

TEMA 2:

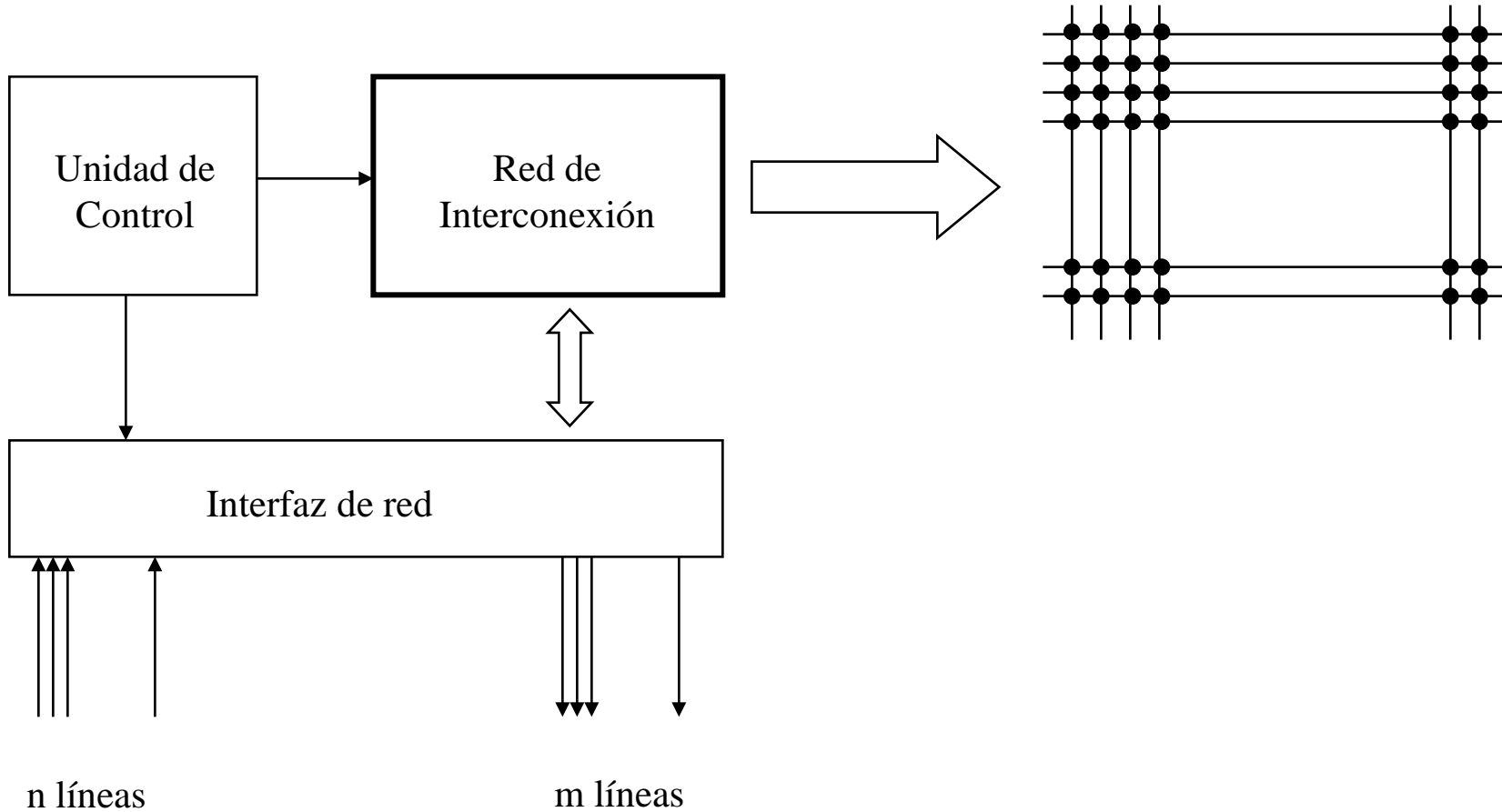
**SISTEMAS DE CONMUTACIÓN DE
CIRCUITOS**

Índice del tema:

1. INTRODUCCIÓN
2. CONCENTRADOR DE TRÁFICO: MODELOS ANALÍTICOS ERLANG-B Y ENGSET
3. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ANALÓGICOS
 - 3.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 3.2. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
4. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN DIGITALES
 - 4.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 4.2. CONMUTACIÓN TEMPORAL
 - 4.3. EQUIVALENTE ANALÓGICO
 - 4.4. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
5. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITALES RDSI, PDH Y SDH
6. EVALUACIÓN DEL GoS POR EL MÉTODO EFP (Erlang Fixed Point)

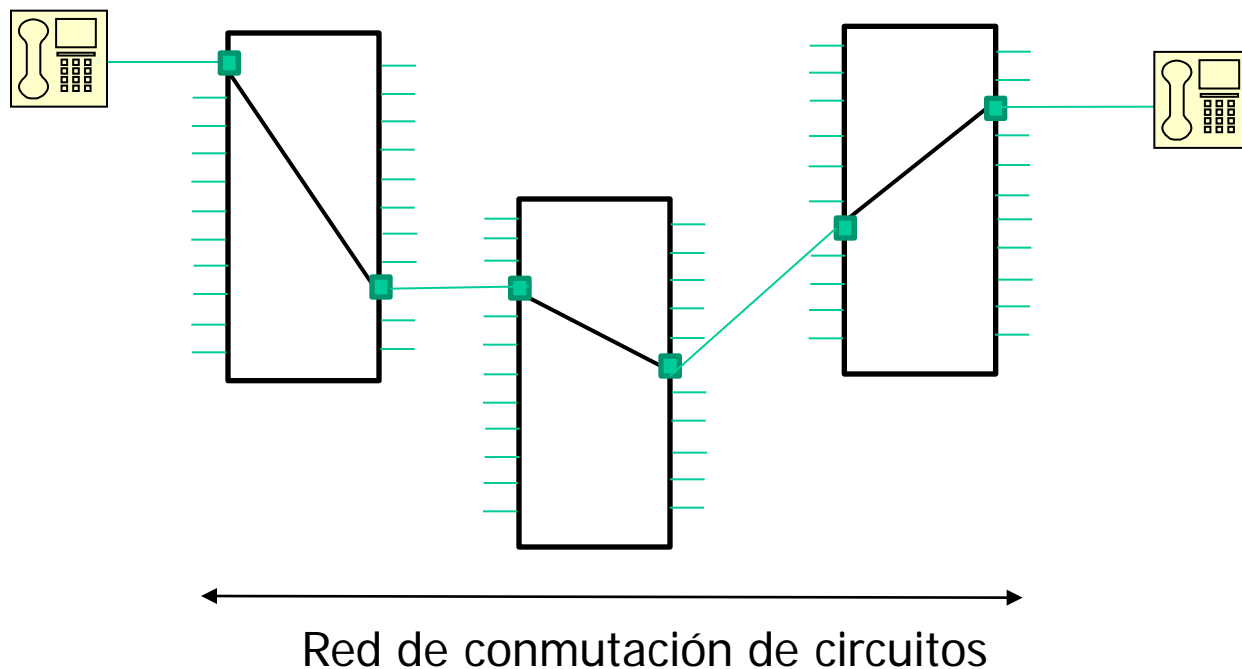
1. Introducción

- ◆ Diagrama de bloques de una central de conmutación de circuitos



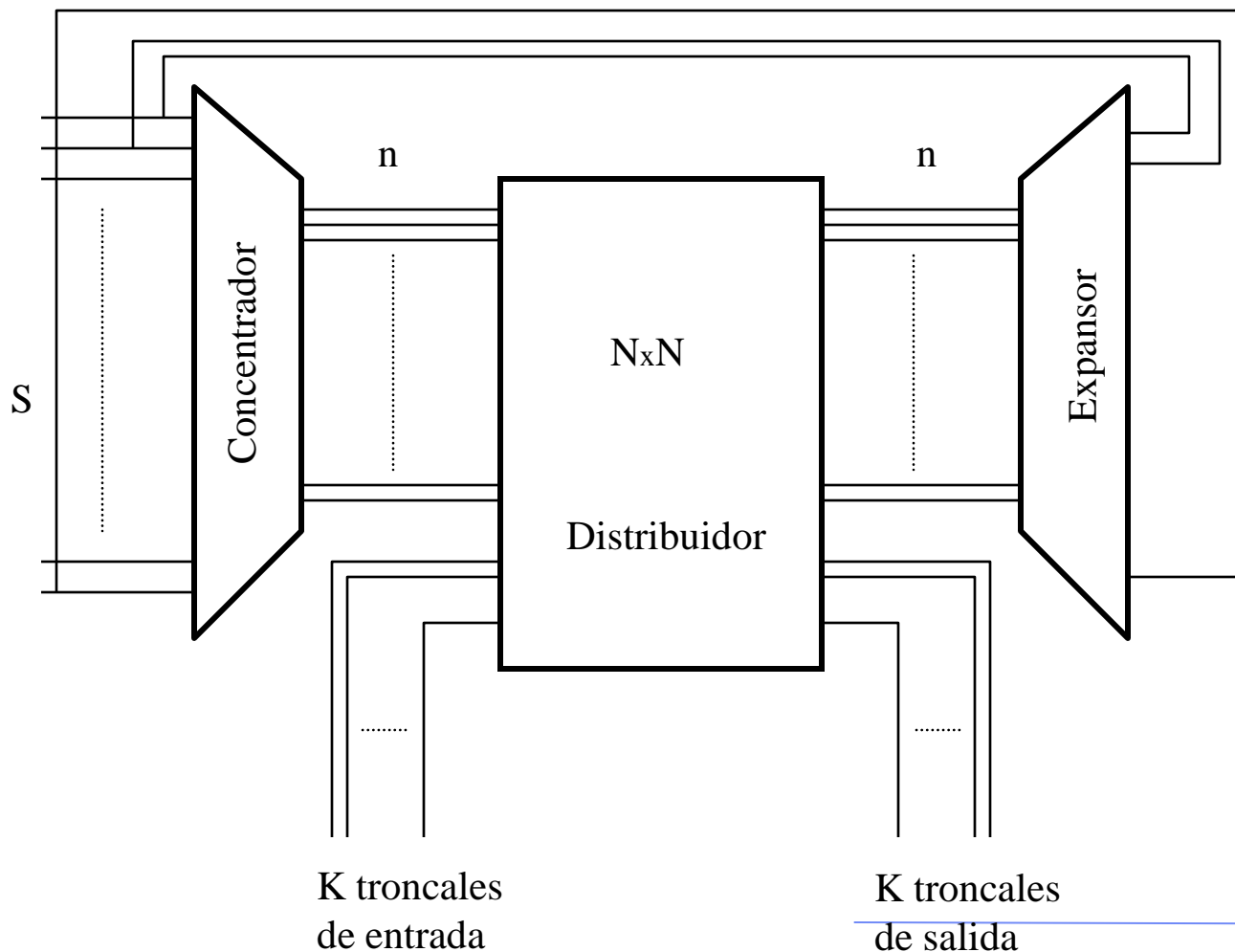
1. Introducción

- ◆ Durante el establecimiento del circuito (proceso de señalización), los puntos de cruce en cada nodo conmutador establecen un canal de comunicaciones llamado-llamante de uso exclusivo (libre de retardos)



1. Introducción

- ◆ Vamos a estudiar cómo construir REDES DE INTERCONEXIÓN, primero analógicas y después digitales. Su modelo de bloques es:

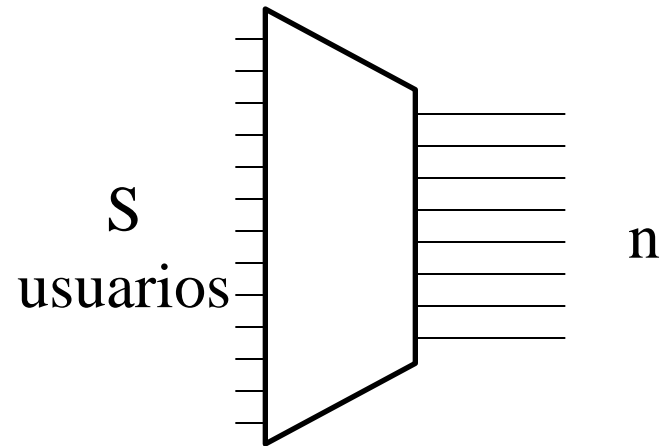


Índice del tema:

1. INTRODUCCIÓN
2. **CONCENTRADOR DE TRÁFICO: MODELOS ANALÍTICOS ERLANG-B Y ENGSET**
3. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ANALÓGICOS
 - 3.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 3.2. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
4. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN DIGITALES
 - 4.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 4.2. CONMUTACIÓN TEMPORAL
 - 4.3. EQUIVALENTE ANALÓGICO
 - 4.4. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
5. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITALES RDSI, PDH Y SDH
6. EVALUACIÓN DEL GoS POR EL MÉTODO EFP (Erlang Fixed Point)

2. Concentrador de tráfico

◆ Concentrador



◆ Consideramos 2 modelos:

- Modelo de población infinita: Erlang-B
- Modelo de población finita: Engset

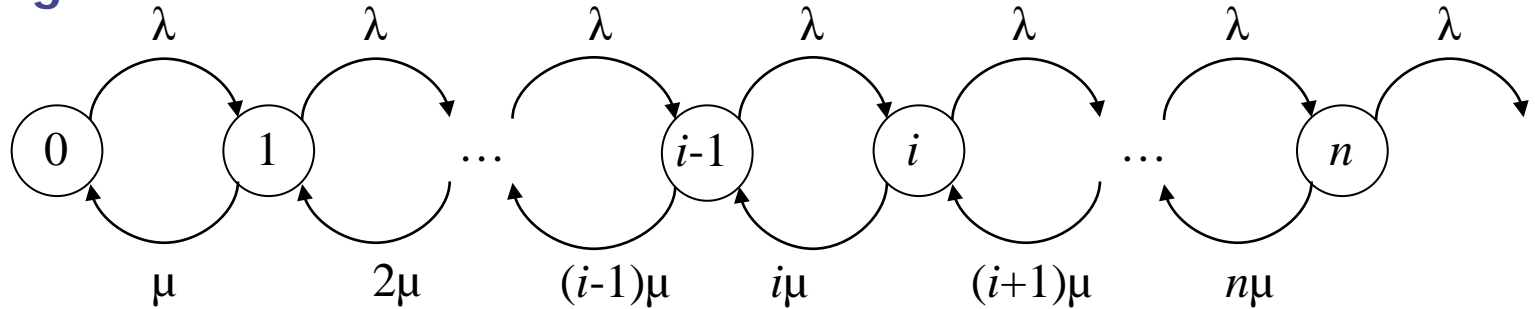
2.1. Modelo de Erlang-B

- ◆ Consideramos un sistemas formado por n canales idénticos
- ◆ Una llamada que llega al sistema es aceptada para su servicio si al menos un canal está vacío. Si todos los canales están ocupados el sistema está en congestión y las llamadas son bloqueadas (rechazadas, perdidas)
- ◆ Un canal vacío se puede buscar de diversas formas:
 - Aleatoriamente: Se elige un canal aleatoriamente entre los canales vacíos. Cada canal cursará, en media, el mismo tráfico
 - De forma secuencial: Los canales son numerados $1, 2, \dots, n$, y se busca un canal vacío en este orden, siempre comenzando por el canal uno. Un canal determinado cursará en media más tráfico que los siguientes
 - Cíclicamente: Es similar al anterior, pero en este caso se continúa buscando un canal vacío empezando por la posición donde se terminó la última vez. Cada canal cursará en media el mismo tráfico
- ◆ Tráfico:
 - El proceso de llegadas es un proceso de Poisson con tasa λ
 - El tiempos de servicio está distribuido exponencialmente con tasa μ
- ◆ Tráfico ofrecido:

$$TO = A = \lambda \cdot \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu}$$

2.1. Modelo de Erlang-B

◆ Diagrama de Transición de Estados



- ◆ Se define el estado del sistema, $[i]$, como el número de canales ocupados ($i=0,1,2,\dots,n$)
- ◆ Todos los estados del sistema se muestran como círculos y las tasas de cambio de estado se muestran mediante arcos
- ◆ El sistema está en el estado $[i]$ una proporción de tiempo $P(i)$, donde $P(i)$ es la probabilidad de observar el sistema en estado $[i]$ en cualquier instante de tiempo
- ◆ Cuando el proceso está en el estado $[i]$ saltará:
 - Al estado $[i+1]$: λ veces por unidad de tiempo
 - Al estado $[i-1]$: $i\mu$ veces por unidad de tiempo. Cuando "i" canales están ocupados, cada canal terminará llamadas con tasa " μ " de forma que la tasa de servicio total es " $i\mu$ "

2.1. Modelo de Erlang-B

- Las probabilidades de estado se pueden obtener a partir de las ecuaciones de corte. Si, por ejemplo, hacemos un corte entre los estados $[i-1]$ y $[i]$ (correspondiente a un corte global alrededor de los estados $[0], [1], \dots, [i-1]$) en equilibrio estadístico, el proceso cambia del estado $[i-1]$ al $[i]$ el mismo número de veces que cambia de $[i]$ al $[i-1]$. Por lo tanto, tenemos por unidad de tiempo:

$$\lambda \cdot P(i-1) = i\mu \cdot P(i), \quad i = 1, 2, \dots$$

- Del diagrama de transición de estados obtenemos las siguientes ecuaciones de balance de flujo:

$$\lambda \cdot P(0) = \mu \cdot P(1),$$

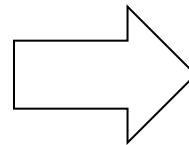
$$\lambda \cdot P(1) = 2\mu \cdot P(2),$$

... ..

$$\lambda \cdot P(i-1) = i\mu \cdot P(i),$$

... ..

$$\lambda \cdot P(n-1) = n\mu \cdot P(n),$$



$$P(1) = A \cdot P(0),$$

$$P(2) = \frac{A}{2} \cdot P(1) = \frac{A^2}{2} \cdot P(0),$$

... ..

$$P(i) = \frac{A}{i} \cdot P(i-1) = \frac{A^i}{i!} \cdot P(0),$$

... ..

$$P(n) = \frac{A}{n} \cdot P(n-1) = \frac{A^n}{n!} \cdot P(0),$$

2.1. Modelo de Erlang-B

- Como el sistema siempre estará en algún estado, tenemos la restricción de normalización:

$$\sum_{i=0}^n P(i) = 1, \quad P(i) \geq 0$$

- Por lo tanto, tenemos que:

$$\sum_{j=0}^n \frac{A^j}{j!} \cdot P(0) = 1 \quad \Rightarrow \quad P(0) = \frac{1}{\sum_{j=0}^n \frac{A^j}{j!}}$$

- Y las probabilidades de estado quedan:

$$P(i) = \frac{\frac{A^i}{i!}}{\sum_{j=0}^n \frac{A^j}{j!}}, \quad 0 \leq i \leq n$$

2.1. Modelo de Erlang-B

- ◆ Congestión en tiempo (Probabilidad de bloqueo, P_B): La probabilidad de que los n canales estén ocupados es igual a la proporción de tiempo en que tonos los canales están ocupados. Se obtiene a partir de la ecuación de las probabilidades de estado para $i=n$:

$$P_B = P(n) = \frac{\frac{A^n}{n!}}{\sum_{j=0}^n \frac{A^j}{j!}}$$

La expresión anterior se conoce como la fórmula de Erlang-B.

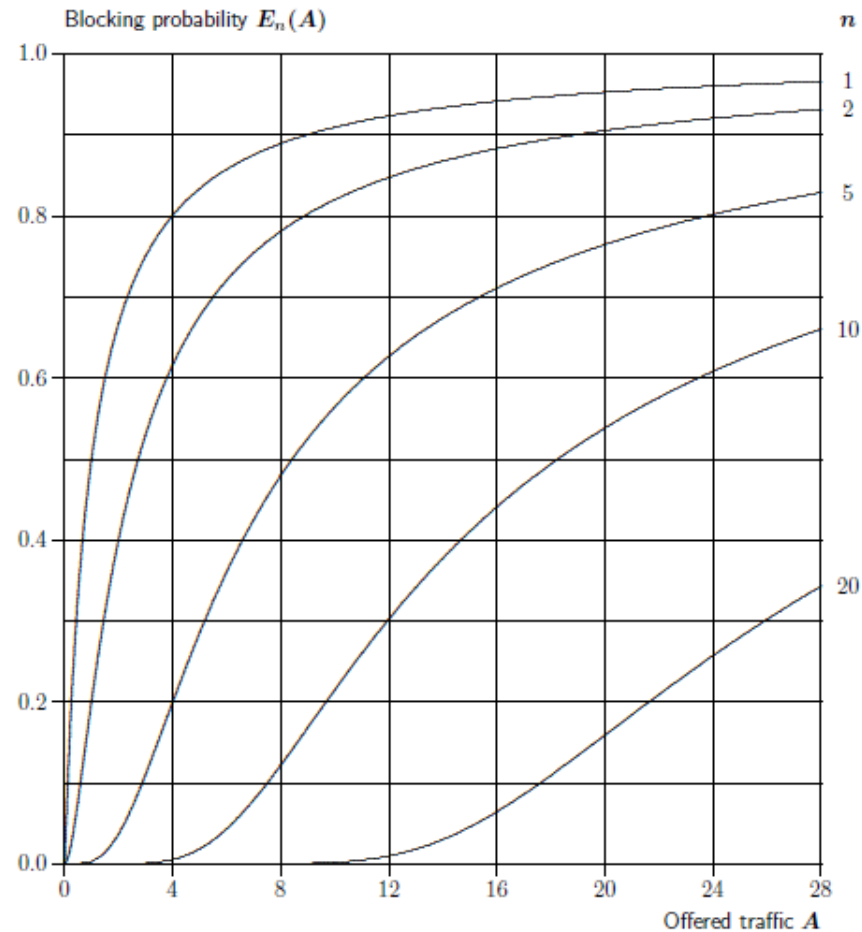
- ◆ Congestión en llamadas (Probabilidad de pérdidas, P_L): La probabilidad de que un intento de llamada aleatorio se pierda es igual a la proporción de intentos de llamada bloqueados:

$$P_L = \frac{\lambda \cdot P(n)}{\sum_{v=0}^n \lambda \cdot P(v)} = P(n) = P_B$$

El denominador es el número medio de intentos de llamada por unidad de tiempo, y el numerador es el número medio de llamadas bloqueadas por unidad de tiempo

2.1. Modelo de Erlang-B

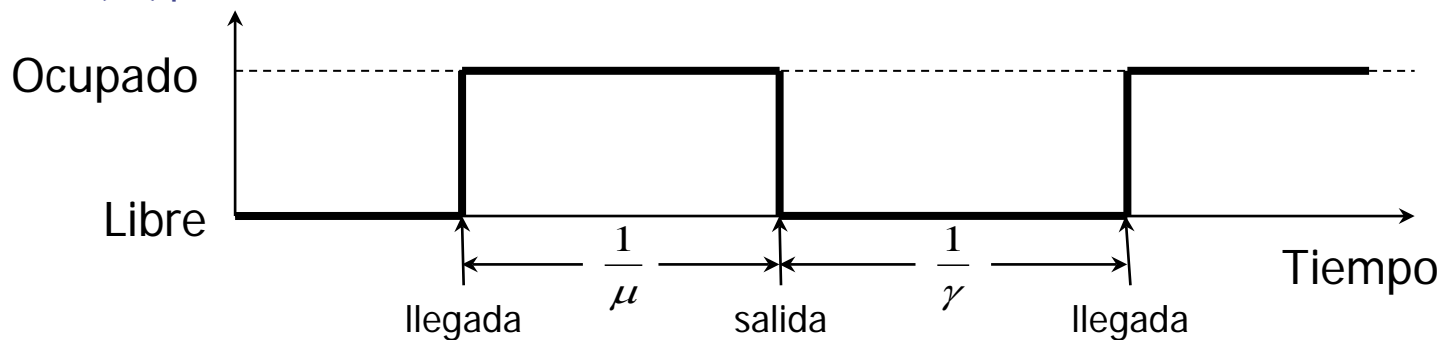
- ◆ Probabilidad de bloqueo, P_B



- ◆ Tráfico Cursado $TC = TO \cdot (1 - P_L)$
- ◆ Tráfico Rechazado $TR = TO \cdot P_L$

2.2. Modelo de Engset

- ◆ Consideramos un sistema con la misma estructura y estrategia que en el apartado anterior
- ◆ Tráfico:
 - El tiempo de servicio está distribuido exponencialmente con tasa μ
 - En este caso hay un número limitado de fuentes S . Cada fuente tiene una tasa de llegadas cuando está libre. Cuando está ocupada la tasa de llegadas es cero. Por lo tanto, el proceso de llegadas es dependiente del estado. Si hay " i " fuentes ocupadas, la tasa de llegadas es $(S-i)\gamma$

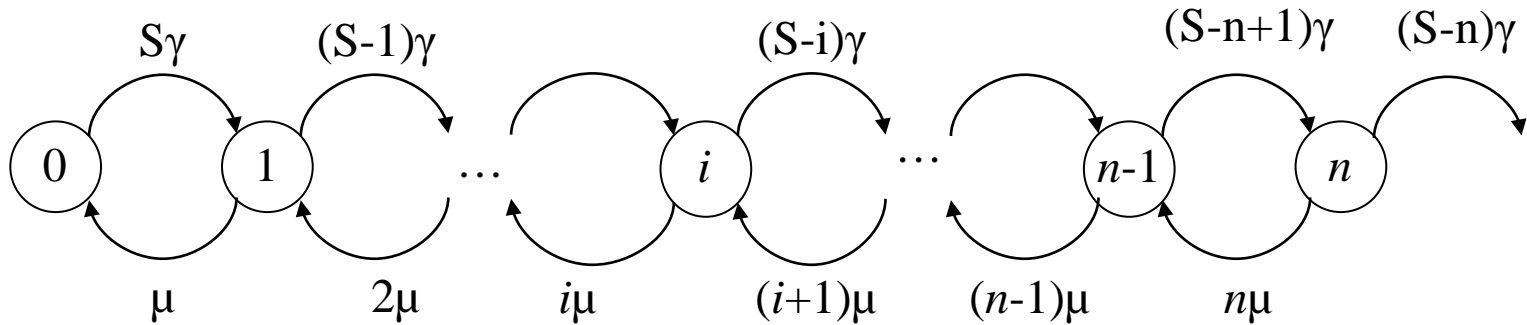


- ◆ Definimos $\beta = \frac{\gamma}{\mu}$
- ◆ El factor de actividad a es el porcentaje de tiempo en el que una fuente está ocupada llamando (coincide con el tráfico cursado por fuente cuando no hay pérdidas):

$$a = \frac{\frac{1}{\mu}}{\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{\mu}} = \frac{\gamma}{\mu + \gamma} = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

2.2. Modelo de Engset

◆ Consideramos el caso en que $S \geq n$



$$S\gamma \cdot P(0) = \mu \cdot P(1)$$

$$(S-1)\gamma \cdot P(1) = 2\mu \cdot P(2)$$

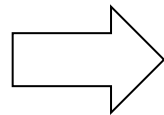
... ..

$$(S-i-1)\gamma \cdot P(i-1) = i\mu \cdot P(i)$$

$$(S-i)\gamma \cdot P(i) = (i+1)\mu \cdot P(i+1)$$

... ..

$$(S-n+1)\gamma \cdot P(n-1) = n\mu \cdot P(n)$$



$$P(1) = \frac{S\gamma}{\mu} \cdot P(0) = P(0) \cdot \binom{S}{1} \cdot \left(\frac{\gamma}{\mu}\right)^1$$

$$P(2) = \frac{(S-1)\gamma}{2\mu} \cdot P(1) = P(0) \cdot \binom{S}{2} \cdot \left(\frac{\gamma}{\mu}\right)^2$$

... ..

$$P(i) = \frac{(S-i-1)\gamma}{i\mu} \cdot P(i-1) = P(0) \cdot \binom{S}{i} \cdot \left(\frac{\gamma}{\mu}\right)^i$$

$$P(i+1) = \frac{(S-i)\gamma}{(i+1)\mu} \cdot P(i) = P(0) \cdot \binom{S}{i+1} \cdot \left(\frac{\gamma}{\mu}\right)^{i+1}$$

... ..

$$P(n) = \frac{(S-n-1)\gamma}{n\mu} \cdot P(n-1) = P(0) \cdot \binom{S}{n} \cdot \left(\frac{\gamma}{\mu}\right)^n$$

2.2. Modelo de Engset

- ◆ La ecuación de normalización es:

$$1 = P(0) \cdot \left\{ 1 + \binom{S}{1} \cdot \left(\frac{\gamma}{\mu} \right) + \dots + \binom{S}{n} \cdot \left(\frac{\gamma}{\mu} \right)^n \right\}$$

- ◆ La ecuación de las probabilidades de estado:

$$P(i) = \frac{\binom{S}{i} \cdot \beta^i}{\sum_{j=0}^n \binom{S}{j} \cdot \beta^j}, \quad 0 \leq i \leq n$$

- ◆ Congestión en tiempo (Probabilidad de bloqueo, P_B): Se obtiene a partir de la ecuación de las probabilidades de estado para $i=n$:

$$P(n) = \frac{\binom{S}{n} \cdot \beta^n}{\sum_{j=0}^n \binom{S}{j} \cdot \beta^j}, \quad S \geq n$$

La expresión anterior se conoce como la fórmula de Engset

2.2. Modelo de Engset

- ◆ Congestión en llamadas (Probabilidad de pérdidas, P_L):

$$P_L = \frac{P(n) \cdot (S - n)\gamma}{\sum_{j=0}^n P(j) \cdot (S - j)\gamma} = \frac{\binom{S}{n} \cdot \beta^n \cdot (S - n)\gamma}{\sum_{j=0}^n \binom{S}{j} \cdot \beta^j \cdot (S - j)\gamma}$$

Utilizando:

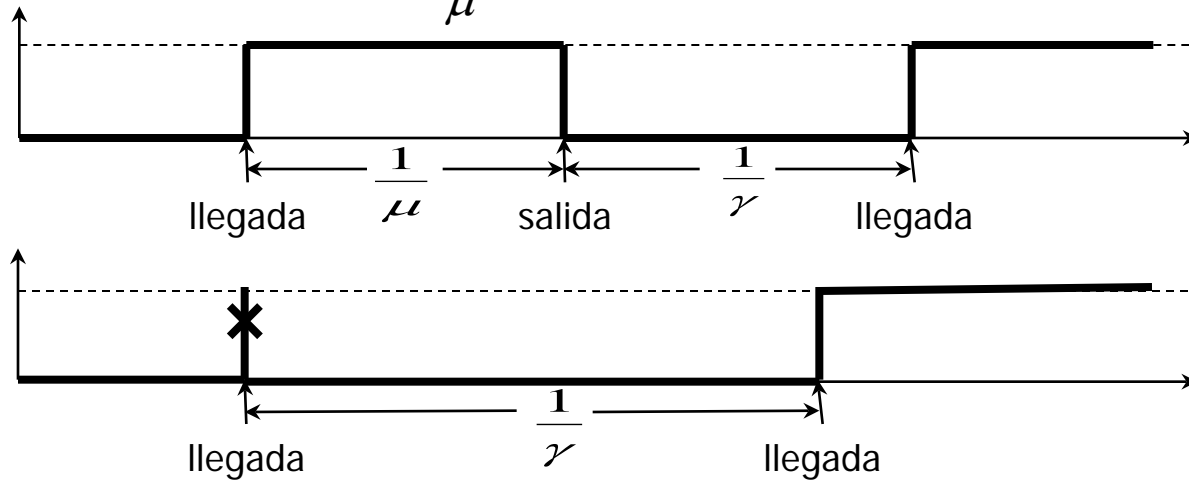
$$\binom{S}{i} \cdot \frac{S - i}{S} = \binom{S - 1}{i}$$

obtenemos:

$$P_{L|s} = \frac{\binom{S - 1}{n} \cdot \beta^n}{\sum_{j=0}^n \binom{S - 1}{j} \cdot \beta^j} = P_{B|s-1}$$

2.2. Modelo de Engset

◆ Tráfico Ofrecido $TO = \lambda_o \cdot \frac{1}{\mu}$



$$\lambda_{\text{usuario}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\gamma}\right)(1 - P_L) + \frac{1}{\gamma} P_L} \quad \Rightarrow \quad \lambda_o = S\lambda_{\text{usuario}} = \frac{S\gamma}{1 + \beta(1 - P_L)}$$

$$TO = \lambda_o \cdot \frac{1}{\mu} = \frac{S\beta}{1 + \beta(1 - P_L)}$$

◆ Tráfico Cursado $TC = TO \cdot (1 - P_L)$

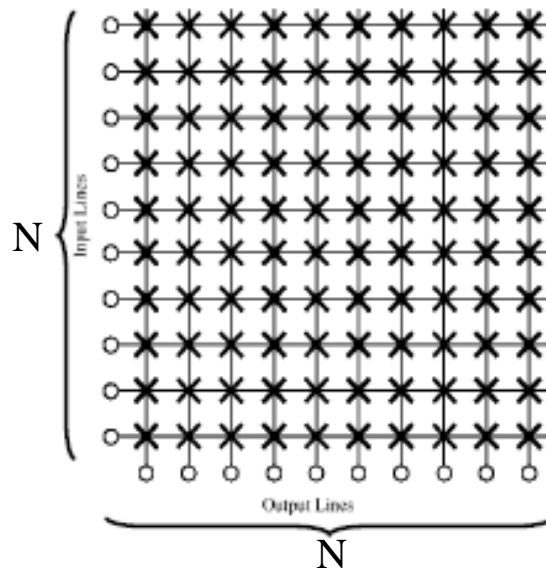
◆ Tráfico Rechazado $TR = TO \cdot P_L$

Índice del tema:

1. INTRODUCCIÓN
2. CONCENTRADOR DE TRÁFICO: MODELOS ANALÍTICOS ERLANG-B Y ENGSET
- 3. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ANALÓGICOS**
 - 3.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 3.2. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
4. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN DIGITALES
 - 4.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 4.2. CONMUTACIÓN TEMPORAL
 - 4.3. EQUIVALENTE ANALÓGICO
 - 4.4. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
5. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITALES RDSI, PDH Y SDH
6. EVALUACIÓN DEL GoS POR EL MÉTODO EFP (Erlang Fixed Point)

3. Sistemas de conmutación analógicos

◆ Distribuidor



◆ Propiedades de las matrices de puntos de cruce *crossbar*:

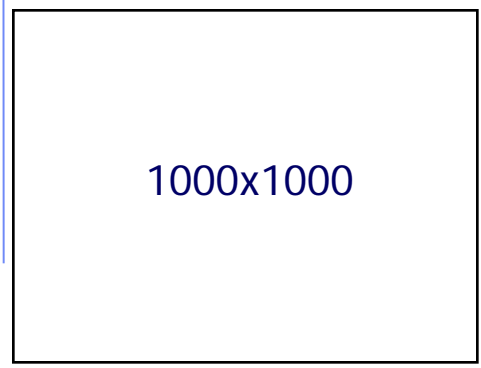
- Sin bloqueo interno: Se dice que un sistema de conmutación no presenta bloqueo interno si para cualquier par entrada/salida existe un camino libre en caso de que la red estuviera ocupada completamente.
- Accesibilidad total: Se dice que un sistema de conmutación es de accesibilidad total, si existe un camino que conecte cualquier entrada con cualquier salida

3.1. Conmutación espacial

- ◆ Fue originalmente **desarrollada para los entornos analógicos** y, posteriormente, se ha desplazado al contexto digital
- ◆ Cada conexión requerirá el establecimiento de un camino físico a través del conmutador
- ◆ Limitaciones de las matrices de puntos de cruce *crossbar*:
 - La pérdida de un punto de cruce impide el establecimiento de la conexión entre los dispositivos cuyas líneas se cruzan en ese punto
 - Los puntos de cruce se utilizan ineficientemente incluso cuando todos los dispositivos estén activos. Sólo una fracción de los puntos de cruce estarán habilitados
 - El número de puntos de cruce crece con el cuadrado del tamaño del distribuidor. Muy costoso para conmutadores grandes

3.1. Conmutación espacial

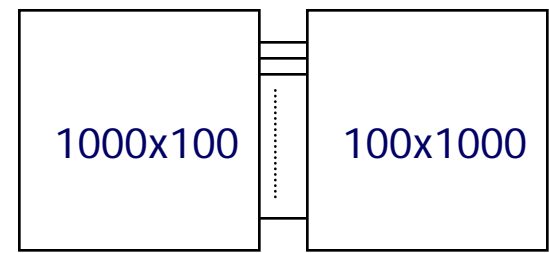
Si $N \gg 1 \implies$ El número de puntos de cruce es demasiado elevado y la red resulta difícil de construir



1000x1000

10^6

Accesibilidad total
Sin bloqueo Interno

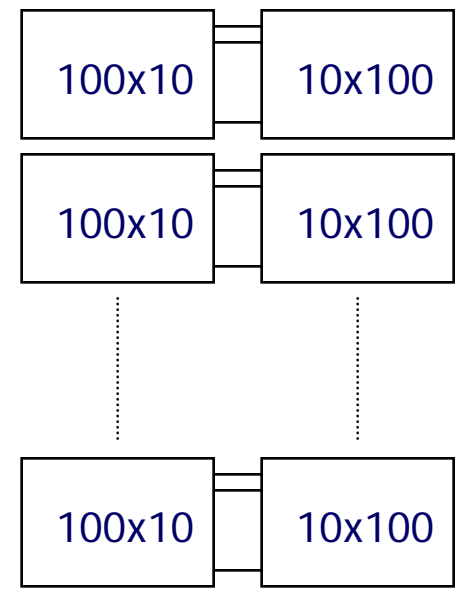


1000x100

100x1000

2×10^5

Accesibilidad total
Con bloqueo Interno



100x10

10x100

100x10

10x100

100x10

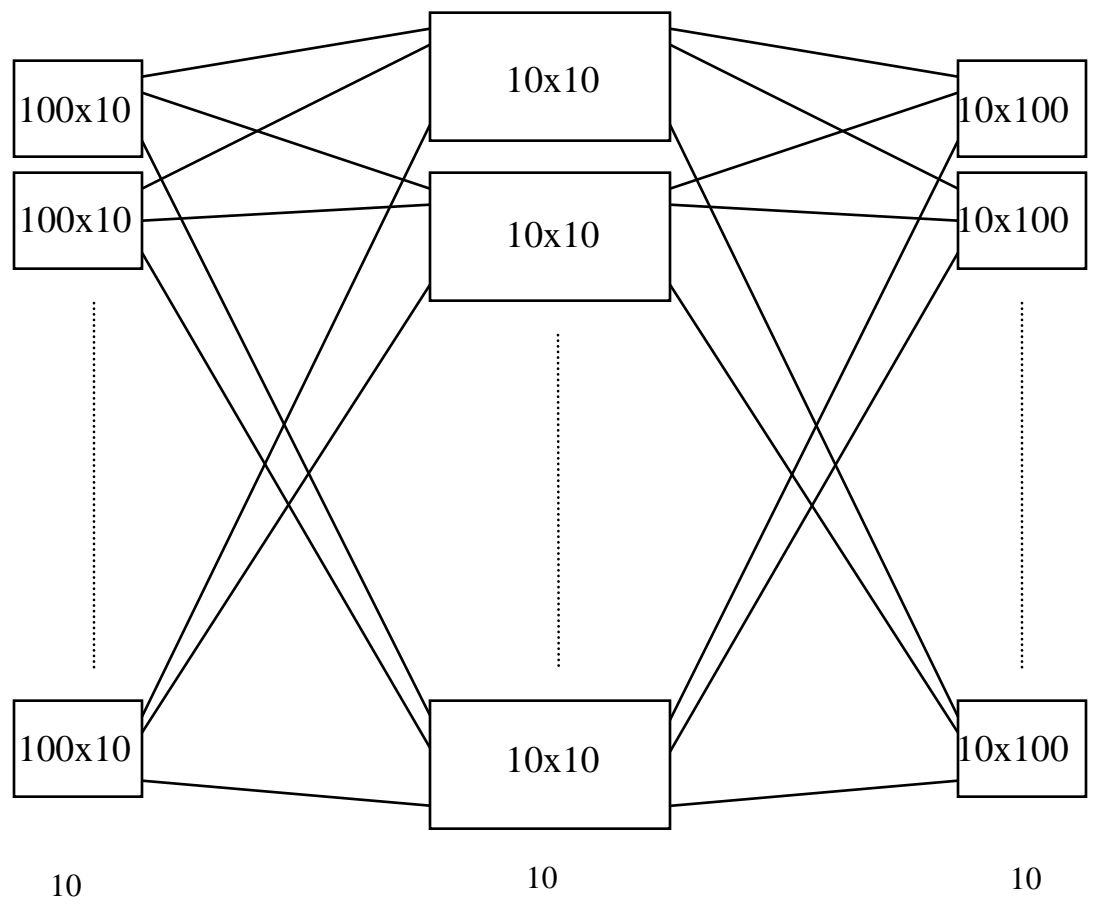
10x100

2×10^4

Sin accesibilidad total
Con bloqueo Interno

3.1. Conmutación espacial

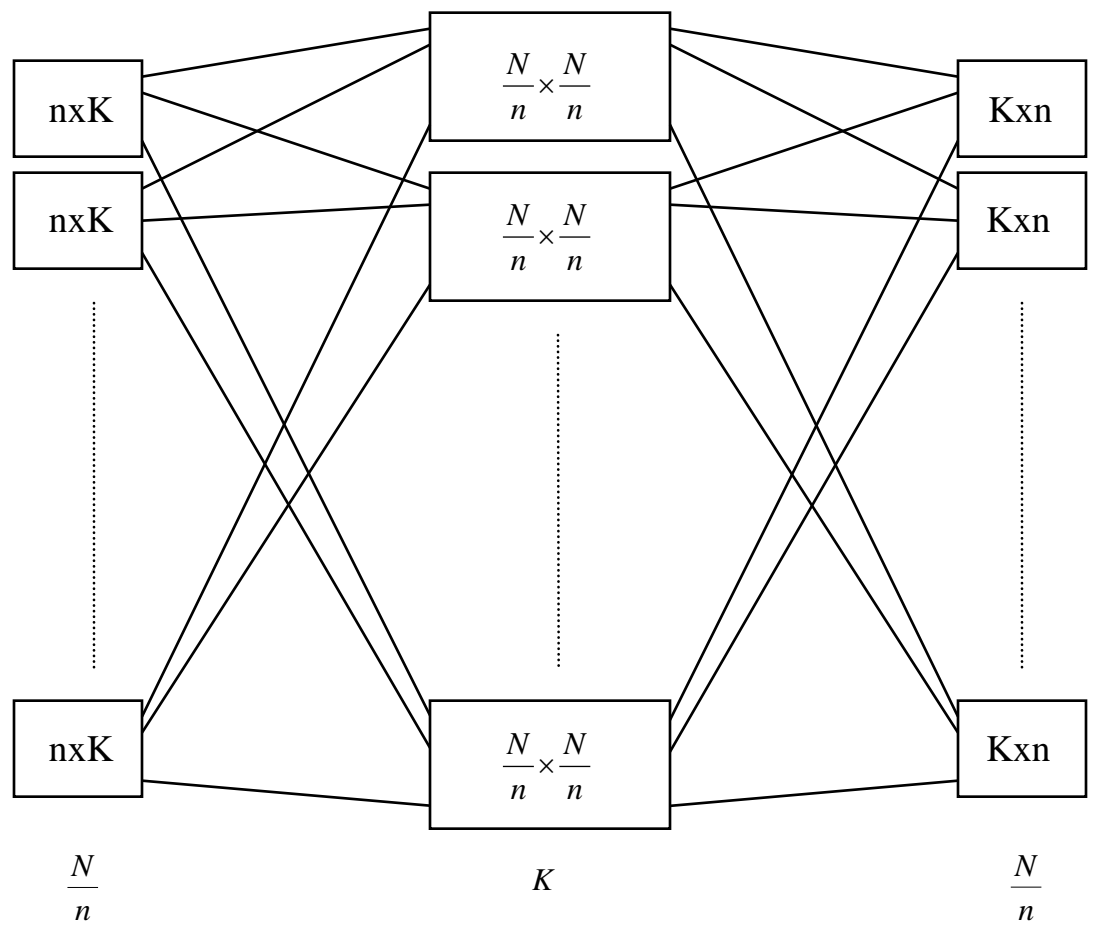
◆ Red Multietapa de 3 Etapas



$2 \times 10^4 + 10^3$
Accesibilidad total

3.1. Conmutación espacial

◆ Red Multietapa de 3 Etapas: Condición de Clos



$$M = 2 \frac{N}{n} \times n \times K + K \left(\frac{N}{n} \right)^2$$

Accesibilidad total

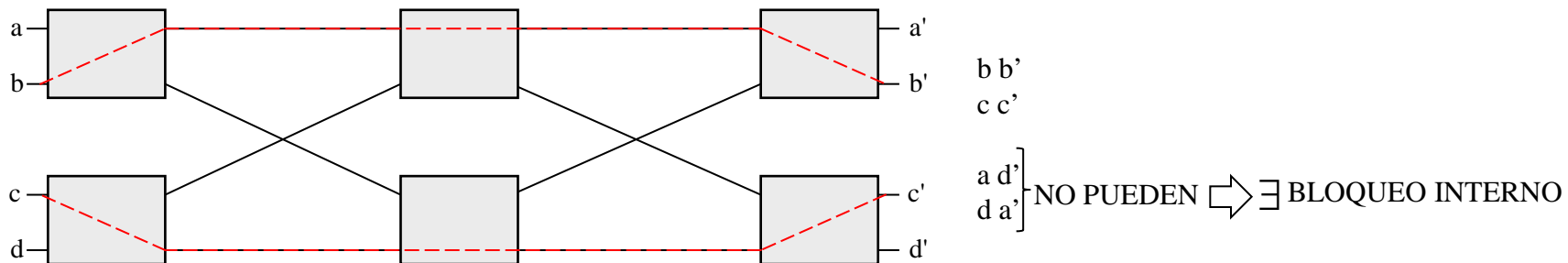
Condición de Clos $K \geq 2n - 1$

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{N}{2}}$$

N	CROSSBAR	3 ETAPAS
2048	4.194.304	516.096
512	262.144	63.488
32	1.024	896
8	64	96

3.1. Conmutación espacial

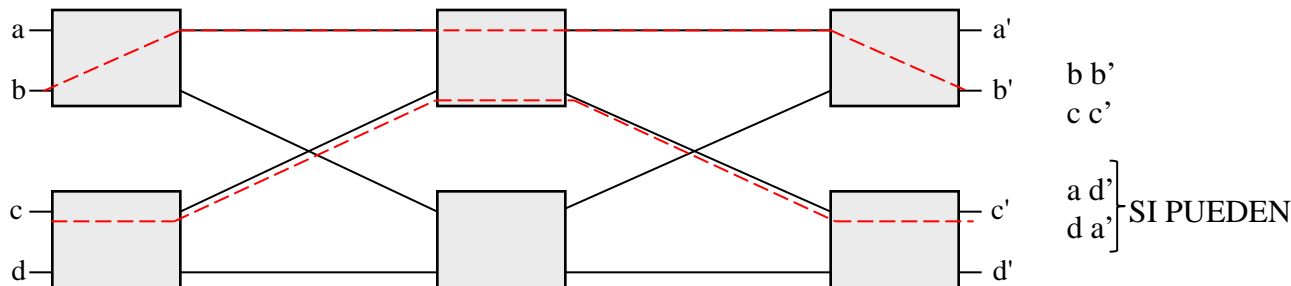
- ◆ Red Multietapa de 3 Etapas: Redes Reconfigurables
- ◆ Las redes multietapa no tienen bloqueo en sentido estricto, o no tienen bloqueo en sentido amplio, o tienen bloqueo
- ◆ Una red multietapa no tiene bloqueo en sense estricto si no existe ninguna combinación par entrada-salida que produzca bloqueo. Dada cualquier entrada y cualquier salida hay un camino que las une, por lo tanto cumple la condición de Clos
- ◆ Una red multietapa no tiene bloqueo en sense amplio si se pueden ordenar las conexiones que ya se han establecido (todas o algunas) para eliminar el bloqueo interno



3.1. Conmutación espacial

◆ Red Multietapa de 3 Etapas: Redes Reconfigurables

◆ Reordenando



◆ En una red sin bloqueo en sentido amplio ($K \geq n$) siempre existe una reordenación que evita el bloqueo

◆ En redes multietapa hay que comprobar la condición de Clos:

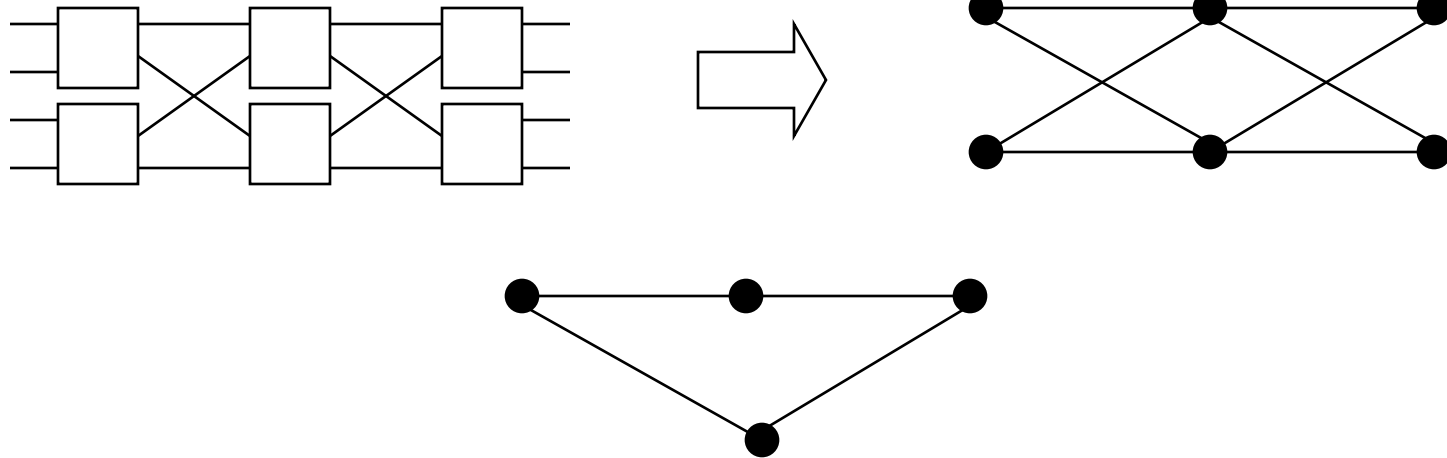
- Si se cumple $\rightarrow PB_{int}=0$. No bloqueante
- Si no se cumple $\rightarrow PB_{int} \neq 0$. Bloqueo en sentido estricto, y además:
 - ◆ Si hay reordenación y $K \geq n \rightarrow$ NO bloqueo en sentido amplio
 - ◆ Cualquier otro caso \rightarrow SÍ bloqueo en sentido amplio

3.2. Cálculo del bloqueo interno

- ◆ Se utiliza el Método de Lee. Es un método que sirve para calcular la PB de una red analógica
- ◆ Es un método aproximado, siempre se comete cierto error. Cuando la carga de la red es baja el método es bueno, a medida que aumenta la carga es peor
- ◆ Para poder aplicarlo se tienen que cumplir unas hipótesis:
 - Todas las fuentes generan el mismo tipo de tráfico. Esto se denomina TRÁFICO BALANCEADO
 - Los caminos se seleccionan aleatoriamente
 - Las llamadas rechazadas no reintentan, simplemente se pierden
 - Las ocupaciones entre etapas sucesivas son independientes
 - La ocupación de los enlaces de una misma etapa también son independientes
- ◆ Antes de aplicar el método de Lee hay que calcular:
 - GRAFO DE RED: Se calcula convirtiendo las matrices en vértices y las conexiones en aristas
 - GRAFO CANAL: Es el conjunto de todos los caminos que unen cada par entrada-salida

3.2. Cálculo del bloqueo interno

◆ Ejemplo:



Hay un total de 16 grafos-canal, todos idénticos

◆ La PB se calcula sobre el grafo canal:

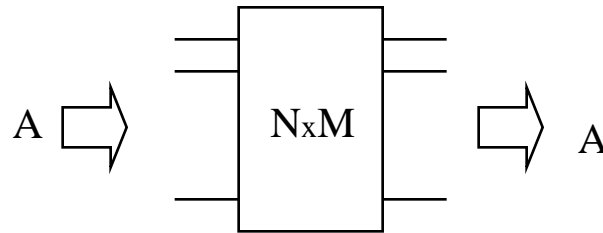
$$PB_{RED} = \sum_i PB_{GC_i} \cdot P_{GC_i} = \sum_i PB_{GC_i} \cdot \frac{N^\circ \text{ de } GC_i}{\text{total GC}}$$

◆ En nuestro caso:

$$PB_{RED} = PB_{GC_1} \times \frac{16}{16} = PB_{GC_1}$$

3.2. Cálculo del bloqueo interno

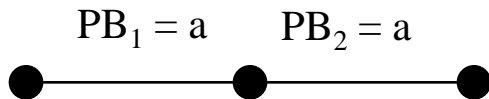
- ◆ La funcionalidad del método de Lee es calcular la PB del GC
- ◆ PB de una arista = $P(\text{arista esté ocupada}) = TC_{\text{arista}}$ (por una arista se transmite simultáneamente una sola conversación)
- ◆ Las redes crossbar no destruyen tráfico. Llamamos a al tráfico cursado por cada arista de entrada y a' al tráfico cursado por cada arista de salida



$$a = \frac{A}{N} \qquad a' = \frac{A}{M} = a \frac{N}{M}$$

- ◆ Hay 2 tipos de grafos:

Grafo serie

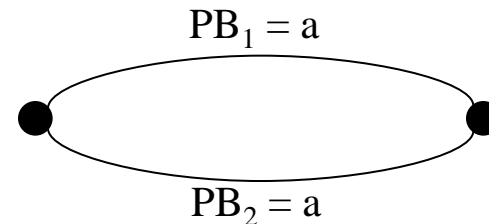


$$PB = 1 - PNB = 1 - (1 - a)^2$$

$$PB = PB_1 + (1 - PB_1)PB_2 = a + (1 - a)a$$

$$PB = PB_1 + PB_2 - PB_1 \cdot PB_2 = 2a - a^2$$

Grafo paralelo



$$PB = PB_1 PB_2 = a^2$$

Índice del tema:

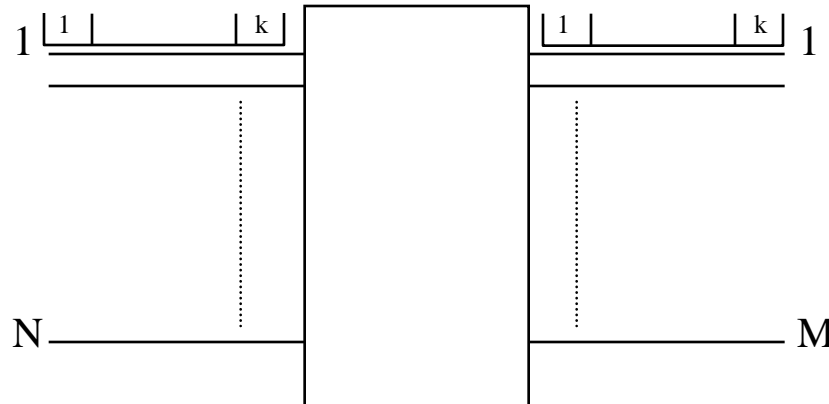
1. INTRODUCCIÓN
2. CONCENTRADOR DE TRÁFICO: MODELOS ANALÍTICOS ERLANG-B Y ENGSET
3. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ANALÓGICOS
 - 3.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 3.2. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
4. **SISTEMAS DE CONMUTACIÓN DIGITALES**
 - 4.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 4.2. CONMUTACIÓN TEMPORAL
 - 4.3. EQUIVALENTE ANALÓGICO
 - 4.4. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
5. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITALES RDSI, PDH Y SDH
6. EVALUACIÓN DEL GoS POR EL MÉTODO EFP (Erlang Fixed Point)

4. Sistemas de conmutación digitales

- ◆ Tras la digitalización de la voz, las conversaciones se transmiten como flujos de 64 Kbps
- ◆ El ancho de banda de la voz es de 4 KHz. Según Nyquist la frecuencia de muestreo debe ser el doble (8 KHz). Teniendo en cuenta que cada muestra es de 8 bits:

$$8 \text{ bit} \times 8000 \frac{1}{s} = 64000 \frac{\text{bits}}{s} = 64 \text{ Kbps}$$

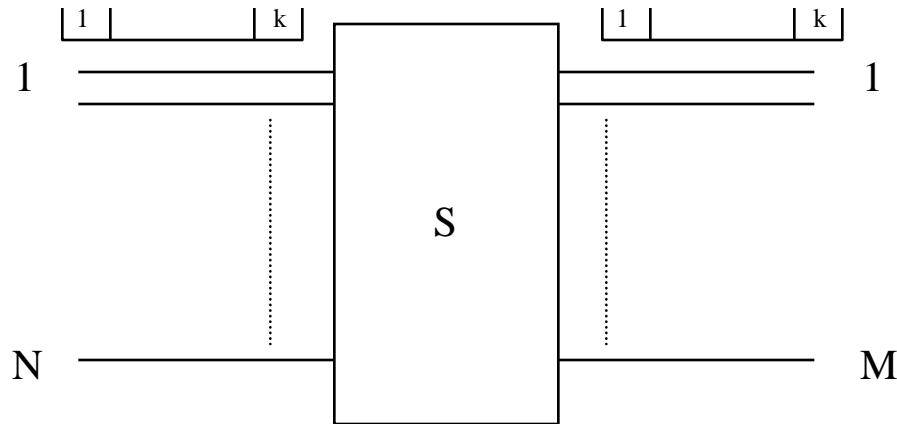
- ◆ Los enlaces de entrada y de salida del distribuidor utilizan TDM, multiplexación por división en el tiempo síncrona (múltiplex)
- ◆ Cada enlace transmite k conversaciones simultáneamente, por lo que tendrá una velocidad de $k \cdot 64$ Kbps



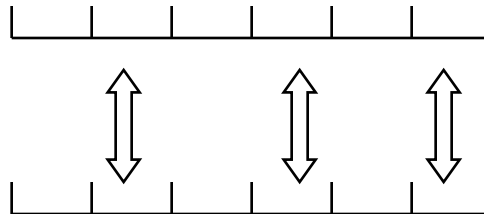
- ◆ Esto requiere dos tipos de conmutación:
 - Conmutación Espacial: variar el enlace de salida de una conversación
 - Conmutación Temporal: variar el canal (slot) de salida de una conversación

4.1. Conmutación espacial

- ◆ Se les conoce como etapas S

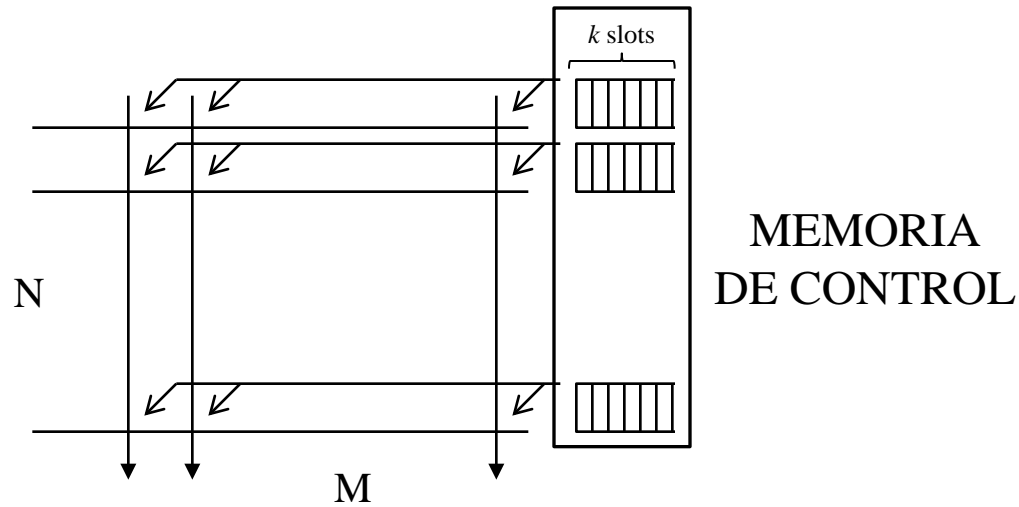


- ◆ Una conversación en el slot C de un determinado enlace de entrada puede ser conmutada al slot C de cualquier enlace de salida
- ◆ No puede variar el slot de una llamada. El tamaño de los múltiplex de entrada y salida debe coincidir

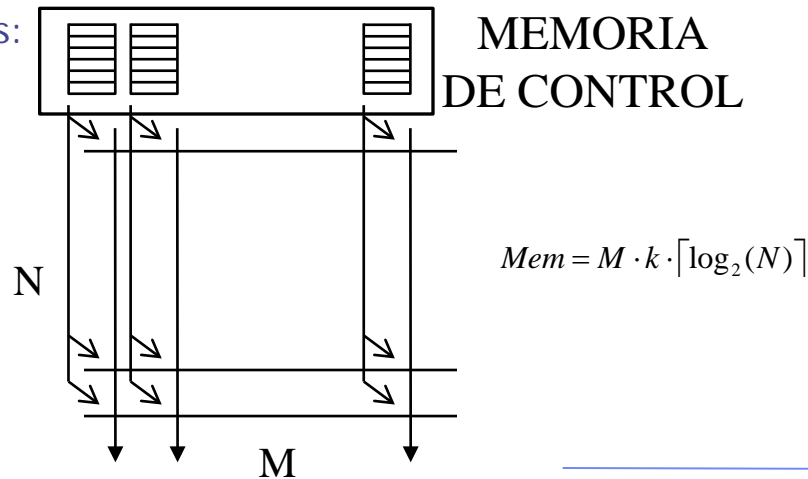


4.1. Conmutación espacial

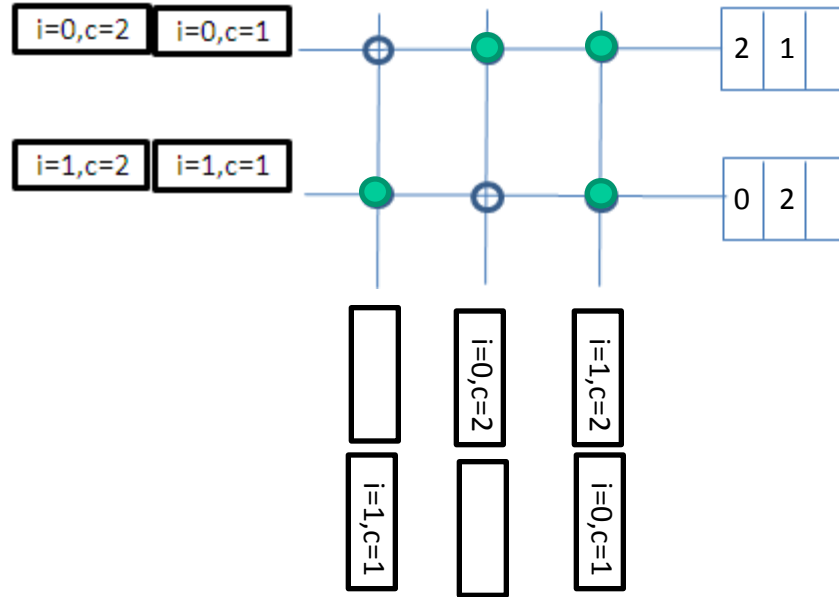
◆ Implementación



- ◆ Dado que hay M puntos de cruce, para representar en binario M valores hacen falta $\lceil \log_2(M) \rceil$ bits
- ◆ La cantidad de memoria necesaria es $Mem = N \cdot k \cdot \lceil \log_2(M) \rceil$
- ◆ Otra forma de hacer lo es:



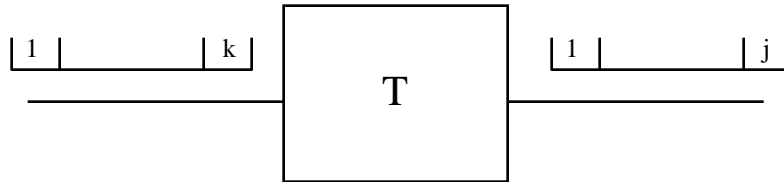
4.1. Conmutación espacial



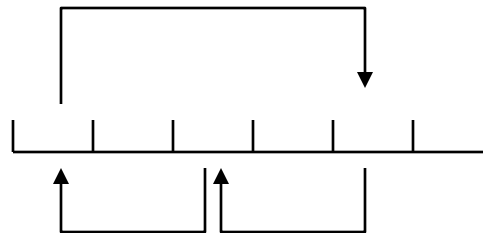
Multiplex Entrante	Canal	Multiplex Saliente	Canal
0	1	2	1
0	2	1	2
1	1	0	1
1	2	2	2

4.2. Conmutación temporal

- ◆ Se les conoce como etapas T



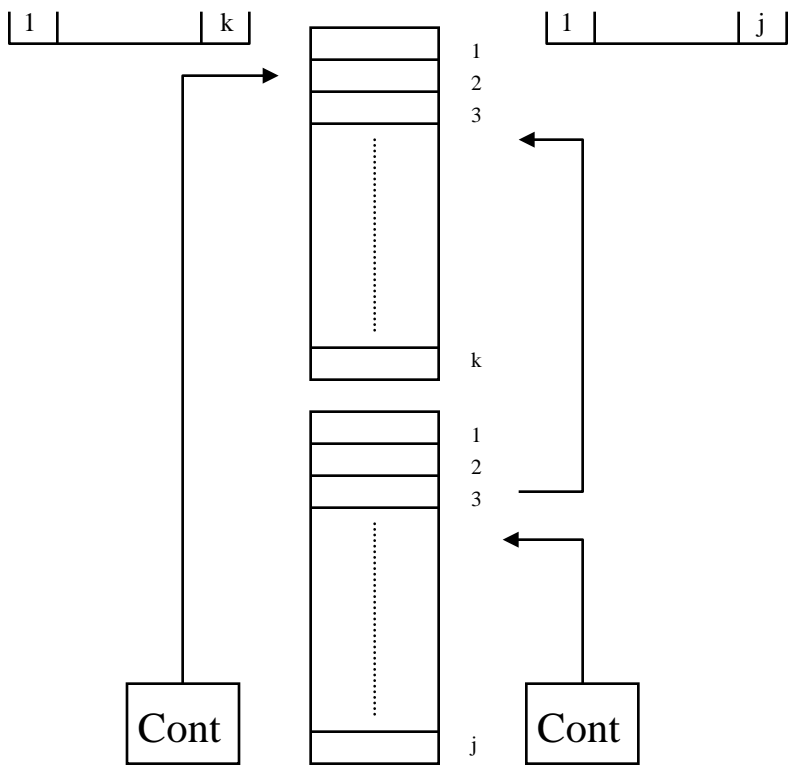
- ◆ Un único enlace de entrada y un único enlace de salida. El de entrada de tamaño k y el de salida de tamaño j
- ◆ Una conversación en el slot C_{in} puede ser conmutada a cualquier slot C_{out}
- ◆ El mecanismo TSI (Time-Slot Interchange) está basado en el almacenamiento de los datos que llegan sobre una memoria que reorganiza los slots en la trama de salida atendiendo a las conexiones existentes



- ◆ Dos implementaciones habituales:
 - Escritura secuencial-lectura controlada
 - Escritura controlada-lectura secuencial

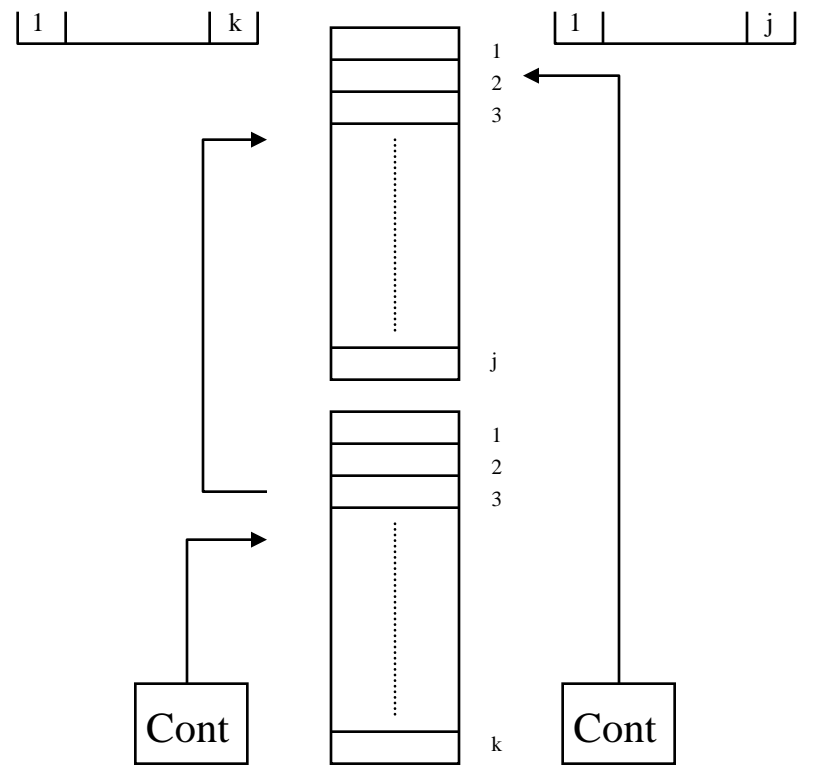
4.2. Conmutación temporal

Escritura secuencial-lectura controlada



$$Mem = 8k + j \cdot \lceil \log_2[k] \rceil$$

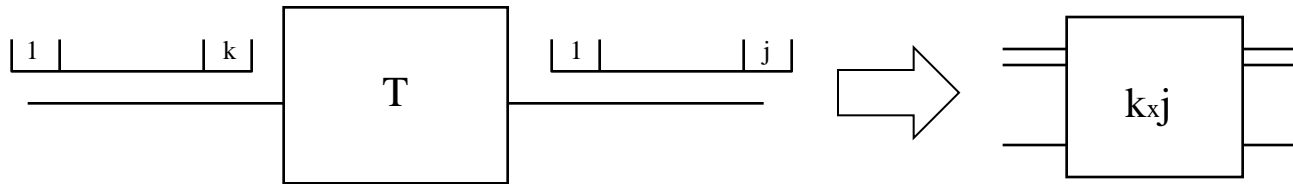
Escritura controlada-lectura secuencial



$$Mem = 8j + k \cdot \lceil \log_2[j] \rceil$$

4.3. Equivalente analógico

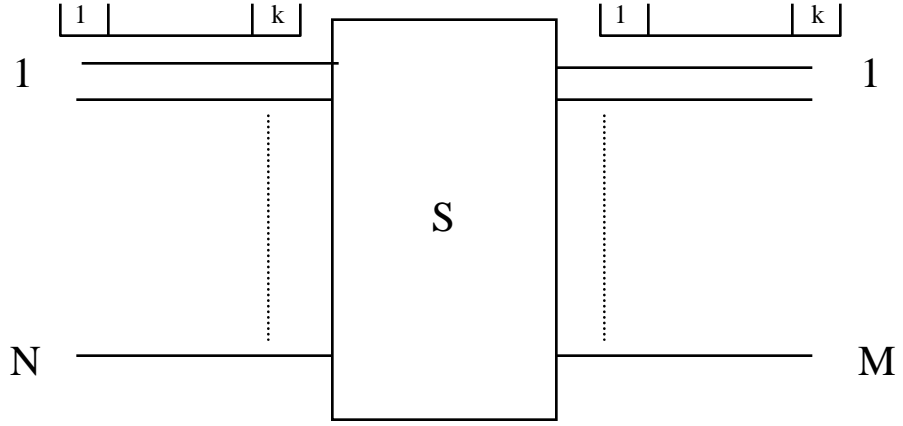
- ◆ Equivalente analógico de una etapa T es una crossbar de $k \times j$



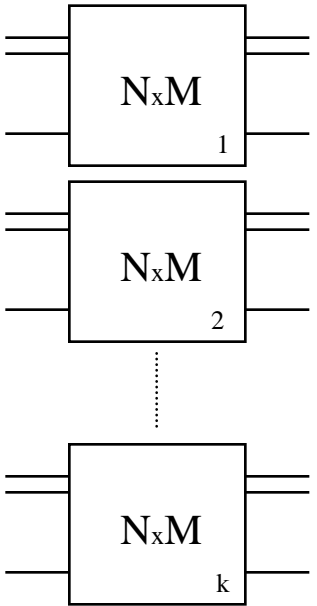
- ◆ Cada intervalo de tiempo se transforma en el equivalente analógico en una entrada o bien en una salida

4.3. Equivalente analógico

◆ Equivalente analógico de una etapa S



◆ Una crossbar asociada a cada intervalo de tiempo y cada crossbar de tamaño NxM



4.4. Cálculo del bloqueo interno

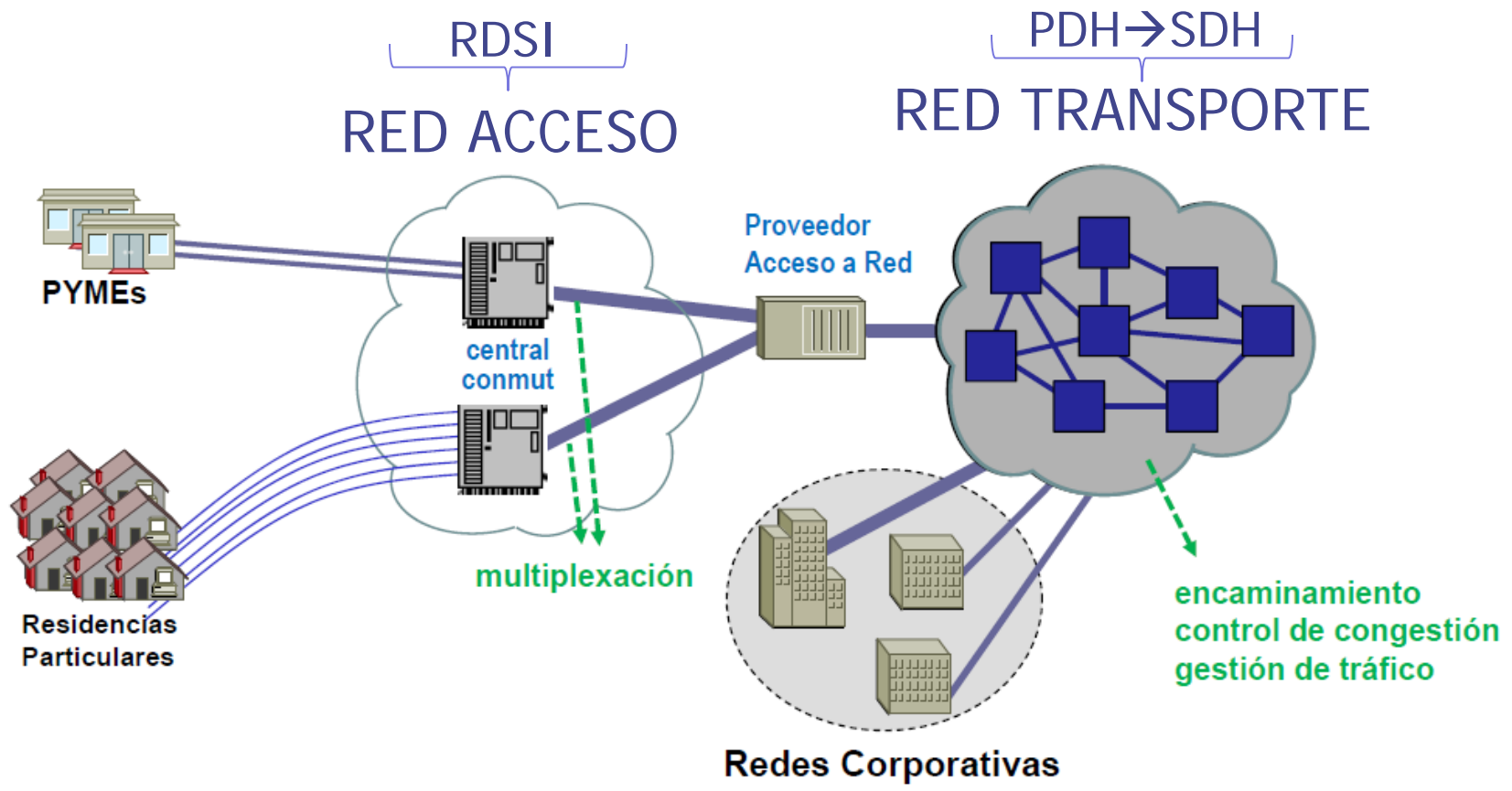
- ◆ Para el cálculo de la PB hay que seguir estos pasos:
 - Obtener el equivalente analógico
 - Aplicar el Método de Lee

- ◆ Para el diseño con $PB=0$
 - Obtener el equivalente analógico
 - Aplicar la condición de Clos
 - Volver a digital

Índice del tema:

1. INTRODUCCIÓN
2. CONCENTRADOR DE TRÁFICO: MODELOS ANALÍTICOS ERLANG-B Y ENGSET
3. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ANALÓGICOS
 - 3.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 3.2. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
4. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN DIGITALES
 - 4.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 4.2. CONMUTACIÓN TEMPORAL
 - 4.3. EQUIVALENTE ANALÓGICO
 - 4.4. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
5. **SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITALES RDSI, PDH Y SDH**
6. EVALUACIÓN DEL GoS POR EL MÉTODO EFP (Erlang Fixed Point)

5. Sistemas de transmisión digitales



5.1. RDSI

◆ Introducción

- La Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) es una red que proporciona conexiones digitales extremo a extremo y que soporta una amplia gama de servicios, tanto de voz como de datos
- Es, por tanto, una red integrada aunque su uso mayoritario es para redes de voz (conmutación de circuitos)

◆ Características

- Totalmente digital: bucle de abonado, conmutación y transmisión entre troncales
- Normalizada internacionalmente (la normalización incluye los servicios que debe ofrecer)
- Soporta conmutación de circuitos y de paquetes
- Basada en bloques básicos de 64 Kbps
- Sistemas y protocolos de señalización modernos (SS7)

5.1. RDSI



Canales

- Canal B (64 Kbps): Se emplea para conmutación de circuitos, de paquetes y para circuitos alquilados
- Canal D: Es de 16 Kbps en el acceso básico y 64 Kbps en el primario. Se emplea para señalización, conmutación de paquetes, telemetría, etc.
- Canales H (*raw bandwidth*):
 - ◆ H0: 6 intervalos de tiempo de la trama MIC (384 Kbps)
 - ◆ H11: 24 intervalos de tiempo de la trama MIC (1.536 Kbps)
 - ◆ H12: 30 intervalos de tiempo de la trama MIC (1.920 Kbps)

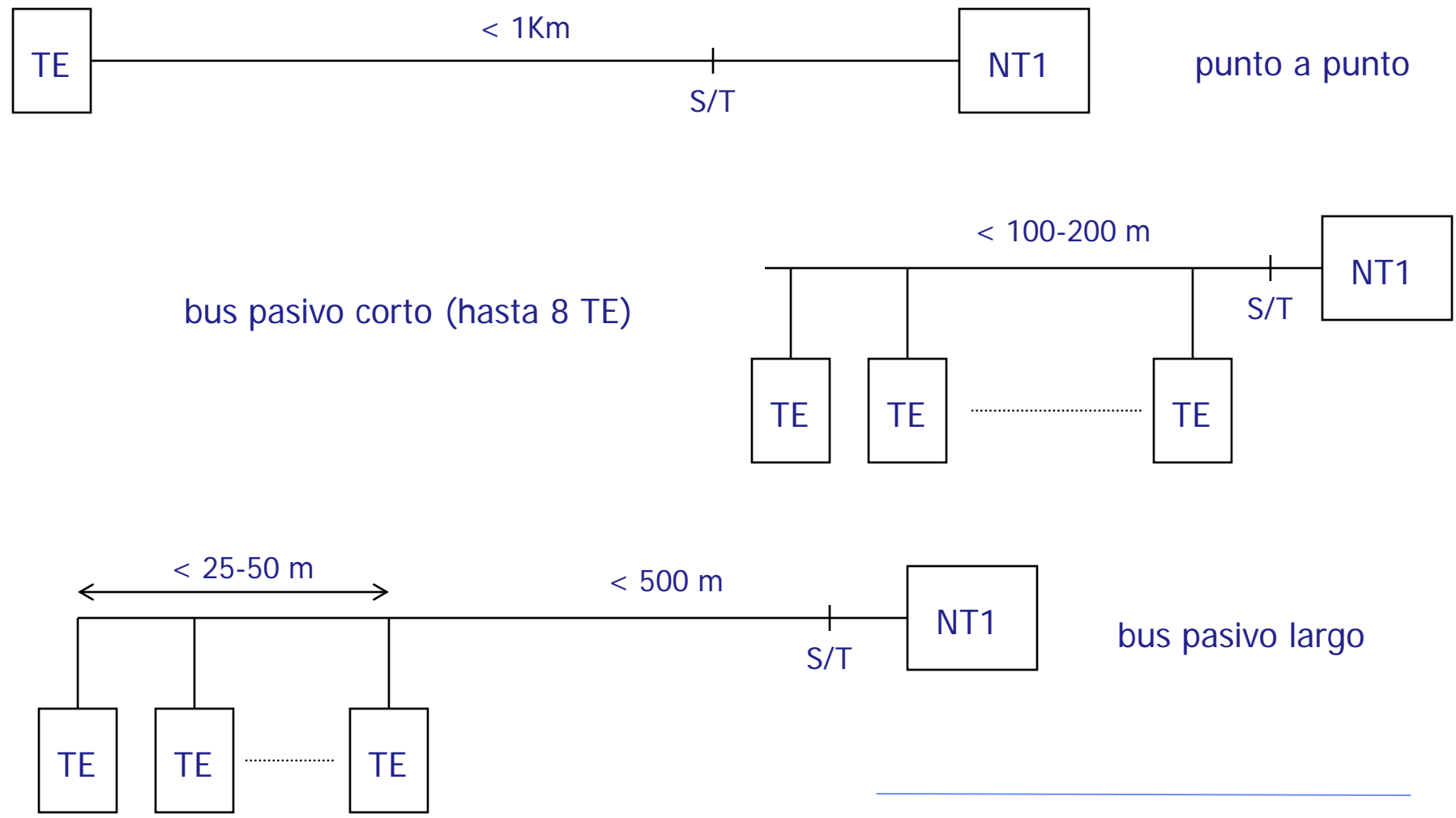


Accesos

- Acceso Básico: 2B+D
- Acceso Primario: 30B+D
- H0, H11 y H12 (*raw bandwidth*)

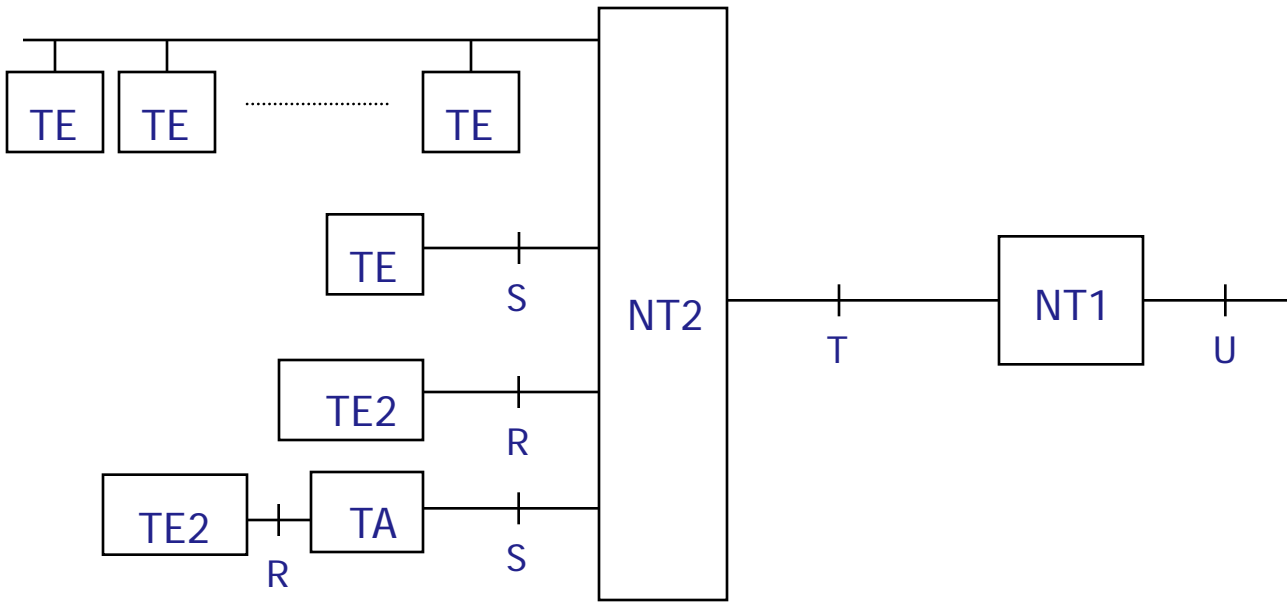
5.1. RDSI

Configuración de Referencia del Acceso Básico



5.1. RDSI

Configuración de Referencia del Acceso Primario



NT1

- Adaptación entre interfaces
- Multiplexación
- Temporización
- Distribución de la alimentación

NT2

- Funciones propias de una NT1
- Conmutación

5.1. RDSI

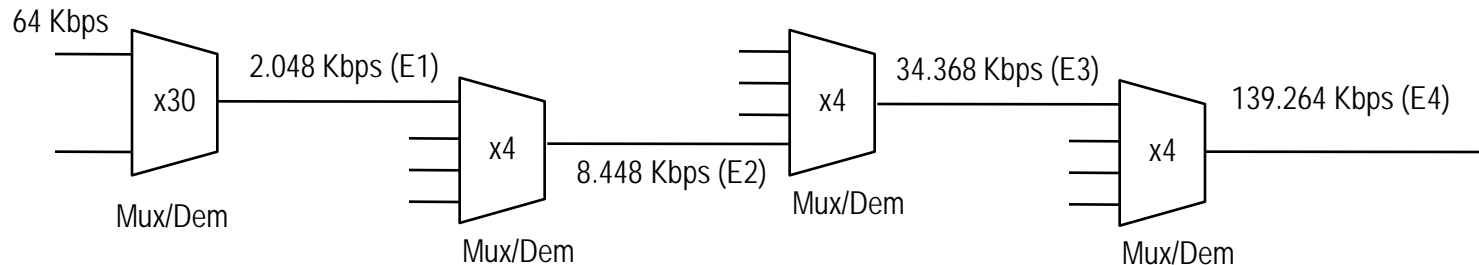
- ◆ En modo conmutación de circuitos (todos ellos estructurados a 8 KHz)
 - 64 Kbps sin restricción
 - 64 Kbps para conversación (G.711)
 - 64 Kbps para audio a 3,1 KHz
 - 64 Kbps alterna (restricción/conversación)
 - Nx64 sin restricción (N=2, 6, 24, 30)

- ◆ En modo conmutación de paquete
 - Señalización de usuario

5.2. PDH

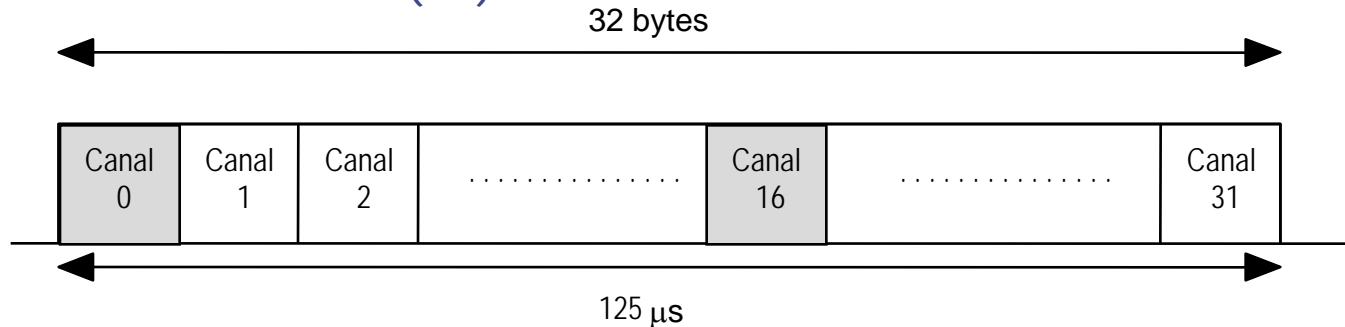
◆ Introducción

- *Plesiochronous Digital Hierarchy* (PDH): Creada en la década de los 70 para el transporte de señales telefónicas digitales y datos. Técnica basada en la multiplexación por división en el tiempo
- Es una red jerárquica. Se han definido cuatro jerarquías de multiplexación: primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria



5.2. PDH

◆ Estructura del MIC 30+2 (E1)

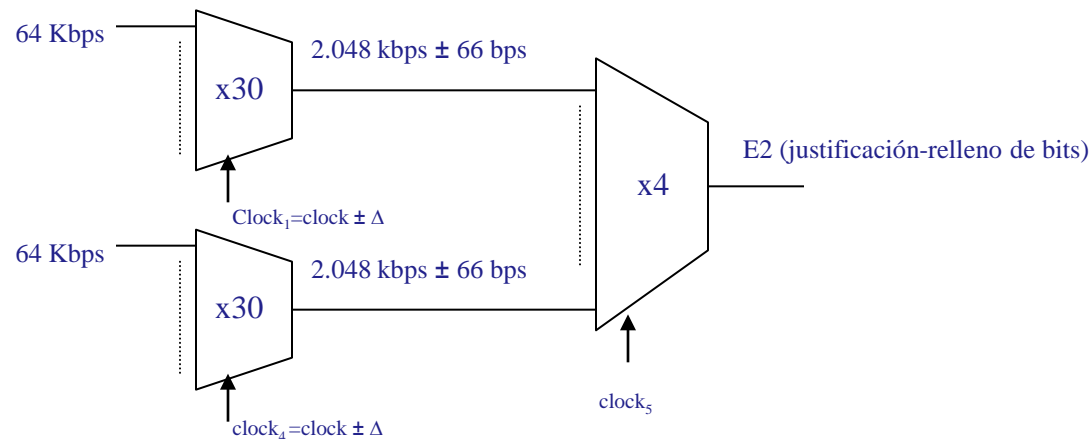


- 30 canales para el transporte de información y dos canales de control
- Velocidad del MIC: $32 \times 8 / 125 \mu s = 2048 \text{ Kbps}$
- Velocidad de cada canal: $8 / 125 \mu s = 64 \text{ Kbps}$ (información vocal)
- Canales de control
 - ◆ Canal 0: Sincronismo de trama
 - ◆ Canal 16: Señalización \Rightarrow Intercambio permanente de información de señalización. 4 bits para canales 1-15 y otros 4 bits para canales 17-31.
Velocidad de señalización: $4 / 15 \times 125 \mu s = 2,1 \text{ Kbps}$

5.2. PDH

◆ Principales Problemas

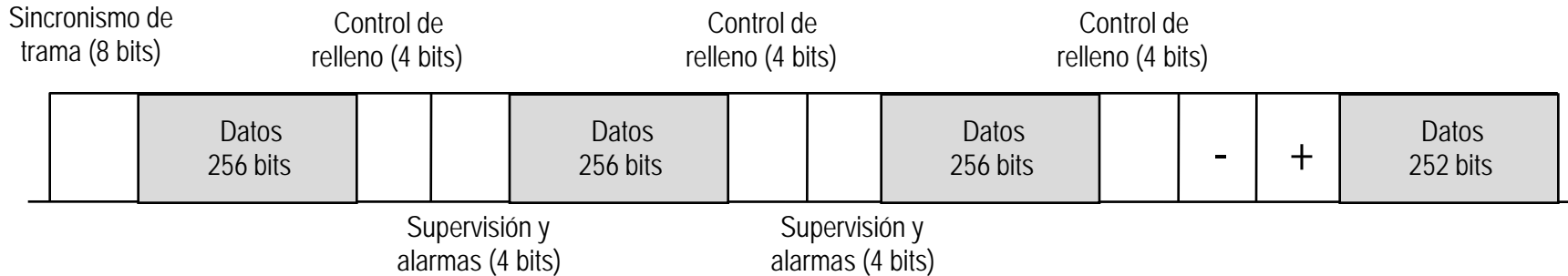
- La estructura de multiplexación es muy rígida. Por ejemplo, si se quiere multiplexar 16-E1 dentro de un E3, no hay más remedio que multiplexar primero los 16-E1 en 4-E2 y después, multiplexar los 4-E2 en un E3 (**solución: SDH**)
- Plesiócrona \Rightarrow "casi" síncrona, debido a la falta de sincronización entre los relojes utilizados para muestrear la señal digital. En consecuencia, a partir de la segunda jerarquía la velocidad de transmisión no se corresponde exactamente con la velocidad nominal (**solución: *bit stuffing***)



- Apenas tiene bits de control o de cabecera (*overhead*) para tareas de O&M (*Operation and Maintenance*) (**solución: SDH**)

5.2. PDH

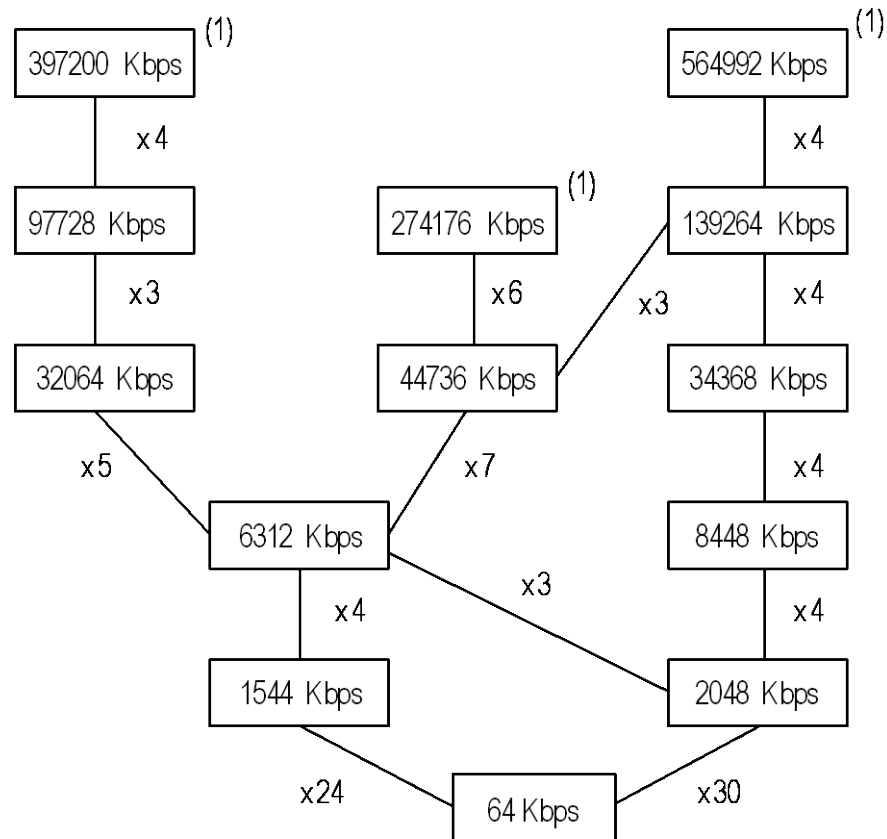
◆ Estructura de un E2



- Multiplexa bit a bit 4 afluentes del tipo E1
- Utiliza técnicas de relleno de bits (justificación) para corregir las derivas de la velocidad de los afluentes:
 - ◆ $V_{\text{afluente}} = V_{\text{nom}} \implies$ sin relleno (en + datos, en - bits de relleno)
 - ◆ $V_{\text{afluente}} = V_{\text{nom}} + \Delta V \implies$ relleno negativo (en - se coloca la información en exceso)
 - ◆ $V_{\text{afluente}} = V_{\text{nom}} - \Delta V \implies$ relleno positivo (en + se colocan bits de relleno)
- Velocidad de línea: $(8+4 \times 256+8+8+8)/125 \mu\text{s} = 8448 \text{ Mbps}$
- V_{nom} : $256 \times 4 / 125 \mu\text{s} = 8192 \text{ Mbps}$ ($V_{\text{nom}} \pm 32 \text{ Kbps}$; [8,16,24,32] Kbps)

5.2. PDH

◆ Otras jerarquías PDH

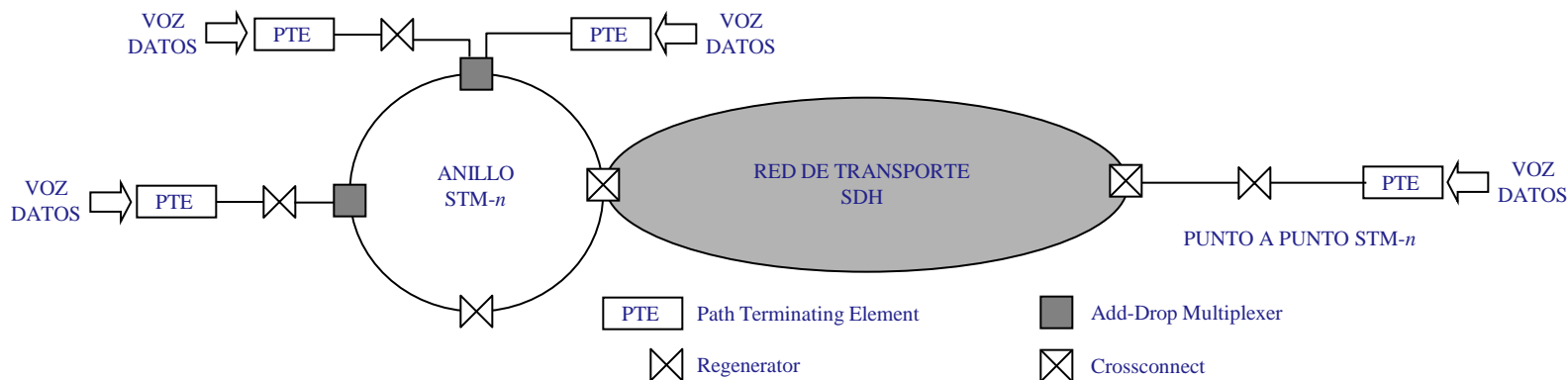


(1) Estructura de trama no definida por las recomendaciones del CCITT

5.3. SDH

◆ Introducción

- *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) es una red de transporte de señales digitales (telefonía y datos) basada en la tecnología SONET (*Synchronous Optical Network*). Es una evolución tecnológica de PDH
- En PDH la unidad de información es el bit (exceptuando el primer nivel jerárquico). En SDH la unidad de información es el octeto
- La topología más común es en anillo, aunque admite también topologías punto a punto



■ Secciones:

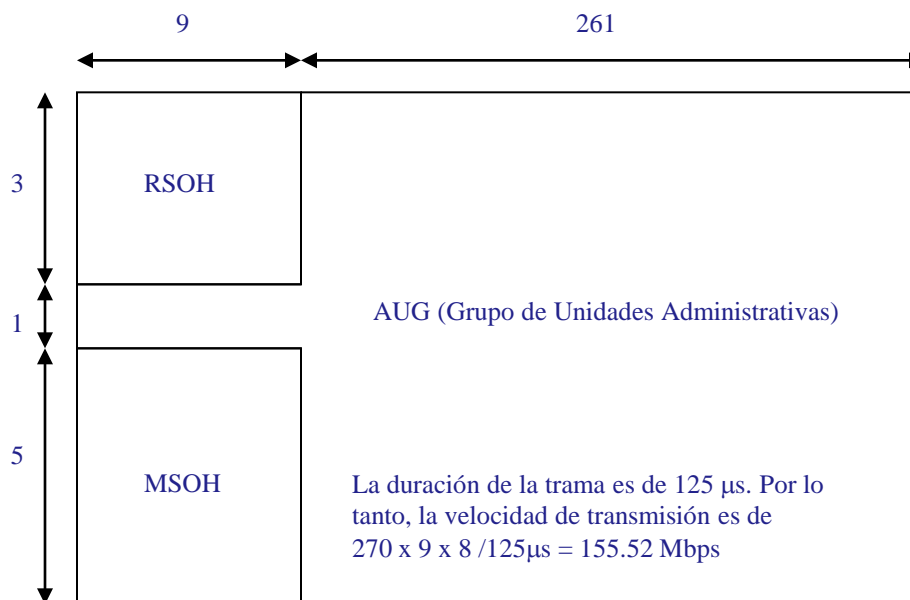
- ◆ *Path*: entre dos PTE origen-destino \Rightarrow POH
- ◆ *Multiplex Section*: entre un PTE-A&D o entre dos A&D (consecutivos) \Rightarrow MSOH
- ◆ *Regeneration Section*: entre cualquier par de elementos consecutivos \Rightarrow RSOH

5.3. SDH

- ◆ Características principales de SDH
 - **Flexibilidad:** Una única estructura de trama permite acomodar diferentes módulos de transporte (flujos PDH junto con cualquier tipo de trama de datos) en función de la demanda del tráfico
 - **Estándar:** mecanismo de transmisión usado internacionalmente por todos los operadores de telecomunicación
 - **Accesibilidad:** Se puede acceder a un tributario cualquiera dentro de la trama principal sin necesidad de demultiplexar la trama. De la misma forma, se puede incluir un nuevo tributario sin recurrir a equipos de multiplexación intermedios. Por ello, a los equipos SDH se les denota A&DM (*Add and Drop Multiplexer*)
 - **Control:** En la trama principal se incluyen canales de datos para el control de los tramos de regeneración y multiplexación. Se proporciona una gestión y supervisión del conjunto de la red de modo centralizado, desde un único centro de gestión
 - **Capacidad:** Acepta velocidades de hasta 40 Gbps. Esta capacidad le permite adaptarse a las actuales necesidades del mercado
 - **Sincronismo:** En SDH existe una red de sincronismo independiente de la red de transporte (sincronismo fuera de banda) que proporciona unos relojes de gran precisión. Todos los relojes se sincronizan con una referencia común llamada PRC (*Primary Clock Reference*), que es de elevada precisión (reloj atómico). En consecuencia, comparándola con la técnica PDH, las derivas producidas en la velocidad de transmisión son mucho menores (aunque también existen)

5.3. SDH

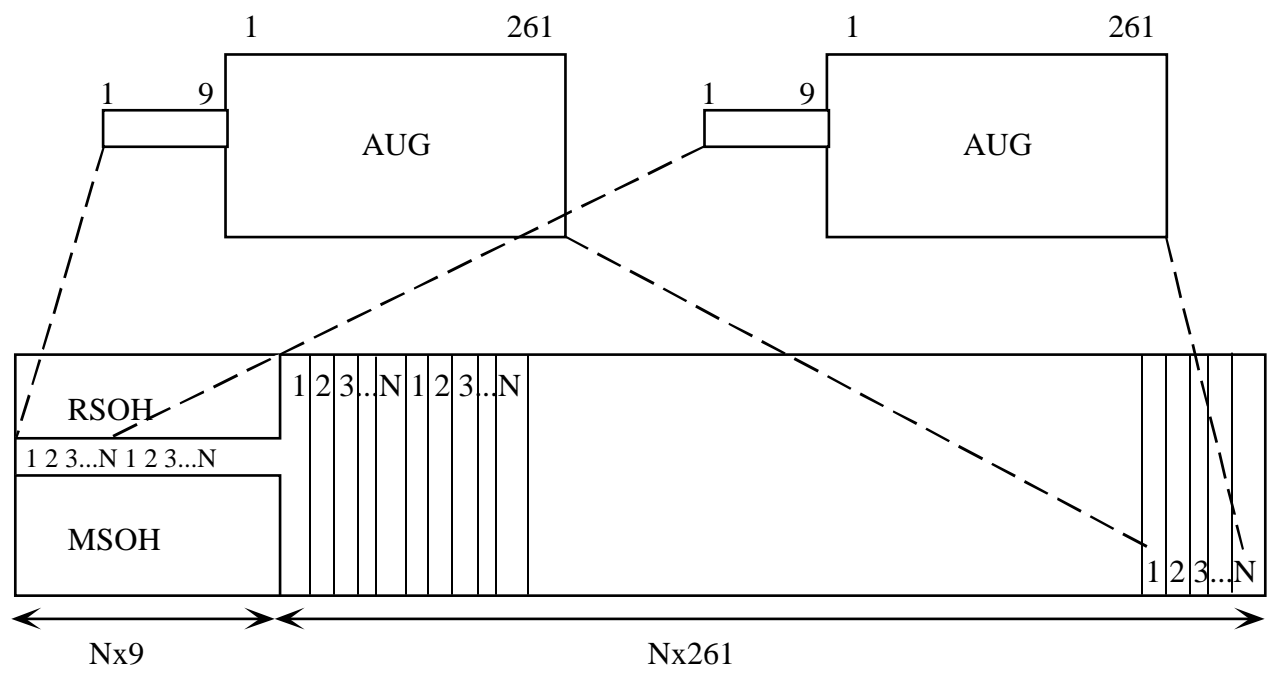
- ◆ Módulos de transporte
 - En la actualidad, están definidos cinco módulos de transporte: **STM-1**: Es el nivel más bajo de la jerarquía. Es capaz de transmitir a 155,52 Mbps (una trama cada 125 μ s). **STM-4**: Multiplexa 4 tramas STM-1 (622,08 Mbps). **STM-16**: Multiplexa 4 tramas STM-4 (2,5 Gbps). **STM-64**: Multiplexa 4 tramas STM-16 (10 Gbps). **STM-256**: Multiplexa 4 tramas STM-64 (40 Gbps)
- ◆ Formato de la trama STM-1



Orden de transmisión: de izquierda a derecha y de arriba a abajo

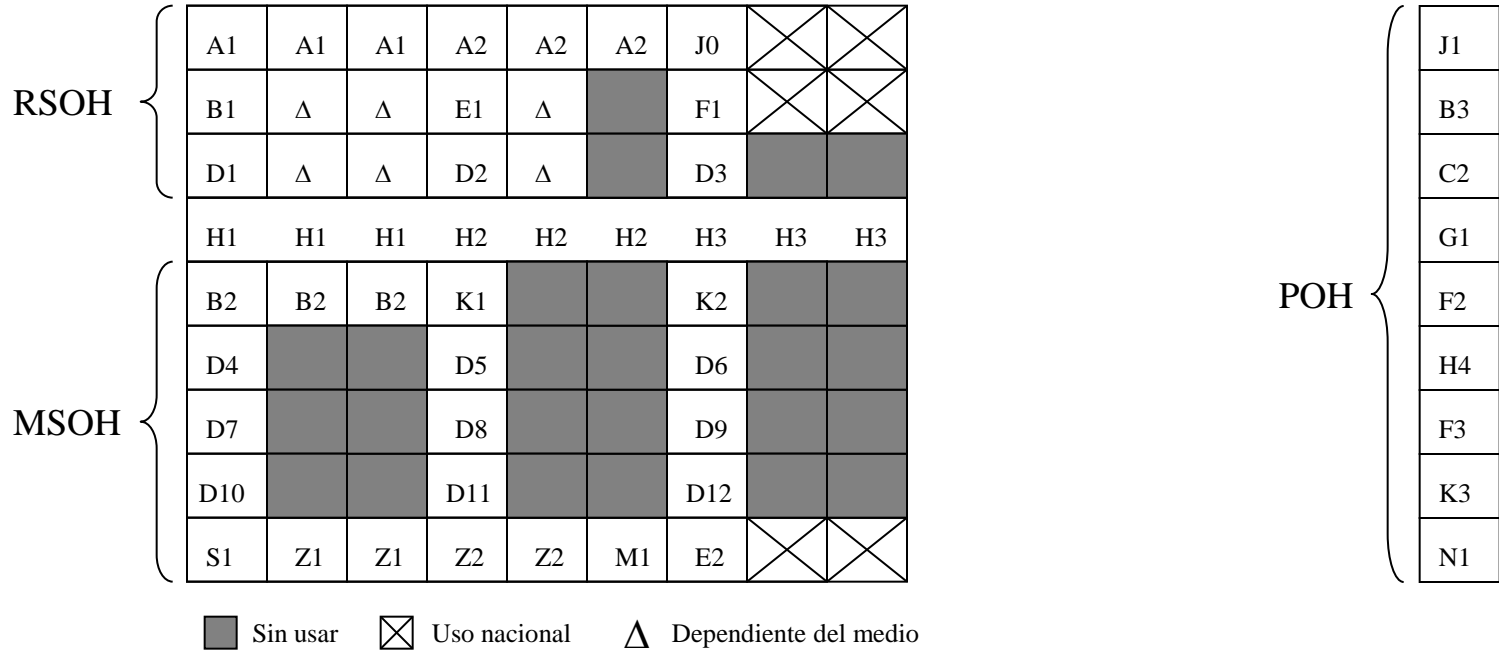
5.3. SDH

Formato de la trama STM-N



5.3. SDH

Octetos de la cabecera



5.3. SDH

◆ Octetos de la cabecera de la sección de regeneración (RSOH)

A1, A2	Framing. These two bytes indicate the beginning of the STM-1 frame. The A1, A2 bytes are unscrambled. A1 has the binary value 11110110 and A2 has the 00101000.
J0	Trace message. It's used to transmit a identifier so that a section receiver can verify its continued connection to the intended transmitter. The coding of J0 byte is the same that J1 and J2 bytes.
B1	Parity code (bit interleaved parity, BIP-8). This is a parity code (even parity). Its value is calculated over all bits of the previous frame after scrambling, then placed in the B1 byte of the STM-1 before scrambling.
E1	Orderwire. It allow a simple voice channel that could be used by the craftsperson at each end of a regeneration-section who were installing or repairing the equipment to communicate with each other during their work.
F1	User channel. Same as E1 but for (point to point) data communications.
D1, D2, D3	Data communication Channel (DCC). Together, these three bytes form a 192 kbps packet switching data communication channel used for alarms, control, monitoring, administration and other operation & maintenance (OAM) needs.

5.3. SDH

◆ Octetos de la cabecera de la sección de multiplexación (MSOH)

B2	Parity code (bit interleaved parity, BIP-24). This is a parity code (even parity). Its value is calculated over all bits of the previous frame after scrambling (excluding RSOH), then placed in the B2 bytes of the STM-1 before scrambling.
K1, K2	Automatic Protection Switching. These two bytes carry the signaling required to protect the signal at the Multiplex Section level. It involves switching the entirely payload from a failed facility to a backup (protection) facility. In addition, K2 is used to signal the Alarm Indication Signal (AIS) and the Remote Defect Indication (RDI) conditions.
E2	Orderwire. It allow a simple voice channel that could be used by the craftsperson at each end of a multiplex-section who were installing or repairing the equipment to communicate with each other during their work.
D4 to D12	Data communication Channel (DCC). Together, these three bytes form a 576 kbps packet switching data communication channel used for alarms, control, monitoring, administration and other operation & maintenance (OAM) needs.
S1	Synchronization status message. It indicates the quality of the clock that the transmitting equipment is using.
M1	Reverse Error Indication (REI). It transports the numbers of erroneous bits in the previous frame.

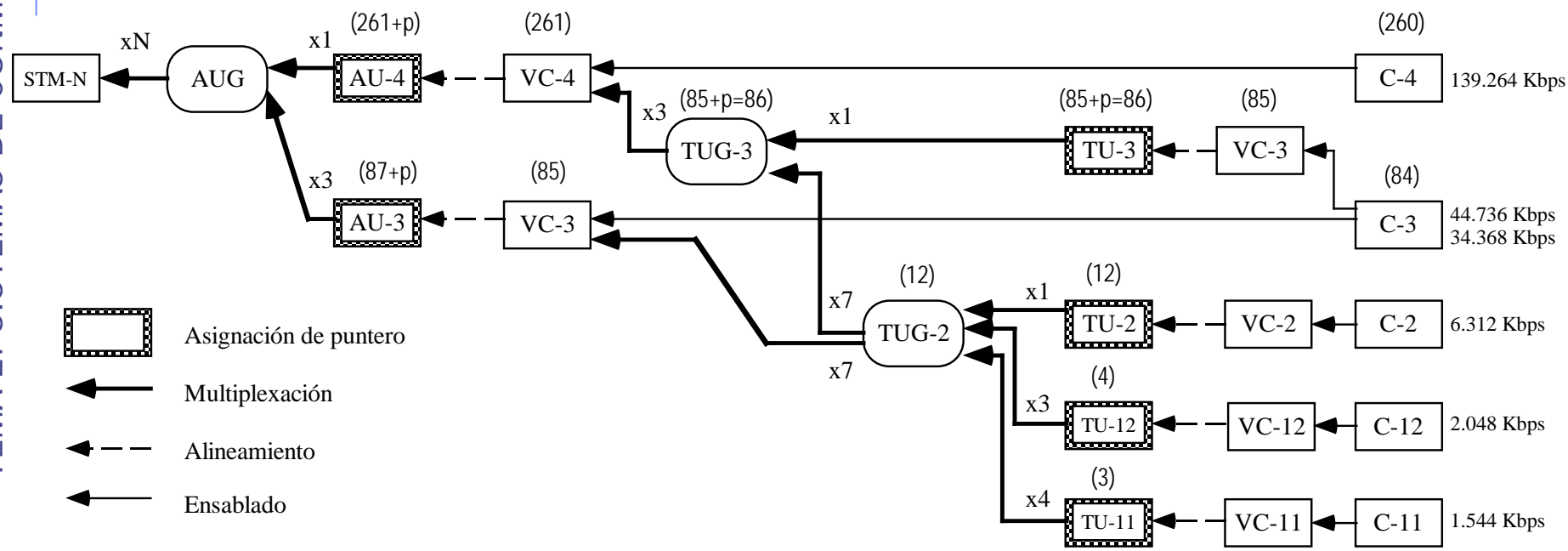
5.3. SDH

◆ Octetos de la cabecera del path(POH)

J1	Trace message. It's used to transmit a identifier so that a section receiver can verify its continued connection to the intended transmitter. The coding of J1 byte is the same that J0 and J2 bytes.
B3	Bit interleaved parity code (BIP-8). This is a parity code (even parity). Its value is calculated over all bits of the previous virtual container before scrambling.
C2	Signal level. It indicates the type of payload that is contained within the VC3-4 payload.
G1	Status. It transports the REI and the RDI for the path layer. The Path-AIS is indicated by sending all 1s in the payload area and in the pointer bytes (H1, H2, H3) associated with that path.
F2, F3	User channel. For point to point user (craftsperson) data communications.
H4	Tributary Unit multiframe indicator. This bytes provides a multiframe indicator for payload containers. At present, it carries 4-values incremented count (0-3) to indicate de frame number within a VC-1/2 multiframe structure.
K3	The use of this bytes is for further study.
N1	Network operator byte. This byte provides a Higher-Order Tandem Connection Monitoring (HO-TCM) function.

5.3. SDH

- ◆ Estructura de multiplexación
 - Definida de tal forma que sea compatible con las estructuras de multiplexación de los sistemas PDH
 - También permite el intercambio de tramas SONET con SDH y viceversa



5.3. SDH

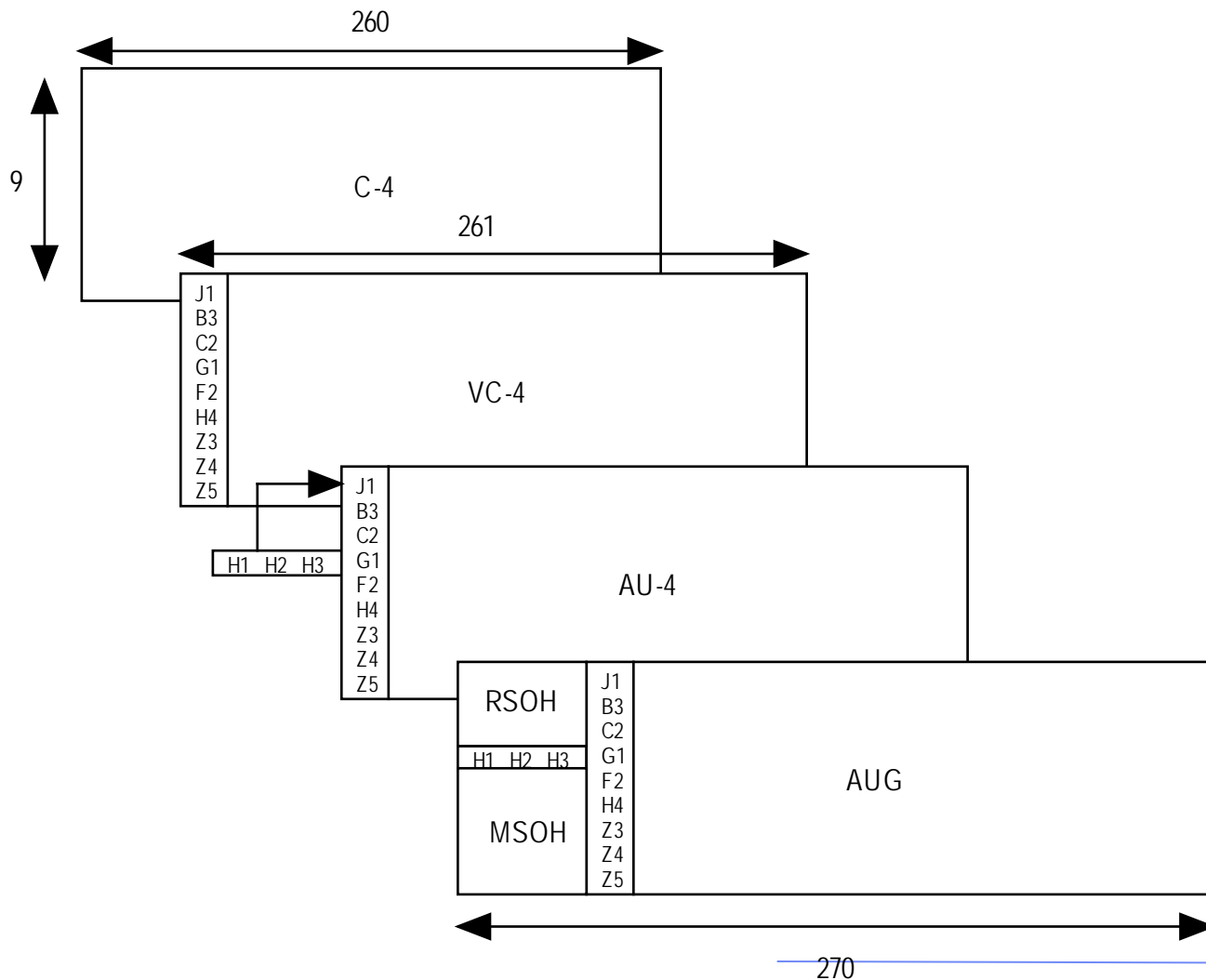
- ◆ Estructura de multiplexación (continuación)
 - **Contenedor**
 - ◆ Capacidad disponible para el transporte de información (*payload*)
 - ◆ Se han definido sus capacidades de forma que se adapten con las velocidades de PDH
 - ◆ En algunos casos, la adaptación se consigue mediante la adición de octetos de *padding*
 - **Contenedor Virtual**
 - ◆ Se forma añadiendo una cabecera al contenedor. Dicha cabecera recibe el nombre de POH (*Path OverHead*). Se han definidos dos tipos de contenedores virtuales:
 - VC de orden inferior (VC-11, VC-12, VC-2)
 - VC de orden superior (VC-3, VC-4)
 - **Unidad Administrativa**
 - ◆ Formada por un contenedor virtual de orden superior y por un puntero que indica la posición del primer octeto del contenedor
 - ◆ Las unidades administrativas definidas son UA-3 y UA-4 que transportan un contenedor virtual de orden 3 y 4 respectivamente

5.3. SDH

- ◆ Estructura de multiplexación (continuación)
 - **Grupo de Unidades Administrativas**
 - ◆ Agrupamiento de varias unidades administrativas (3 UA-3 o una única UA-4)
 - **Unidad Tributaria**
 - ◆ Formada por un contenedor virtual de orden inferior y por un puntero que indica la posición temporal del primer octeto del contenedor. Sirve para adaptar las capacidades entre los contenedores inferiores y superiores
 - **Grupo de Unidades Tributarias**
 - ◆ Agrupamiento de varias unidades tributarias. Se define para permitir la transmisión de tributarias de distintas capacidades sobre una misma trama STM-1. En consecuencia, los grupos no tienen por que ser homogéneos entre si
- En una trama STM-1 se pueden multiplexar: un único VC-4 o tres VC-3
- La definición de contenedores virtuales superiores (VC-3/4) e inferiores (VC-11/12/2) permite construir equipos de *backbone* a un coste muy reducido, ya que sólo es necesario disponer de equipos con una elevada capacidad de gestión del entramado y de configuración de la red en las fronteras de la red

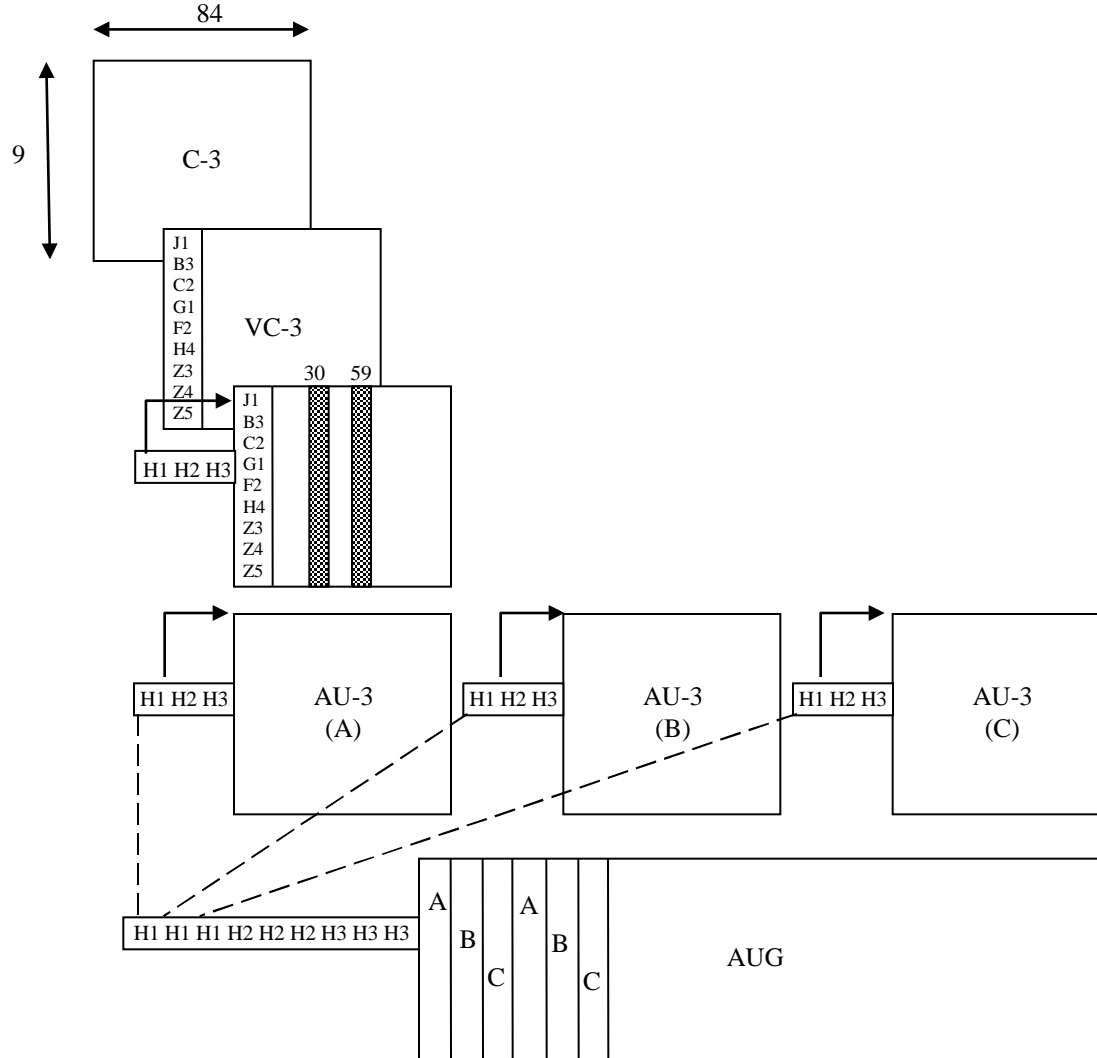
5.3. SDH

◆ Multiplexación de un C-4



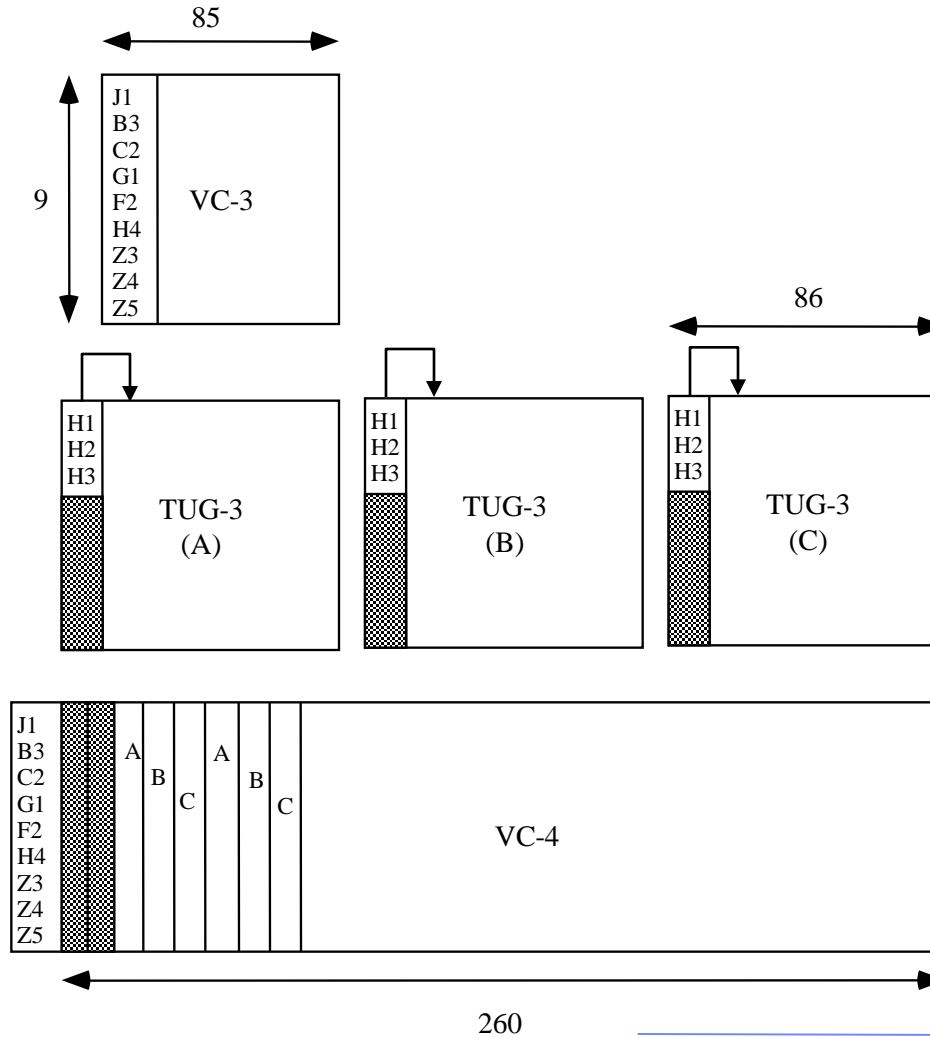
5.3. SDH

◆ Multiplexación de tres C-3 en un AUG



5.3. SDH

- Multiplexación de tres C-3 en un VC-4

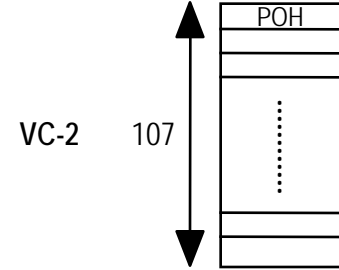
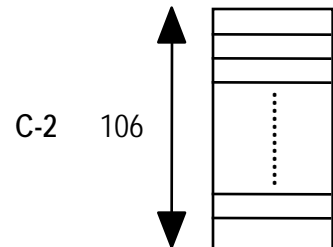
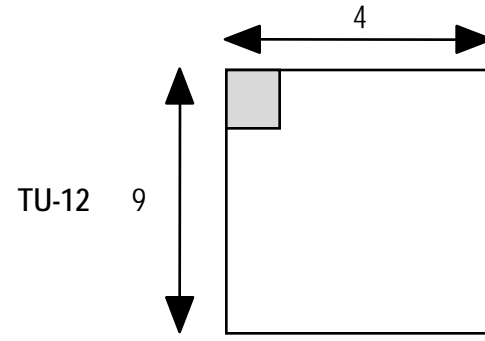
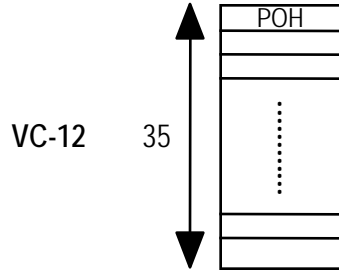
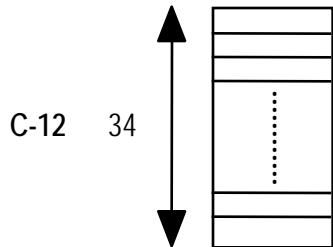
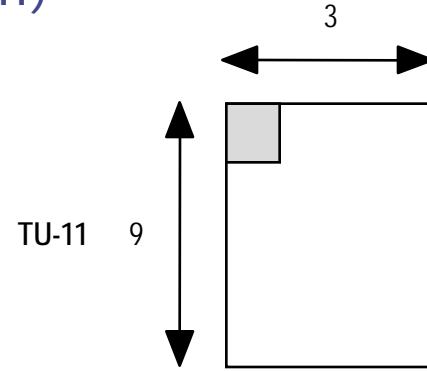
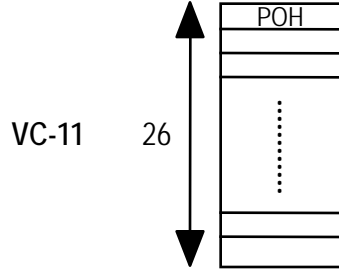
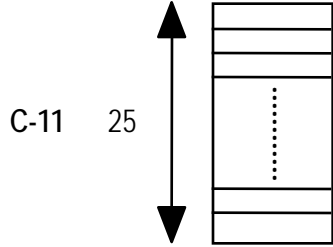


5.3. SDH

- ◆ Unidades tributarias de orden inferior (I)
 - Los contenedores virtuales de orden inferior (VC-11/12/2) se transmiten mediante una estructura de multitrama. Una multitrama está formada por 4 tramas consecutivas (500 μ s). El octeto H4 del POH del contenedor de orden superior (VC-3/4) indica cuál de las 4 multitramas se está transmitiendo en una trama STM concreta
 - El POH de una TU de orden inferior está formado por 4 bytes:
 - ◆ V5: control de errores (2 bits), REI (1 bit), RFI (1 bit), RDI (1 bit), *signal label* (3 bits)
 - ◆ J2: idéntica funcionalidad y valor que J0 y J1
 - ◆ N2: idéntica funcionalidad que N1 pero para tributarios de orden inferior
 - ◆ K4: reservado
 - El puntero están formado por 4 bytes:
 - ◆ V1, V2: el puntero propiamente dicho
 - ◆ V3: oportunidad de relleno
 - ◆ V4: reservado
 - Se transmite un octeto del POH y del puntero en cada trama de la multitrama

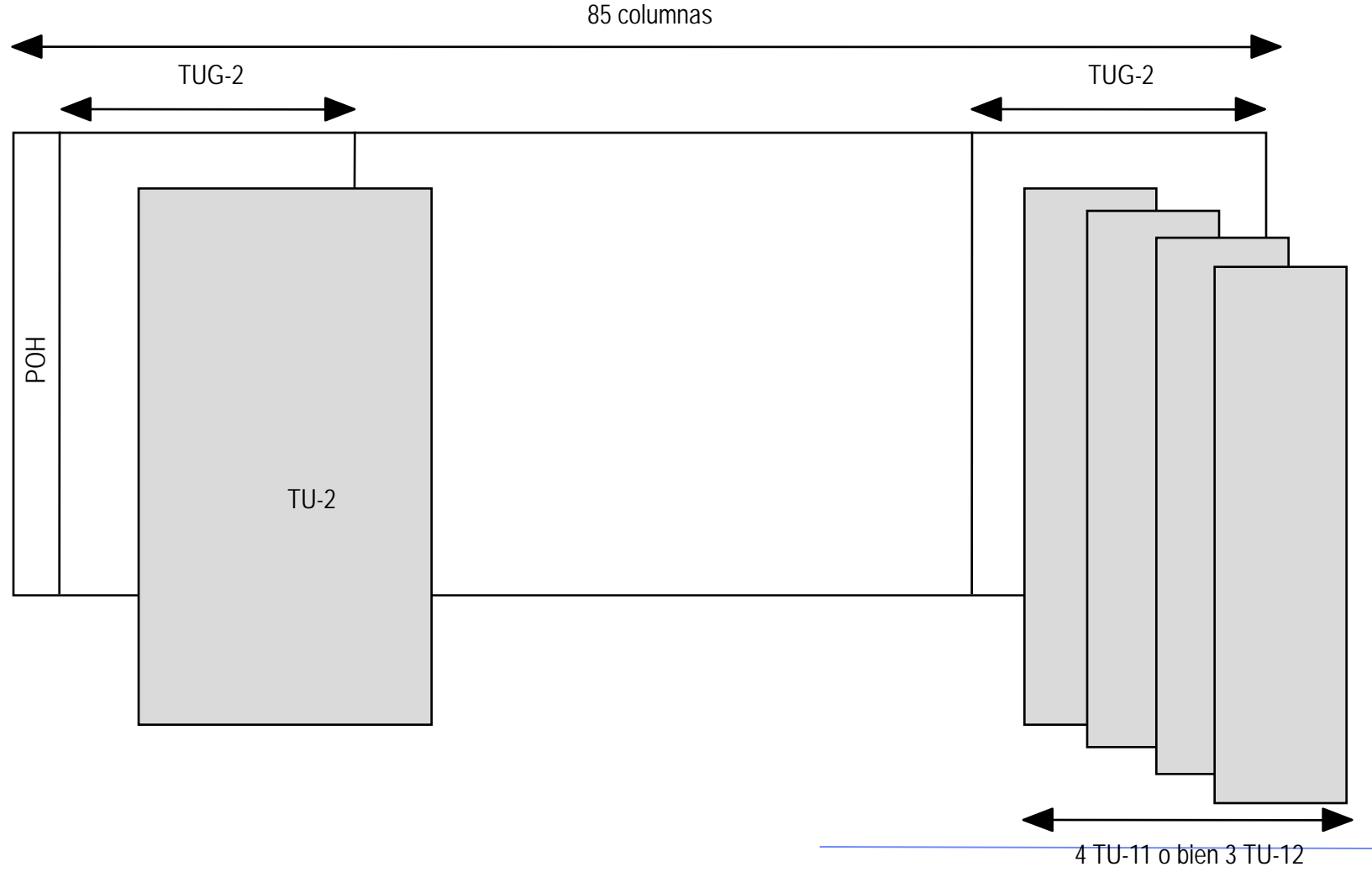
5.3. SDH

◆ Unidades tributarias de orden inferior (II)



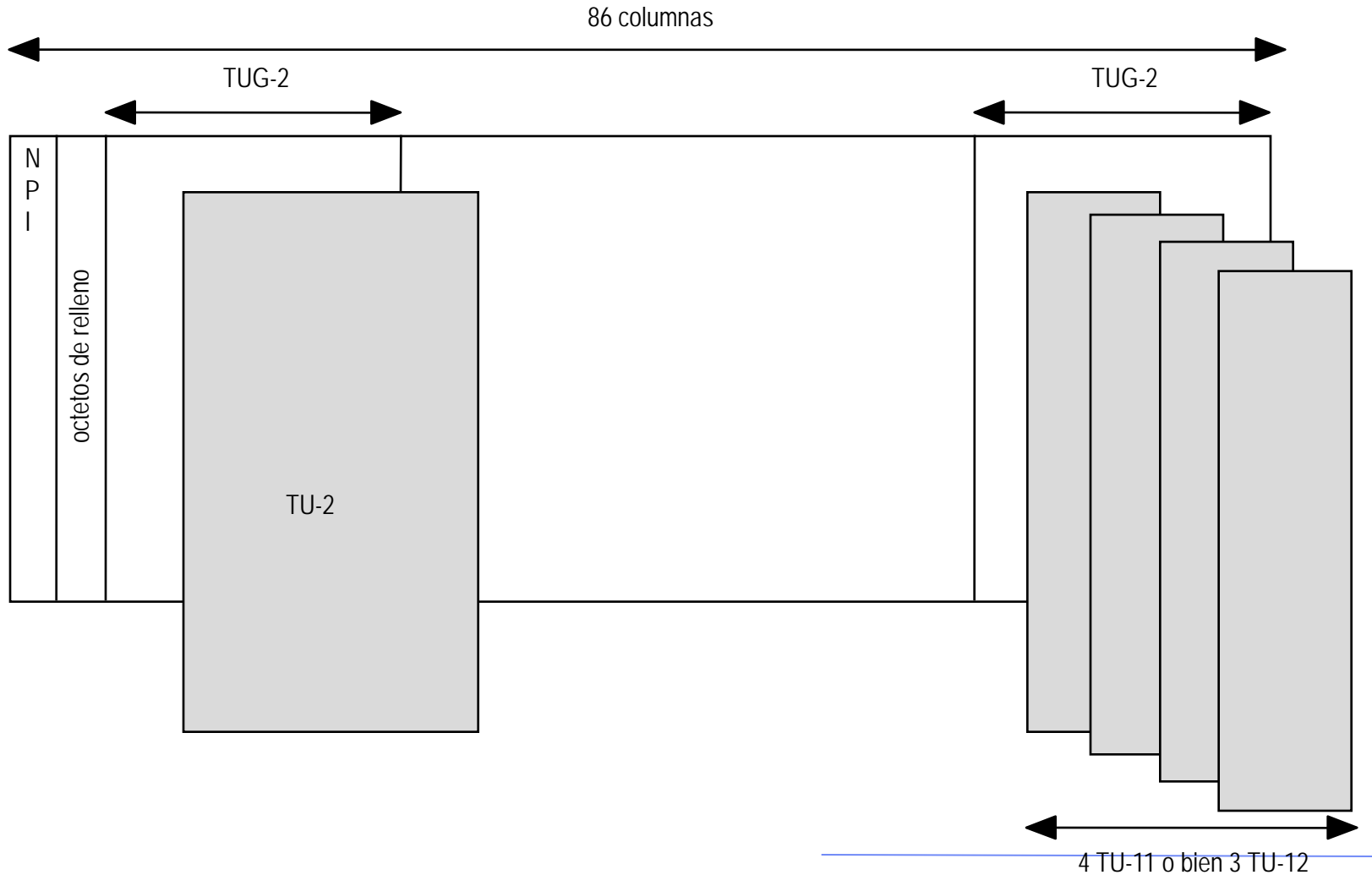
5.3. SDH

◆ Unidades tributarias de orden inferior (III): Multiplexación de 7 TUG-2 en un VC-3



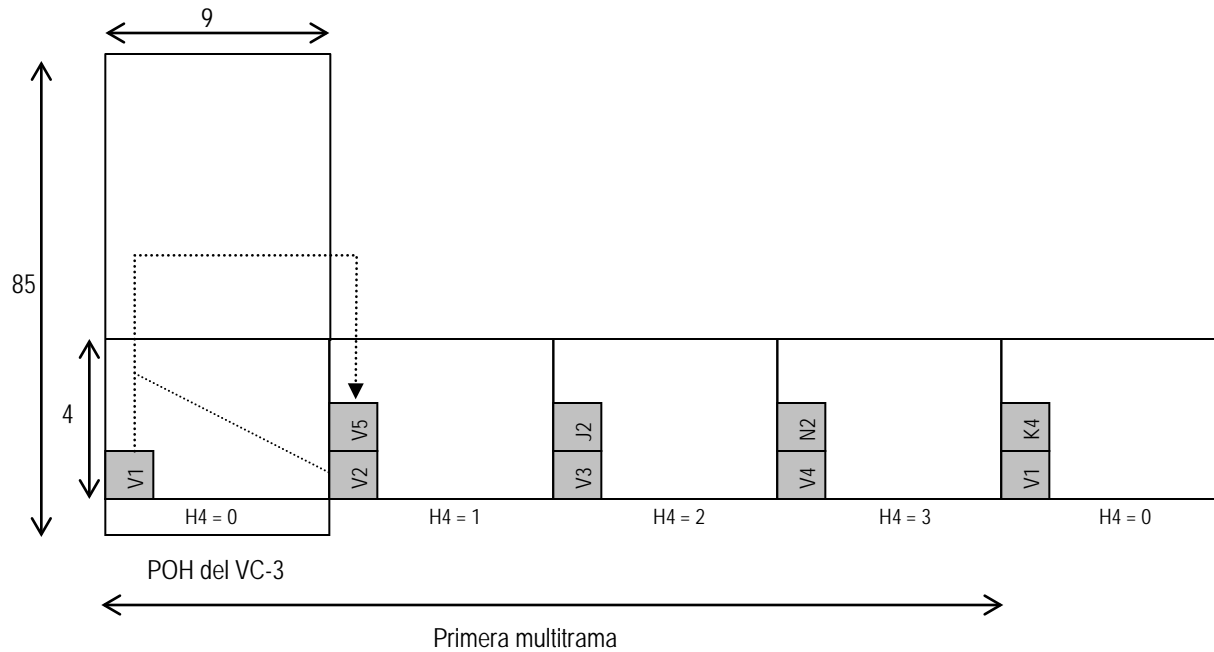
5.3. SDH

- ◆ Unidades tributarias de orden inferior (IV): Multiplexación de 7 TUG-2 en un TUG-3



5.3. SDH

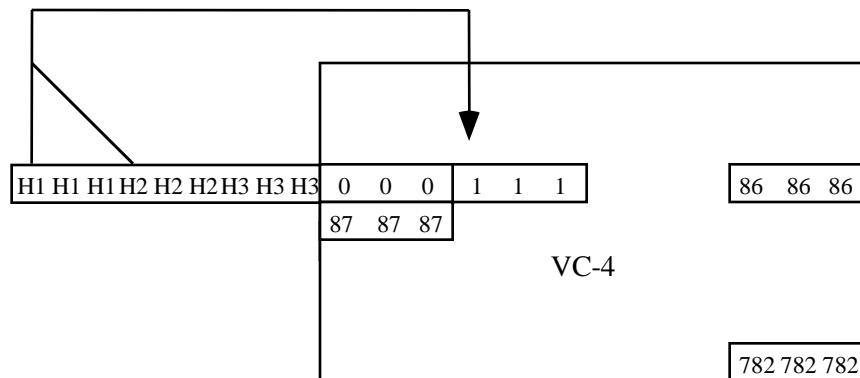
- ◆ Unidades tributarias de orden inferior (V): Multiplexación de un TU-12 en un VC-3



5.3. SDH

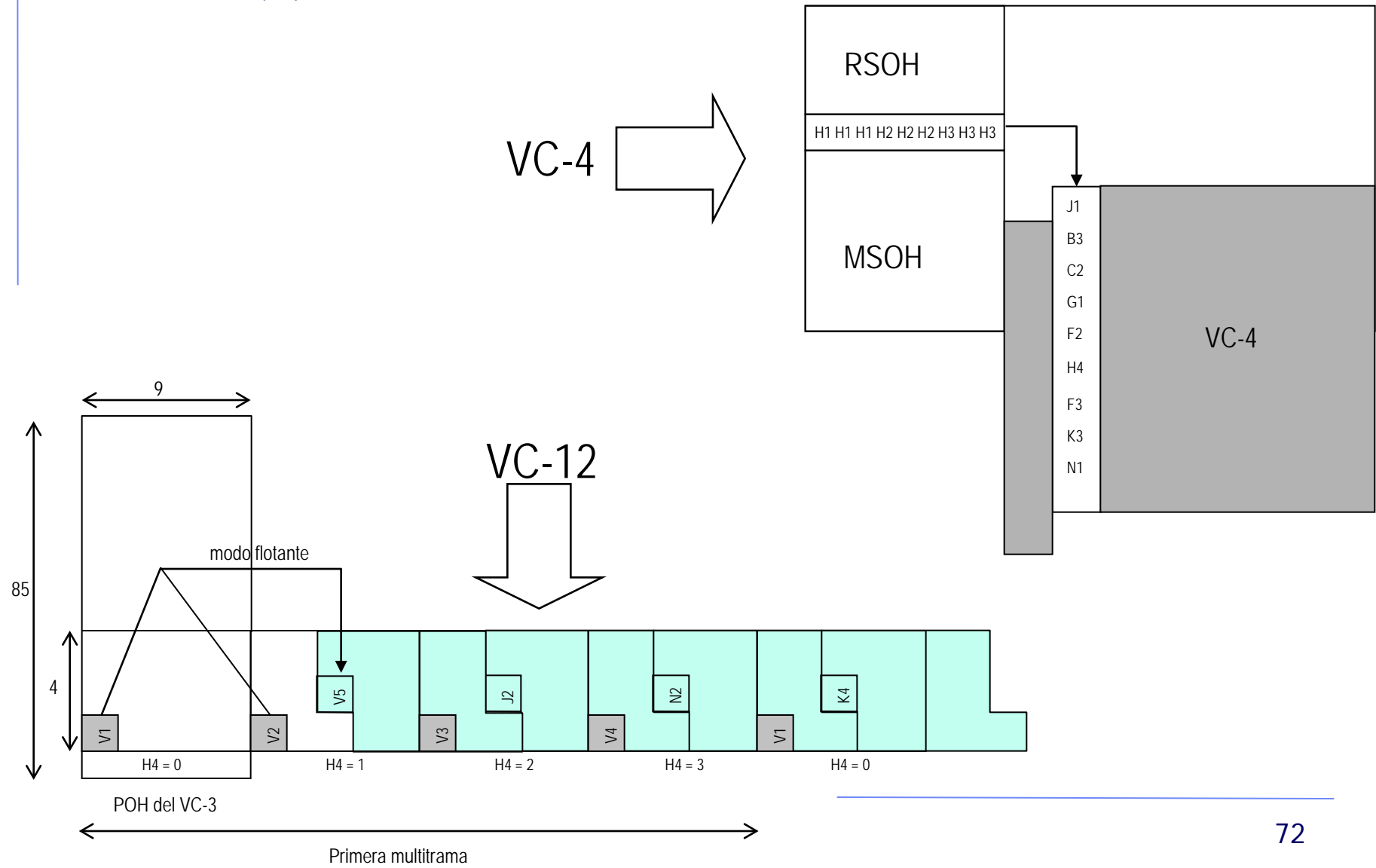
◆ Punteros

- Los punteros indican la posición del primer octeto del contenedor virtual. La utilización de los punteros permite:
 - ◆ Acceso directo a las tramas multiplexadas dentro de un STM-1
 - ◆ La inserción de VC en modo flotante
 - ◆ Corrigen las pequeñas derivas entre la velocidad nominal del contenedor virtual y la velocidad nominal de la unidad administrativa
- Dicha posición se especifica en incrementos de tres octetos
- El primer octeto del VC debe situarse a partir del último octeto del puntero



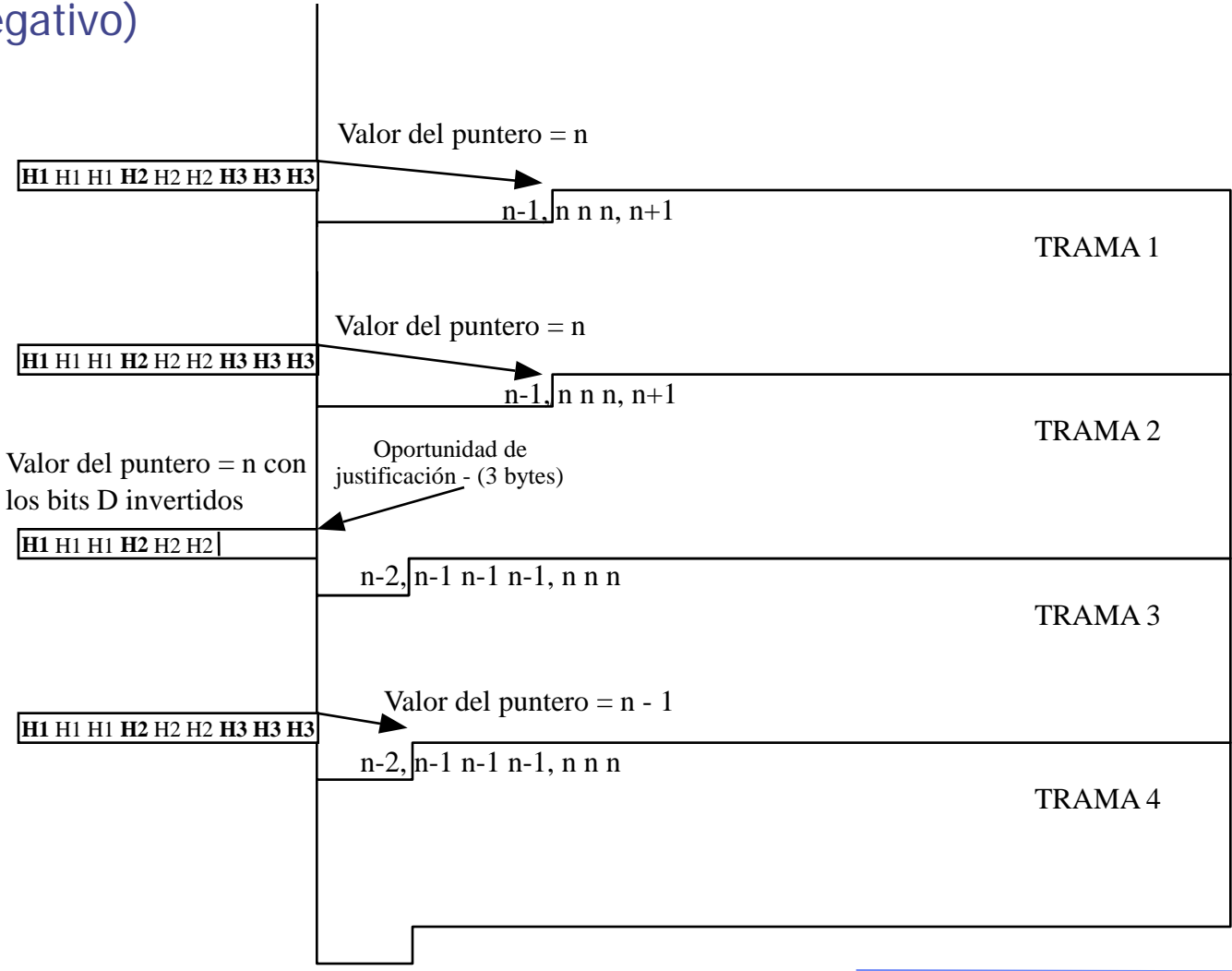
5.3. SDH

◆ Punteros (II): Inserción del VC en modo flotante



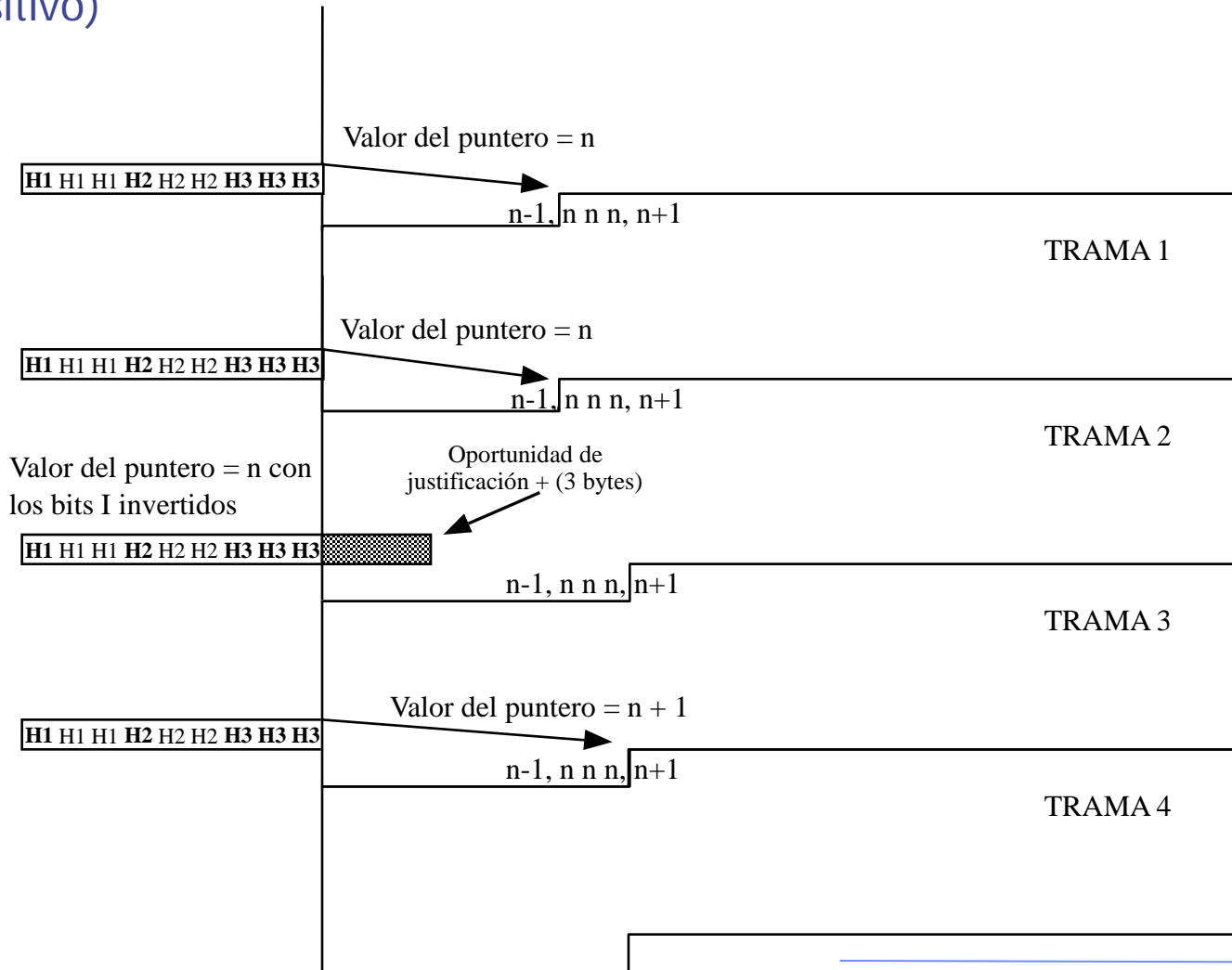
5.3. SDH

◆ Punteros (III): Corrección de derivas en la velocidad nominal (relleno negativo)



5.3. SDH

- ◆ Punteros (IV): Corrección de derivas en la velocidad nominal (relleno positivo)



5.3. SDH

◆ SONET

- Equivalente Americano de SDH (*Synchronous Optical Network*). De hecho, SDH es una evolución de SONET
- Son mecanismos de transmisión muy parecidos

STS-1 (OC-1)	51.84 Mbps	
STS-3 (OC-3)	155.42 Mbps	STM-1
STS-6 (OC-6)	311.04 Mbps	
STS-9 (OC-9)	466.56 Mbps	
STS-12 (OC12)	622.08 Mbps	STM-4
STS-18 (OC-18)	933.12 Mbps	
STS-24 (OC-24)	1244.16 Mbps	
STS-36 (OC-36)	1866.24 Mbps	
STS-48 (OC-48)	2488.32 Mbps	STM-16
STS-96 (OC-96)	4976.64 Mbps	
STS-192 (OC-192)	9953.28 Mbps	STM-64

Índice del tema:

1. INTRODUCCIÓN
2. CONCENTRADOR DE TRÁFICO: MODELOS ANALÍTICOS ERLANG-B Y ENGSET
3. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ANALÓGICOS
 - 3.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 3.2. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
4. SISTEMAS DE CONMUTACIÓN DIGITALES
 - 4.1. CONMUTACIÓN ESPACIAL
 - 4.2. CONMUTACIÓN TEMPORAL
 - 4.3. EQUIVALENTE ANALÓGICO
 - 4.4. CÁLCULO DEL BLOQUEO INTERNO
5. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITALES RDSI, PDH Y SDH
6. **EVALUACIÓN DEL GoS POR EL MÉTODO EFP (Erlang Fixed Point)**

6. Evaluación del GoS por el método EFP

- ◆ EFP: Erlang Fixed-Point
- ◆ Se considera una red de conmutación de circuitos compuesta por nodos (centrales de conmutación) que están conectadas mediante enlaces
- ◆ Cada enlace tiene un número fijo de líneas (circuitos)
- ◆ Para hacer una llamada entre dos nodos, se debe reservar un circuito libre en cada enlace del camino entre los dos nodos
- ◆ Para evaluar la probabilidad de que una reserva de circuitos se bloquee se asumen las siguientes hipótesis:
 - El tráfico es de Poisson, tanto el directo como el desbordado
 - Las probabilidades de bloqueo de los enlaces se consideran independientes
- ◆ La probabilidad de bloqueo de un enlace se obtiene utilizando el modelo de Erlang-B o el modelo de Engset