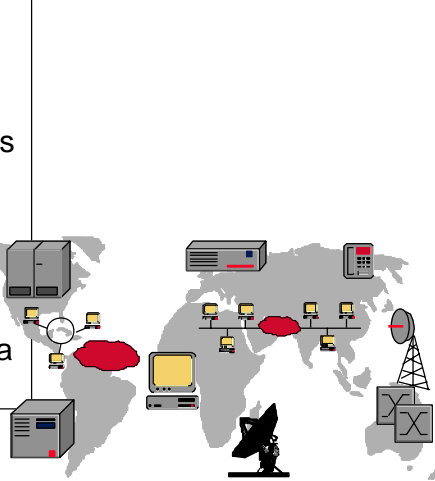
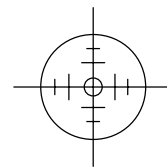
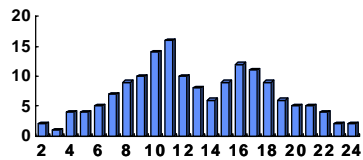


- Tendencias en Telecomunicaciones
- Telefonía Digital
- Aspectos de redes digitales
- Redes telefónicas
- Servicios Privados
- Evaluación de sistemas digitales
- Fundamentos de ingeniería de tráfico



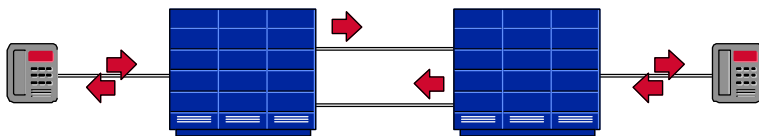
En este capítulo

- Fundamentos de Ingeniería de tráfico
 - Definiciones
 - Unidades para medir el tráfico
 - Calidad de servicio
 - Aplicaciones



Tráfico telefónico

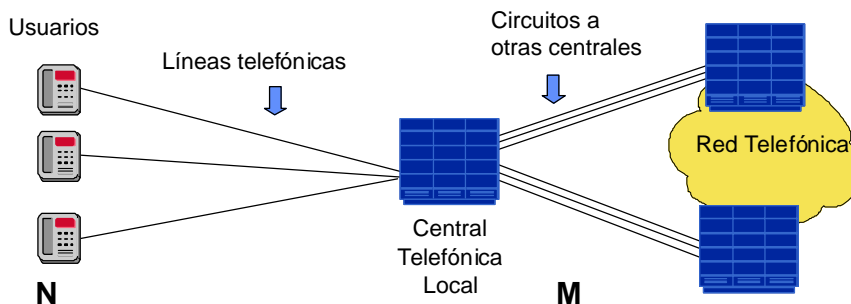
- ✓ Es el conjunto de llamadas telefónicas transportadas sobre un grupo de circuitos o troncales tomando en cuenta el número de llamadas y su duración.
- ✓ El objetivo de la ingeniería de tráfico es el de proporcionar los métodos para determinar la mejor relación costo-beneficio entre el equipo que se debe instalar y la calidad del servicio que se desea obtener.



ASERCOM [®] Derechos Reservados 22/02/01
Asesoría en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

262

Un ejemplo de aplicación



- ✓ La ingeniería de tráfico ayuda a establecer la relación adecuada entre el número de circuitos (M) y el número de usuarios (N) de la central de telefonía local.
- ✓ Típicamente el número de usuarios será mayor al de circuitos.

ASERCOM [®] Derechos Reservados 22/02/01
Asesoría en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

263

¿Cómo se calcula el tráfico?

- ✓ El tráfico se calcula con base en el número de llamadas y su duración, mediante la siguiente operación:

$$A = \lambda * t_m$$

En donde:

λ : Número de llamadas

t_m : Duración en minutos por llamada

- ✓ Para el cálculo completo, el número de llamadas y su duración se deben referir a un período de observación. Para la medición del tráfico existen varias unidades de las cuales la más utilizada es la que se conoce como Erlang B.

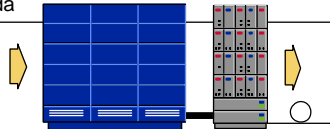
- ✓ Ejemplo:

En una hora:

$\lambda = 10$ Llamadas

$$T = (10 \times 3)/60 = 0.5 \text{ Erlangs}$$

$t_m = 3$ minutos por llamada



ASERCOM ^{MS} Derechos Reservados 22/02/01
Asesoría en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

264

Cálculo de los Erlangs

Porcentaje de ocupación de un circuito relativo a una ventana 60 minutos



1 llamada de 60 minutos

1 Erlang



1 llamada de 30 minutos

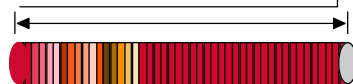
0.5 Erlang



1 llamada de 15 minutos

0.25 Erlang

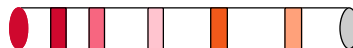
Porcentaje de ocupación de un circuito relativo a una ventana 60 minutos



60 llamadas de 1 minuto



10 llamadas de 3 minutos c/u



5 llamadas de 3 minutos c/u

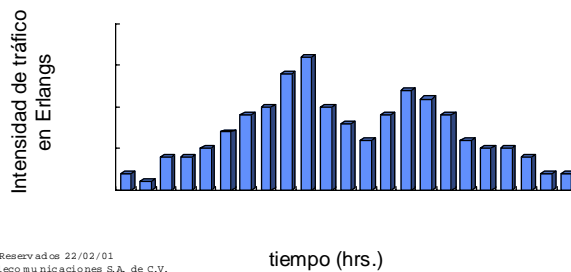
- ✓ **Un Erlang de tráfico** sobre un **circuito** significa la ocupación del **100% del tiempo** de dicho **circuito** relativo a una referencia de tiempo. Por ejemplo si la referencia es de una hora entonces un Erlang significa una hora de ocupación o bien **60 minutos** sobre un circuito.
- ✓ Un circuito significa un trayecto sobre el cual solo puede existir una llamada al mismo tiempo. Por lo tanto, por ejemplo en en una señal E1 existen 30 circuitos.
- ✓ Para el cálculo del tráfico es importante hacer la referencia a un período de observación.

ASERCOM ^{MS} Derechos Reservados 22/02/01
Asesoría en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

265

Hora pico

- ✓ Hora pico: Se refiere al intervalo de **60 minutos en cual la intensidad de tráfico es mayor** que en cualquier otro período de la misma duración.
- ✓ En telefonía se caracterizan las fuentes y se definen horas pico dentro del día y horas pico dentro de la semana.
- ✓ Estadísticas muestran que un teléfono **residencial se utiliza entre un 5% y un 10%** de la hora pico. Lo cual quiere decir una intensidad de tráfico entre 0.05 y 0.1 Erlangs.
- ✓ También que el tiempo promedio de duración de las llamadas está alrededor de los **3 y los 4 minutos**. Lo que significa una o dos llamadas durante la hora pico.
- ✓ El comportamiento de un teléfono residencial difiere de uno comercial y estas diferencias pueden ser aprovechadas para el dimensionamiento y utilización de la red de telefonía.

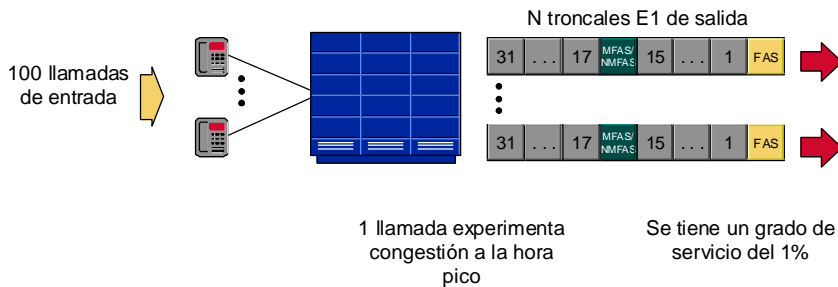


ASERCOM ® Derechos Reservados 22/02/01
Asesoria en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

266

Grado de servicio

- ✓ Se define como la probabilidad de que un abonado encuentre congestión a la hora pico. Siendo congestión el hecho de que todos los circuitos se encuentren ocupados.
- ✓ Por ejemplo, un grado de servicio de 0.01 indica que 1 de cada 100 abonados experimentará congestión a la hora pico.
- ✓ Se expresa con la letra p. Una notación típica es P02, que indica $p=0.02$.



ASERCOM ® Derechos Reservados 22/02/01
Asesoria en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

267

Fórmulas de Erlang y Poisson

Fórmula de Poisson

- Fuente de tráfico infinita
- Igual densidad de tráfico por fuente
- Llamadas perdidas retenidas (LCH)

$$P = e^{-A} \sum_{x=n}^{\infty} \frac{A^x}{x!}$$

Fórmula de Erlang B

- Fuente de tráfico infinita
- Igual densidad de tráfico por fuente
- Llamadas perdidas liberadas (LCC)

$$P = \frac{A^n}{n! \sum_{x=0}^n \frac{A^x}{x!}}$$

En donde:

P: Probabilidad de que las llamadas se pierdan o se retrasen debido a falta de circuito

A: Cantidad de tráfico esperado, expresado en Erlangs

n: El número de canales

x: Una variable que representa el número de canales ocupados o fuentes

Ejemplo de dimensionamiento

Tráfico ofrecido (Erlangs)	Circuitos	Tráfico transportado (Erlangs)	Tráfico bloqueado (Erlangs)	Porcentaje de bloqueo
30	30	26.0262	3.9738	13.25%
	31	26.5913	3.4087	11.36%
	32	27.1120	2.8880	9.63%
	33	27.5858	2.4142	8.05%
	34	28.0111	1.9889	6.63%
	35	28.3869	1.6131	5.38%
	36	28.7134	1.2866	4.29%
	37	28.9919	1.0081	3.36%
	38	29.2247	0.7753	2.58%
	39	29.4152	0.5848	1.95%
	40	29.5677	0.4323	1.44%
	41	29.6870	0.3130	1.04%
	42	29.7781	0.2219	0.74%
	43	29.8460	0.1540	0.51%
	44	29.8953	0.1047	0.35%
	45	29.9304	0.0696	0.23%
	46	29.9547	0.0453	0.15%
	47	29.9711	0.0289	0.10%
	48	29.9819	0.0181	0.06%
	49	29.9890	0.0110	0.04%
	50	29.9934	0.0066	0.02%
	51	29.9961	0.0039	0.01%
	52	29.9978	0.0022	0.01%
	53	29.9987	0.0013	0.00%

- ✓ Tráfico ofrecido:
 - 30 Erlangs
- ✓ Grado de servicio
 - 0.01
- ✓ Circuitos
 - ?

Segmento de la tabla Erlang B

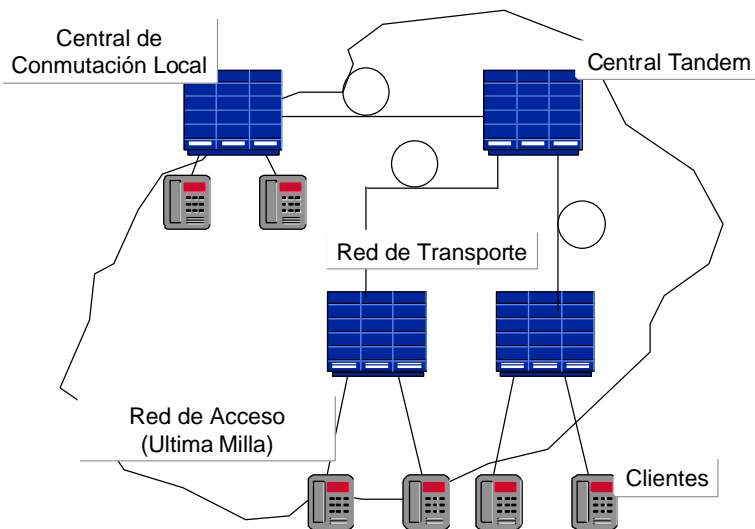
Distintos Tipos de Sistemas

- ✓ Sistemas con pérdidas (*Loss systems*)
 - El tráfico en sobrecarga es rechazado y por lo tanto no es atendido. Por ejemplo, una central telefónica en la que todos sus circuitos de salida se encuentran ocupadas (congestión).
- ✓ Sistemas con retardo (*Delay systems*)
 - El tráfico en sobrecarga es puesto en una cola de espera y retrasado para después ser atendido. Por ejemplo, un conmutador de paquetes de datos.
- ✓ Sistemas con retardo y con pérdidas (*Delay and loss systems*)
 - Es una combinación de los dos casos anteriores.



✓ Conmutación

La Red Telefónica



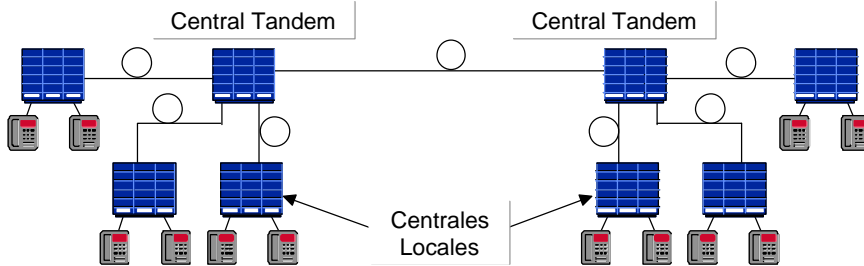
Tipos de Centrales

✓ Centrales Locales

- Son equipos de conmutación a los cuales los clientes se conectan directamente. Se le llama Central Local (CL) en español y Local Exchange (LE), Central Office (CO) o End Office (EO) en inglés.

✓ Centrales Tandem

- Son equipos de conmutación que sirven para interconectar centrales locales y así hacer un uso más eficiente de los recursos de transmisión. Existen centrales Tandem para el tráfico local y centrales tandem para el tráfico de larga distancia.



ASERCOM [®] Derechos Reservados 22/02/01
Asesoría en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

3

Conmutación

✓ Conmutación

- Dentro del proceso de una llamada, es establecer y liberar las conexiones entre medios de transmisión para que ésta suceda. La conmutación digital implica el uso de procesadores que controlen las funciones de conmutación.

✓ En telefonía existen centrales de conmutación de dos tipos:

- Centrales locales.
- Centrales de tránsito (Tandem).

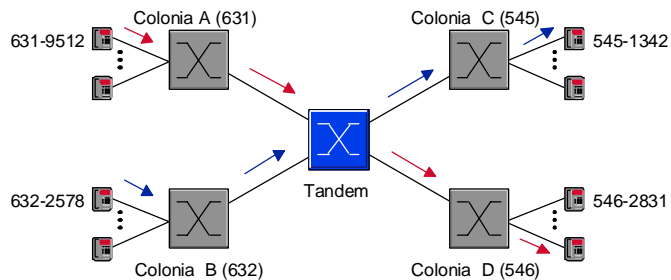
✓ Existen tres formas de realizar la conmutación:

- Conmutación por división en espacio (S).
- Conmutación por división en tiempo (T).
- Combinaciones de las dos anteriores (p.ej. TST).

Conexiones Requeridas:

631-9512 > 546-2831

632-2578 > 545-1342

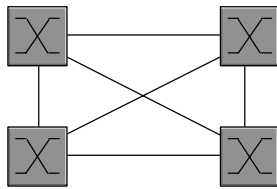


ASERCOM [®] Derechos Reservados 22/02/01
Asesoría en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

4

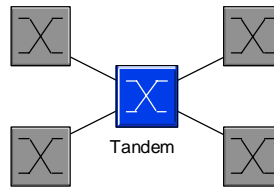
¿ Por qué conmutar ?

✓ Conexión entre centrales **sin** central Tandem



Total de enlaces = 6

✓ Conexión entre centrales **con** central Tandem



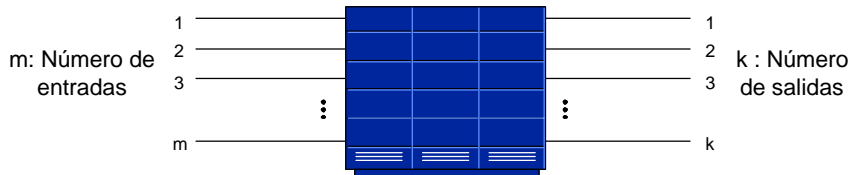
Total de enlaces = 4

$$k = n(n-1)/2$$

k : Número de enlaces
n : número de centrales

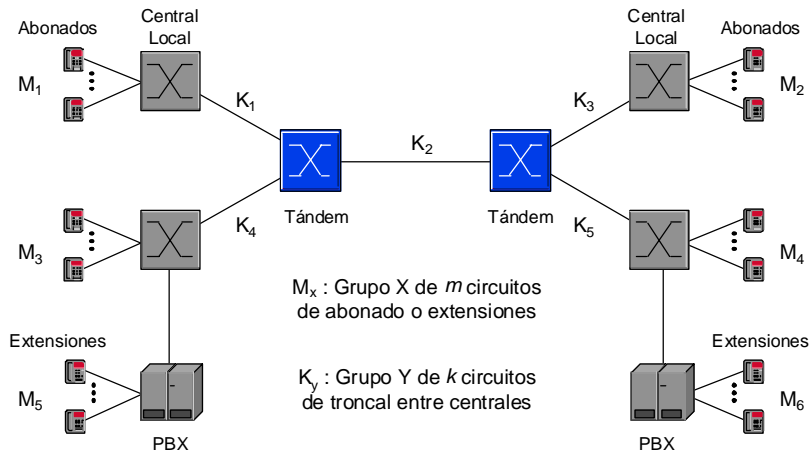
Modelo General

Equipo de conmutación

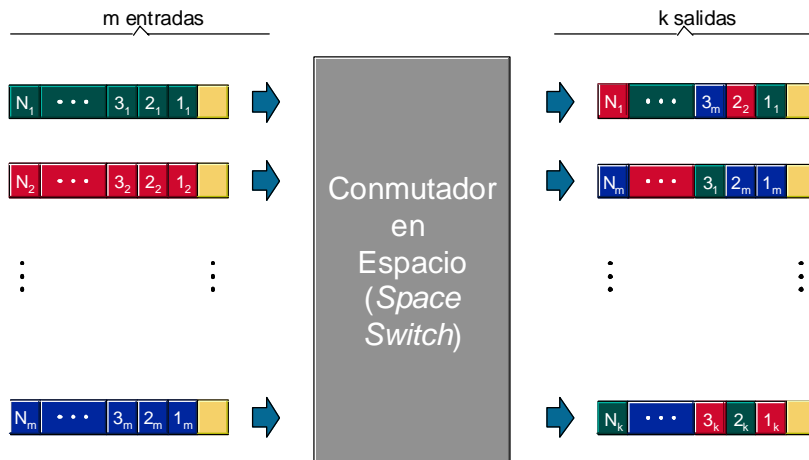


- ✓ Decimos que existe bloqueo cuando un usuario desea establecer una conexión y no existen circuitos de salida.
- ✓ Por disponibilidad entendemos la probabilidad de que un usuario encuentre bloqueo.
 - Si $m > k$, se tiene bloqueo (*Blocking*).
 - Si $m = k$, no se tiene bloqueo (*Nonblocking*).
 - Si $m < k$, no se tiene bloqueo (*Nonblocking*).
- ✓ En el dimensionamiento de centrales locales m siempre es mayor que k .

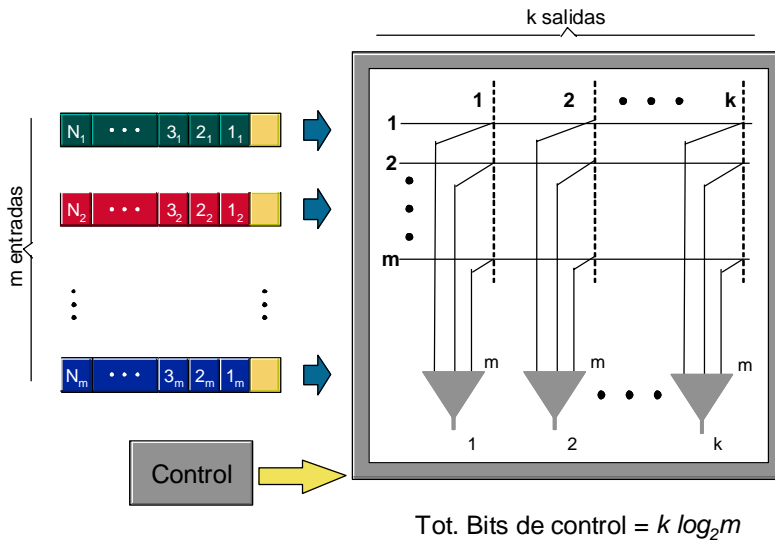
Red de Conmutación de Circuitos



Conmutación en Espacio



Implementación de la Matriz de Conmutación

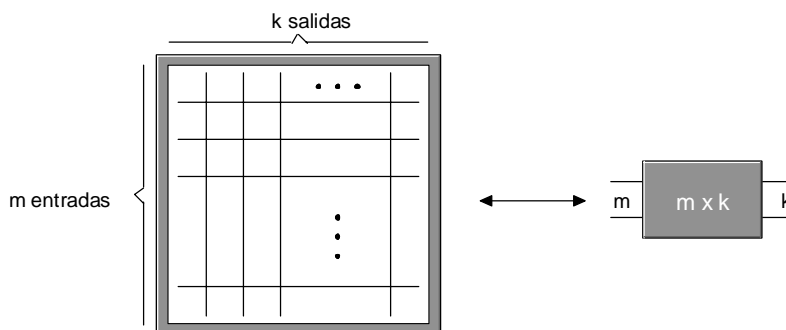


ASERCOM[®] Derechos Reservados 22/02/01
Asesoría en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

9

Matriz de Conmutación en Espacio

- ✓ Matriz de conmutación: Es el arreglo de puntos de cruce generados por las m entradas y k salidas.
- ✓ El número de puntos de cruce de la matriz es igual a $m \times k$.
- ✓ Se dice que se trata de una matriz cuadrada cuando $m = k$.
- ✓ Se dice que se trata de una matriz rectangular cuando $m > k$ o $m < k$.
- ✓ La complejidad de un conmutador en espacio se mide por el número de puntos de cruce y la cantidad de bits requeridos para el control.

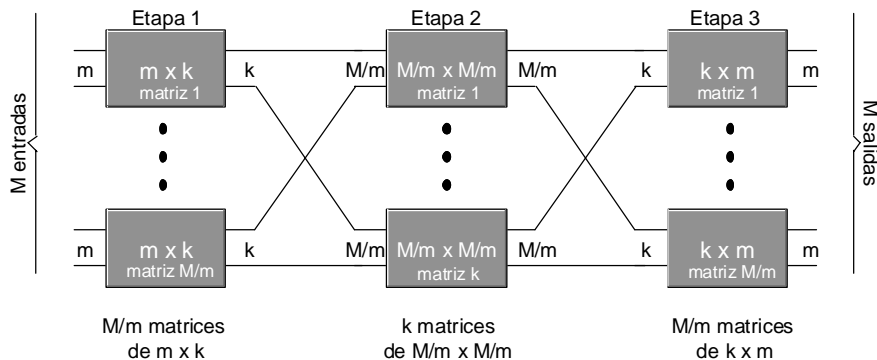


ASERCOM[®] Derechos Reservados 22/02/01
Asesoría en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

10

Conmutación en Espacio en Cascada (1)

- ✓ Una central con $m = 100,000$ circuitos requeriría $m^2 = 10^{10}$ puntos de cruce para conmutar con una disponibilidad total (*Nonblocking*). Una manera de disminuir el número de puntos de cruce, manteniendo una alta disponibilidad (también total) es implementar varias etapas de conmutación por espacio en cascada. A continuación un ejemplo de un sistema de 3 etapas *Nonblocking*:



ASERCOM[®] Derechos Reservados 22/02/01
Asesoría en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

11

Conmutación en Espacio en Cascada (2)

- ✓ Para el caso de tres etapas, tenemos que el número de puntos de cruce es de :

$$C = 2Mk + k(M/m)^2 \quad (1)$$

- ✓ Para el caso anterior, si se cumple que $k = 2m - 1$ (2) el sistema es estrictamente *Nonblocking*.
- ✓ Charles Clos de los *Bell Laboratories* hace una aproximación para un valor óptimo de m si M es mucho mayor que 1, la aproximación es $m = (M/2)^{1/2}$ (3).
- ✓ Sustituyendo (2) y (3) en (1), obtenemos:

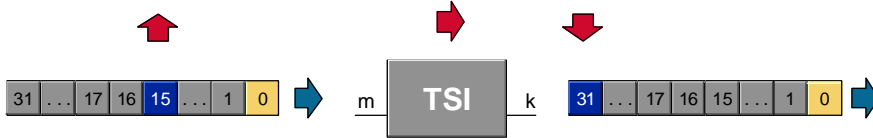
$$C_{opt} = 4M((2M)^{1/2} - 1)$$

M	C para 3 etapas	C para 1 etapa
128	7,680	16,384
512	63,488	262,144
2048	516,096	4.19×10^6

ASERCOM[®] Derechos Reservados 22/02/01
Asesoría en Redes y Telecomunicaciones S.A. de C.V.

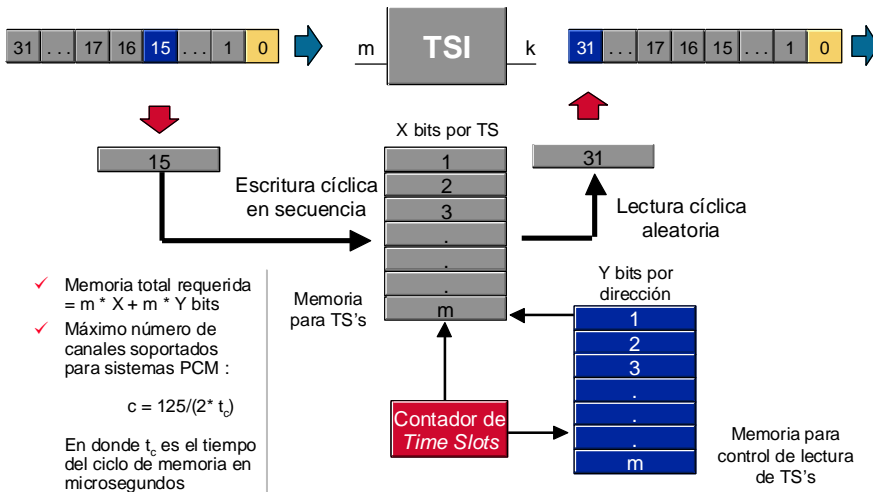
12

Conmutación en Tiempo



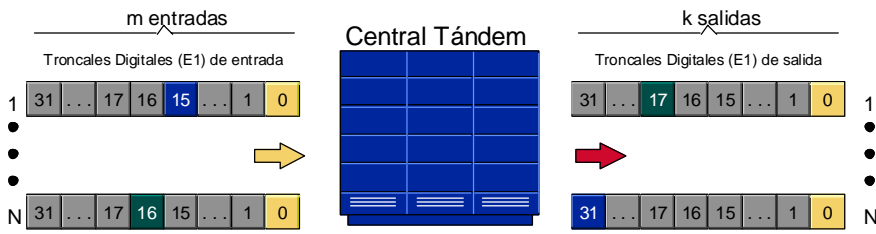
- ✓ La conmutación en tiempo se realiza sobre señales digitales.
- ✓ El tren de información debe de estar estructurado en un formato de intervalos de tiempo o ranuras de tiempo (*Time Slots*), p.ej. una señal E1.
- ✓ Al elemento que se encarga de la conmutación en tiempo se le denomina TSI (*Time Slot Interchanger*).
- ✓ Dentro del TSI se realiza un proceso de escritura y lectura de la información por lo que se requieren memorias y de esto va a depender la capacidad de conmutación en tiempo.
- ✓ Las memorias se encuentran diseñadas en base al número de canales o TS's de entrada y a la longitud en bits de las muestras (en PCM 8 bits).
- ✓ El número total de intervalos de entrada a un TSI es m y el de salida es k .
- ✓ La comunicación es a 4 hilos por lo que el proceso de conmutación se realiza en ambos sentidos.

Funcionamiento del TSI



Conmutación en Espacio y Tiempo

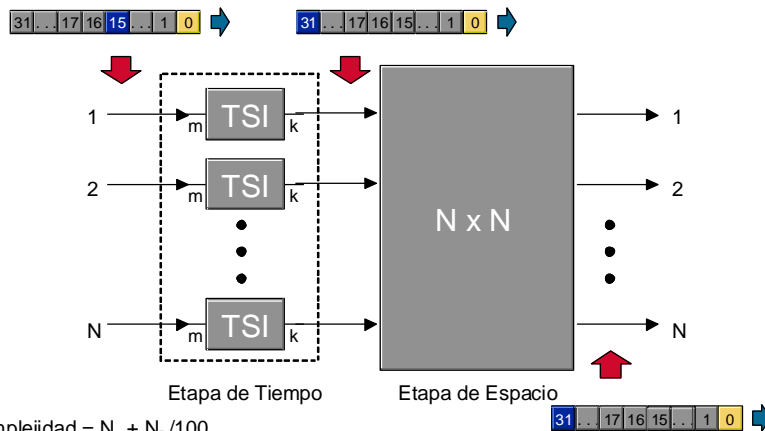
- ✓ Para disminuir la complejidad e incrementar la capacidad de un equipo de conmutación digital, se combinan diversas etapas de conmutación en espacio y en tiempo.
- ✓ Ejemplos de arquitecturas de centrales digitales:
 - 4ESS de ATT (TSSSST), 3EAX de NEC (SSTSS), DMS-100 de NORTEL (TSTS).



Ejemplo de conexiones

Troncal 1 (In), TS15 - Troncal N (Out), TS31
 Troncal N (In), TS16 - Troncal 1 (Out), TS17

Conmutación en Dos Dimensiones (TS)



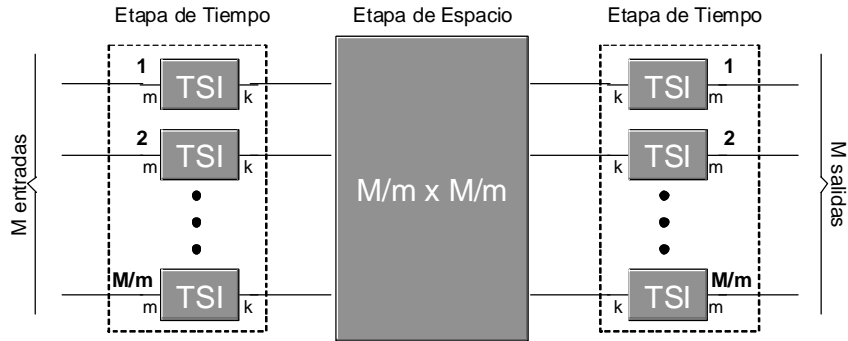
$$\text{Complejidad} = N_x + N_B/100$$

En donde:

N_x : Número de puntos de cruce en la etapa de espacio

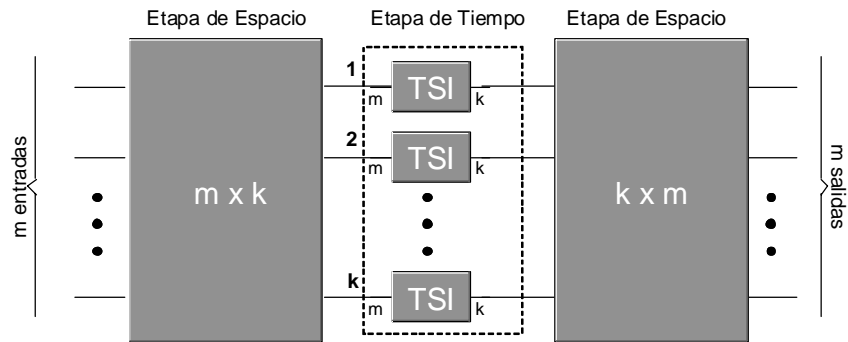
N_B : Número de bits de memoria

Conmutador TST



M : Número total de canales de entrada y de salida (*Time Slots*)
m : Canales (TS's) de entrada a un TSI
k : Canales (TS's) de salida de un TSI
M/m : Número de enlaces digitales de entrada, igual al número de TSI's en paralelo y también número de entradas y salidas de la etapa de espacio

Conmutador STS



m : En la etapa de espacio se refiere al número de enlaces de entrada y en la etapa de tiempo al número de canales de entrada por enlace (*Time Slots*).
k : En la etapa de espacio se refiere al número de enlaces de salida y en la etapa de tiempo al número de canales de salida por enlace (*Time Slots*).