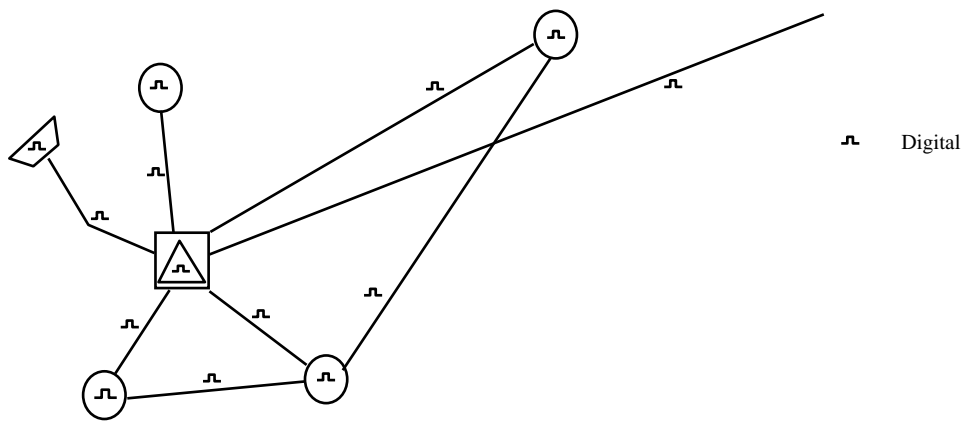


Figura 25: Central de tránsito analógico desmantelada

La Figura 26 muestra la estructura final de la red con la central combinada tándem tránsito.

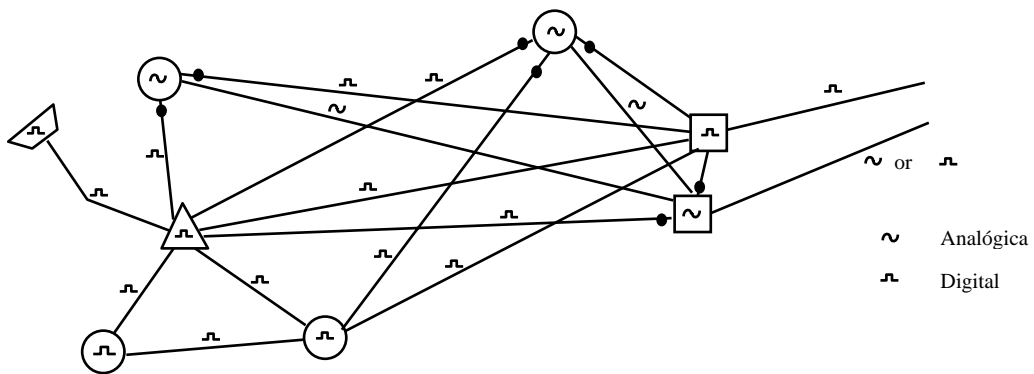


**Figura 26: Estructura final de red con central combinada tándem / tránsito**

3.5.3 Introducción de una central de tránsito digital separada

Hay casos cuando el tráfico local y el tráfico de larga distancia no pueden ser combinados dentro de la misma central, por ejemplo, en países donde el tráfico local y el de larga distancia son manejados por diferentes administraciones. En otros casos, la misma administración maneja ambos tráficos, el local y el de larga distancia, pero por razones administrativas y / o políticas quiere separar los dos tipos de tráfico.

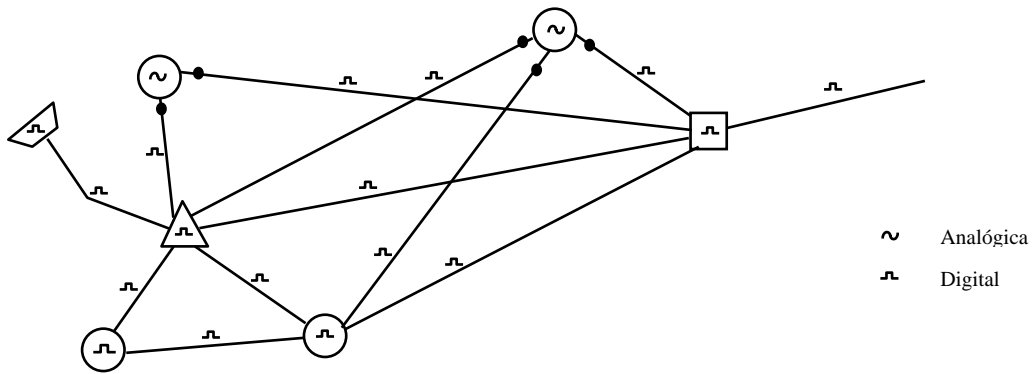
En todos esos casos, una central de tránsito digital separada tendrá que introducirse en la misma situación precedente, como se describe en 3.5.2 (ver Figura 27). Las rutas desde las centrales locales a la central de tránsito llevan tráfico de tránsito solamente. Para separar en lo posible el tráfico analógico y el tráfico digital, la ruta directa previa de una de las centrales digitales locales a la central de tránsito analógico ha sido pasada a la nueva central de tránsito digital.



**Figura 27: Introducción de una central de tránsito digital separada**

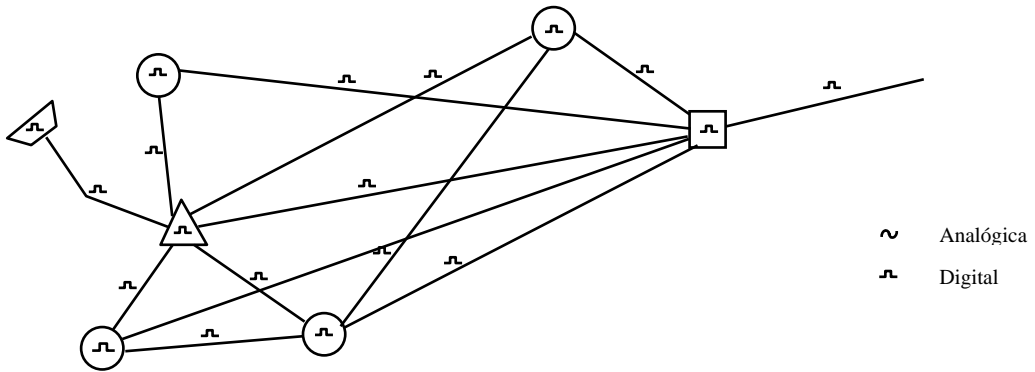
No hay diferencia en los principios de encaminamiento, comparado con el caso que se da cuando las funciones de tránsito y tándem son combinadas en una central.

La Figura 28 muestra la situación después de dismantelar la central de tránsito analógico.



**Figura 28: Central de tránsito analógico desmantelada**

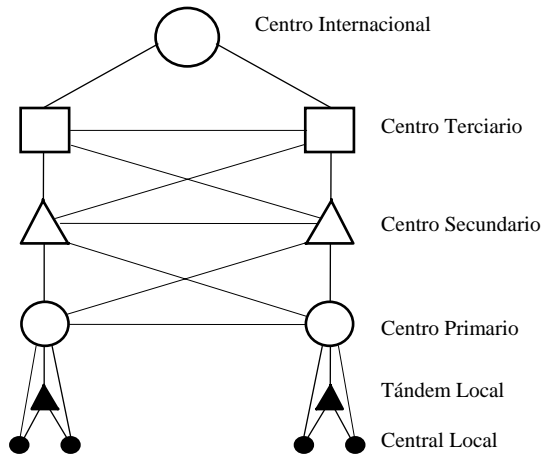
La Figura 29 muestra la estructura final de la red con la central de tránsito separado.



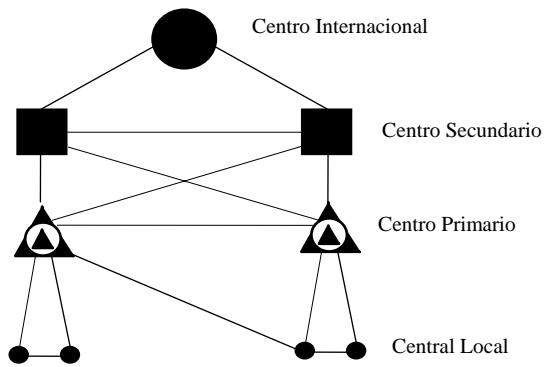
**Figura 29: Estructura final de la red con central de tránsito separada**

4. COMPARACION DE REDES ANALOGICAS/ DIGITALES

La Figura 30 muestra la jerarquía de red tradicional en una red analógica. La estructura jerárquica de una red digital, en la Figura 31, contiene menos niveles porque las centrales primarias pudieron ser usadas como centrales tándem. Aún más, el nivel con centrales terciarias no es necesario en la mayoría de los casos porque las nuevas centrales digitales tienen mayor capacidad de conmutación.

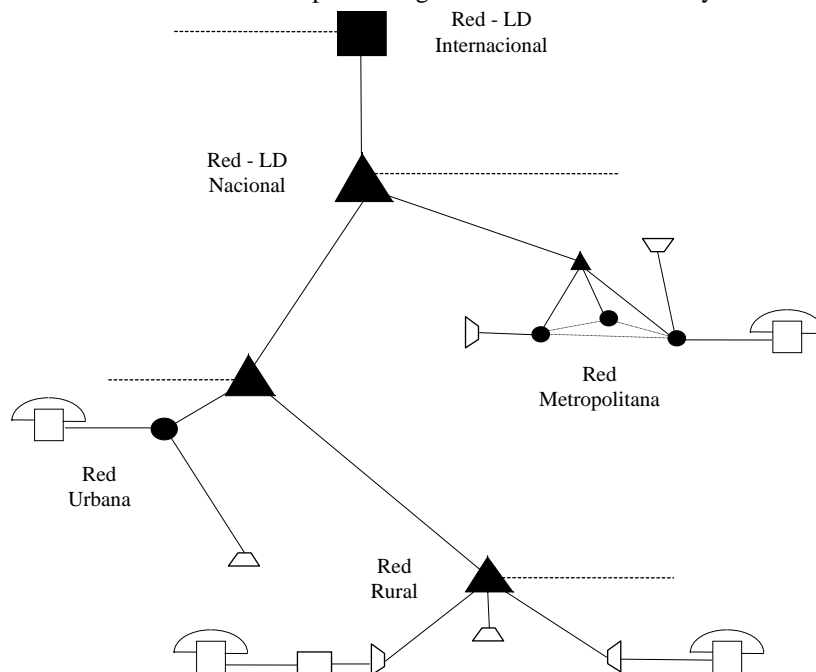


**Figura 30: Jerarquía de red analógica**



**Figura 31: Jerarquía de red digital**

La Figura 32 muestra la estructura de una red totalmente digitalizada. Comparada con la estructura de la red analógica en la Figura 3, la red metropolitana contiene menos centrales por la posibilidad de cubrir mayores áreas de abonados con el uso de conmutadores de abonado a distancia y por la mayor capacidad de conmutación de las centrales digitales. Menos pero más grandes centrales llevan a menos pero más grandes áreas de centrales y a rutas más grandes.



**Figura 32: Estructura de red digital**

La tendencia es la misma en redes urbanas y rurales, donde las más pequeñas centrales existentes son reemplazadas por conmutadores de abonados a distancia y multiplexores de abonados a distancia conectados a centrales digitales más grandes.

Para resumir, la estructura de una red digital se caracteriza por:

- transmisión y conmutación integradas.
- uso extensivo de conmutadores de abonado a distancia.
- uso de centrales combinadas (local / tándem / tránsito).

Esto nos lleva a:

- menor costo promedio por línea de abonado.
- número reducido de niveles en la red.
- número reducido de centrales.
- centrales más grandes.
- áreas de central más grandes.
- rutas más grandes.

5. TENDENCIAS DEL DESARROLLO FUTURO

Las tendencias hoy en día van hacia:

- mayor uso de sistemas de comunicaciones de fibra óptica.
- sistemas MIC de más alto orden.
- red Digital de Servicios Integrados RDSI.