

TEMA 4 RDSI

estudiantes solo

RDSI-BE $\leq 30.64 \text{ kbit/s}$

Canal B: 64 kbps

- información no divisible

Canal D: 16 kbps (64)

- en paquetes de baja tasa binaria

Acceso Básico

2B + D

comunicaciones simult.

tasa:

$2 \cdot 64 + 16 + \text{control}$

$= 144 + \text{control} = 192 \text{ kbps}$

canal H:

$H_0: 6 \times 64$

$H_{12}: 30 \times 64$

ETSI Telecomunicación

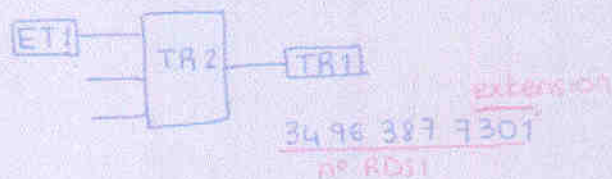
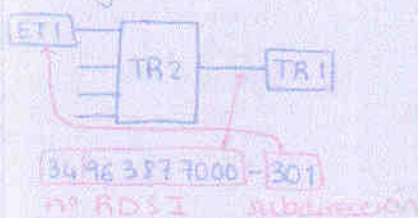
Agrupaciones Funcionales. Puntos de Referencia



Numeraación RDSI

1. Asignar nº a pto T y subdirecciones

2. Direct Dialing In se incluye la subdirección en el número



Servicios RDSI

- Atributos:
 - modo de transferencia: circuito / paquete
 - Tipo de transferencia: sin restricciones / voz / audio 3.1 kHz /
- Estructura: 8 kHz / Integridad unidades de datos / Sin estructura
 - 8 kHz: n. 64 kbps / n. 2 bits cada 125 µs → indivisibilidad de los bloques de bits
 - Integridad unidades de datos: se garantiza integridad bit a bit, se entrega como bloque (paquete)
 - Sin estructura: procesamiento compresión, se digitaliza compatible con RTT, no se garantiza integridad

Servicio Portadores

Servicios modo circuito: ej. 64 kbit/s, estructura 8 kHz, sin restricciones

Servicios modo paquete:

- señalización usuario a usuario: paquetes de info por canal B. Protocolo X.25
- Circuito virtual (por RSCP o por RDSI): X.25 → 64 kbps, 3 niveles



Apuntes de Pak

Redes de comunicaciones

Apuntes de Pak (Francisco José Rodríguez Fortuño)
ETSI Telecomunicación. Universidad Politécnica de Valencia.
Segundo cuatrimestre de 2º curso
Curso 2004/2005

Contenido:

- Referencia rápida
- Apuntes (sólo hice hasta el tema 3)

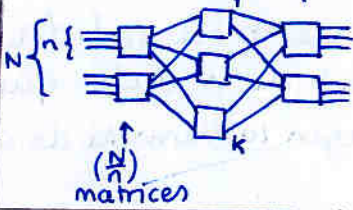
Fecha de última actualización: 08 Marzo 2008

TEMA 2. CONMUTACION ESPACIAL DE CIRCUITOS

monoeetapa cuadrada

$$N_x = N(N-1)$$

Red 3 etapas

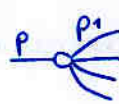


$$N_x = 2Nk + k\left(\frac{N}{n}\right)^2$$

Grafo red multi-etapa con bloques

$$n \{ \text{bloque} \} k$$

Hipotesis: estado de un enlace independiente del resto
↳ Falsa en red de dos

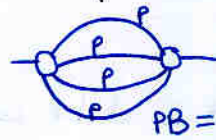


$$np = kp_1$$

$$p_1 = \frac{n}{k} p$$

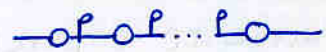
ley de conservación

Arcos paralelo



$$PB = p^k$$

Arcos serie



$$PB = 1 - (1-p)^k$$

Método de Lee

Red 3 etapas



$$PB = \left[1 - \left(1 - \frac{n}{k} p \right)^2 \right]^k$$

recuerda: si $k = 2n-1$ esto NO ES VALIDO

si $p \rightarrow 0$ puedes permitir mucha compresión (k baja)

Red de Clos

$$k = 2n - 1 \text{ (no hay bloques)}$$

$$N_{opt} = \sqrt{\frac{N}{2}} \text{ (minimiza } N_x)$$

$$N_{x_{min}} = 4N(\sqrt{2N} - 1)$$

Si piden una determinada PB conocida, igualamos la formula y, si por ej piden sacar k, la sacamos por prueba y error.

factor de compresión / expansión $\beta = \frac{k}{n}$

TEMA 3. CONMUTACION TEMPORAL DE CIRCUITOS

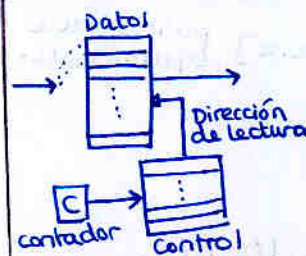
TRAMA E1 = MIC 30+2



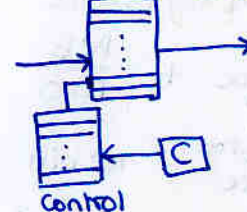
32 canales, cada uno 8 bits
i.e. 64 kbps

TSI - time slot interchange

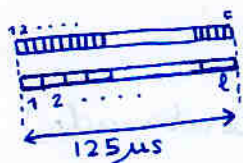
Control por salida:
escritura secuencial
lectura aleatoria



control por entrada:
escritura aleatoria
lectura secuencial

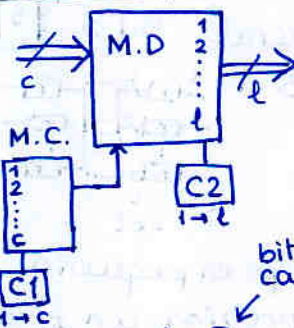


Matrices T



memoria de datos:
memoria de control:

• control por entrada

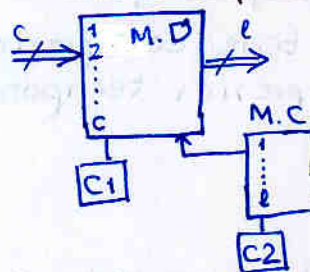


$$M_D = l \cdot 8$$

$$M_C = c \cdot \lceil \log_2 l \rceil$$

bits por canal

• control por salida

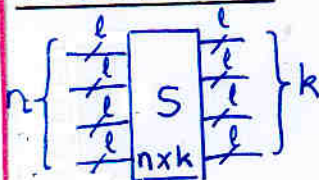


$$M_D = c \cdot 8$$

$$M_C = l \cdot \lceil \log_2 c \rceil$$

bits requeridos para almacenar una dirección de la mem. de datos

Matrices S



No tiene memoria de datos

• control por entrada: $M_C = n \cdot l \cdot \lceil \log_2 k \rceil$

• control por salida: $M_C = k \cdot l \cdot \lceil \log_2 n \rceil$

no de memorias de control
(= no puertos entrada o salida)
no de posiciones en cada memoria de control
(= no de intervalos temp)

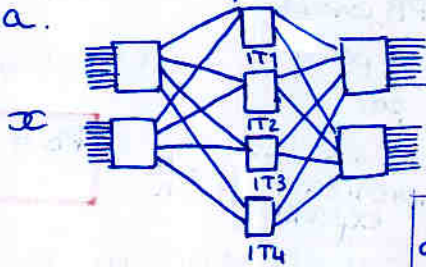
$$\log_2 x = \frac{\ln x}{\ln 2}$$

ej. matriz S control por entrada:

- Tiene una memoria de control por CADA puerto de entrada (n)
- Cada una de esas memorias tiene tantas posiciones como intervalos temporales haya (l)
- En cada posición se indica por qué puerto de salida deben ir en ese determinado instante (según la posición). Los datos que entren por ese determinado puerto de entrada (según la memoria de control) (ocupa $\lceil \log_2 k \rceil$ bits)
- No tiene memoria de datos, no almacena nada, no aparecen los 8 bits/muestra en ningún cálculo.
- Lo que SI tiene son puntos de cruce $Nx = n \times k$

Equivalente espacial

cada 'cable' y cada matriz S debe aparecer tantas veces como instantes de tiempo tenga.



Al equivalente espacial ya podemos aplicarle el método de Lee

Por tanto:

Ley de conservación se aplica en el equivalente espacial

Así podemos obtener probabilidad de bloqueos.

Complejidad

$$C = Nx + \frac{Nb}{100} \quad \text{[p.c.e] puntos cruce equivalentes}$$

$\uparrow$ $\uparrow$
 n° pts cruce n° bits

nunca debe tener mas de dos decimales

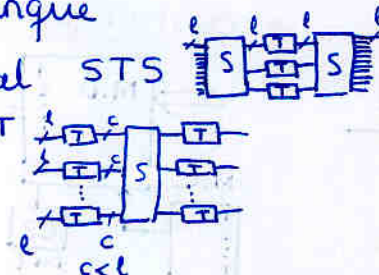
La complejidad NO se calcula en el equivalente espacial

= Solo hay 1 matriz S, no mult. Nx por los IT's !!!!

Vemos que es igual de costoso 1 punto de cruce que 100 bits.

Conviene tener pocos pts de cruce aunque

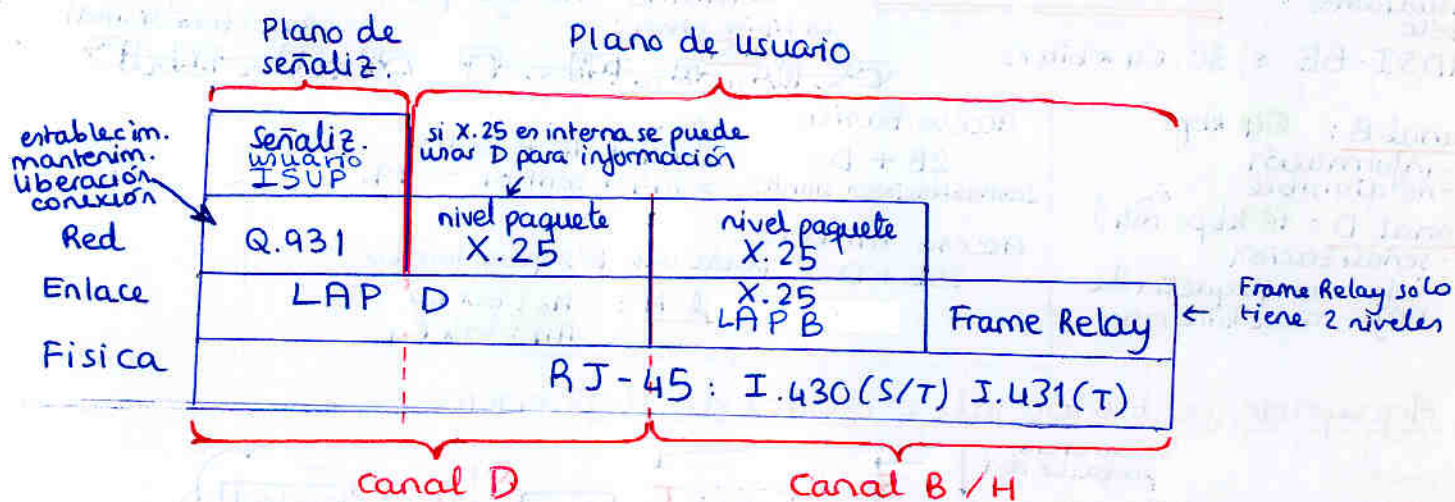
⇒ Preferible tener compresión espacial que compresión temporal



Esto se nota sobre todo cuando p es pequeña (bucle de abonado) donde se puede hacer MUCHA compresión con pocos bloques.

La info y la señaliz (X.25 PLP) la pueden llevar canal B o D (i.e. D puede llevar info)

TEMA 5. PROTOCOLOS DE LA RDS1



Protocolo Capa Física Interfaz S

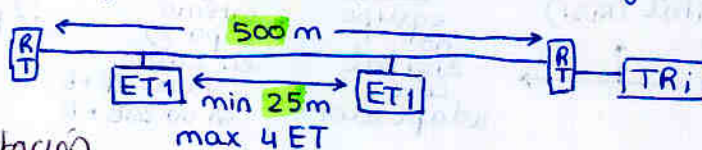
Topologías Posibles:

- Bus pasivo corto:



max 8 ET
max 10 rosebas

- Bus pasivo extendido (menos ET y distancia mínima)



Alimentación

De la red eléctrica; en caso de fallo de la central (sólo para TR y 1 terminal)

Codificación '1' = 0V

Pseudoternaria: '0' = $\pm V$ (va alternando)

Multiplexación

Trama cada 250 μ s (192 kbits/s)

En cada trama:

- $B_1: 16 \text{ bits} \rightarrow \frac{16 \text{ bits}}{250 \mu\text{s}} = 64 \text{ kbps}$
- $B_2: 16 \text{ bits} \rightarrow \frac{16 \text{ bits}}{250 \mu\text{s}} = 64 \text{ kbps}$
- $D: 4 \text{ bits} \rightarrow \frac{4 \text{ bits}}{250 \mu\text{s}} = 16 \text{ kbps}$
- + 12 bits control capa física $\rightarrow \frac{12 \text{ bits}}{250 \mu\text{s}} = 48 \text{ kbps}$

192 kbps

2B + D

L: bits de compensación de continua

F: bit de comienzo de trama

otros.

En Europa, 'scrambling'

se sustituye '1111' = (0V, 0V, 0V, 0V) por otra secuencia, también de 4 bits, q se reconoce por violación de código

Polaridad '0' anterior	No '0' desde última runt	
	Impar	Par
+	11V ⁻	V ⁺ 11V ⁺
-	11V ⁺	V ⁻ 11V ⁻

violación hacer q siempre el n° de '0' sea impar antes de la viol.

Trama ET $\rightarrow$ TRi retransada 2 bits de ET $\leftarrow$ TRi (por sincronismo)

Resolución de contienda en acceso a canal D

- Nada que transmitir: ausencia de señal
- Quiere tx: escucha que D esté libre durante X_i bits (se da preferencia a la señaliz. sobre la información)
- El ET tx: (si transmiten varios, un '0' lógico enmascara a un '1') (NOTA: los '0' en el canal D son siempre V- para que un ET no cargue al otro.)
- Mientras tx escucha el bit de eco de la trama ET $\leftarrow$ TRi siguiente
- El ET que detecte una diferencia pasa a estado de escucha.

El valor de X_i se utiliza para prioridad (va por rondas)

	Quiere tx	
	señaliz.	inform.
No ha tx esta ronda	8	10
Ya ha tx esta ronda	9	11

la ronda acaba cuando todos han tx

Proceso activación/desactivación (p128)

Capa Física Interfaz T (acceso primario (une ET2 a ET1, no hay contienda))

Trama de 256 bits cada 125 μ s dividida en canales de 8 bits

1 canal $\rightarrow$ sincronización y control

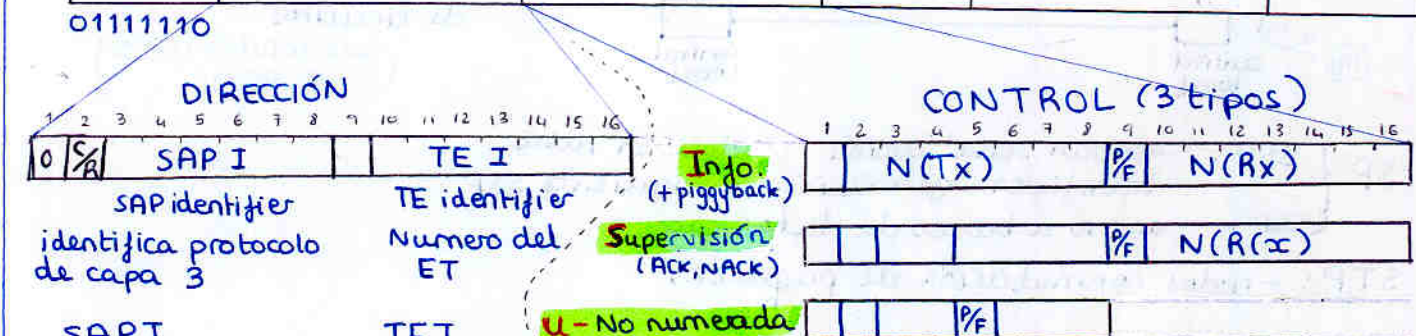
1 canal $\rightarrow$ canal Da 64kbps

30 canales $\rightarrow$ 30 canales B (o combinaciones con H)

30B + D

- Soporta multiples protocolos nivel 3
- Soporta multiples terminales (bus)

931- Señaliz el flag de fin suele coincidir con flag de inicio



$N(Tx)$: secuencia de trama tx
 $N(Rx)$: secuencia de trama ACK
 (nº de sec q espero recibir)
 P/F : "P" se solicita respuesta (poll)
 "F" respuesta a "P"

Tramas I: Datos de Usuario
Trama S: supervisión
RR (= ACK)
RNR (= ACK pero no mandes)
REJ (= NAK)

SABME: petición de conexión
DISC: petición de desconexión
UA: (unnumbered ACK): reconoce SABME o DISC

viaja en el campo de información de LAPD



veámoslo mejor con un ej:

Conexión: $\Rightarrow$

Desconexión: $\Downarrow$

The diagram illustrates the sequence of messages for connection and disconnection between three entities: ET (Entity Transmitter), TR (Transfer Receiver), and EI (Entity Initiator).

Conexión (Connection):

- ET sends **setup** to TR.
- TR sends **setupack** to ET.
- ET sends **call proceeding** to TR.
- TR sends **alerting** to ET.
- ET sends **connect** to TR.
- TR sends **connectack** to ET.
- TR sends **setup** to EI.
- EI sends **alerting** to TR.
- TR sends **connect** to EI.
- EI sends **connectack** to TR.

Desconexión (Disconnection):

- ET sends **disconnect** to TR.
- TR sends **release** to ET.
- ET sends **release complete** to TR.
- TR sends **disc rel.** to EI.
- EI sends **rel.com.** to TR.

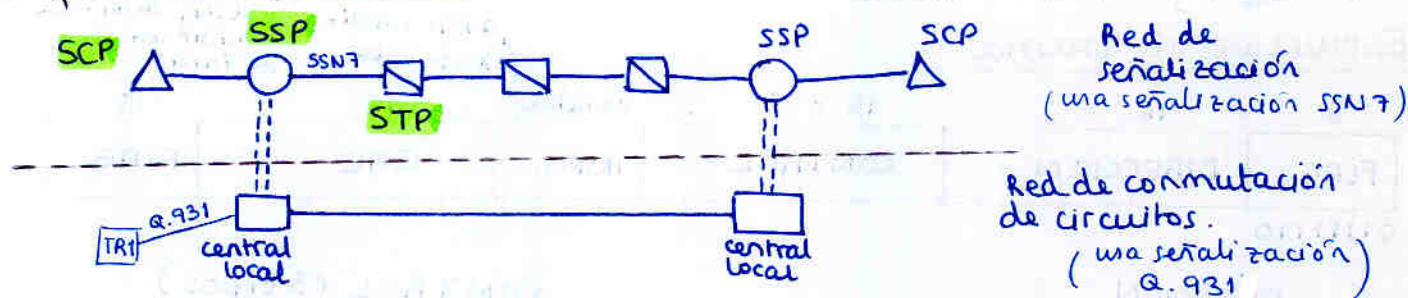
Additional notes:

- Each ET sends an alerting when it receives a connect from the TR.
- Each TR sends an alerting when it receives a connect from the EI.

TEMA 6. SSN 7

- Se utiliza para la señalización de red
- Digital: vocabulario amplio de mensajes
- Bases de datos internas a la red ej (nos 900 o roaming)
- Viaja por red separada a la red de conmutación de circuitos.

Arquitectura funcional



- SP {
- SSP: - generan señalización - deciden ruta
 - transfieren información al siguiente SSP
 - SCP: - acceso a bases de datos
- STP: - nodos conmutación de paquetes

Arquitectura de protocolos

Capas OSI	Niveles SSN 7		
3	4	Signalling connection control part (SCCP)	User Part (UP)
	3	Signalling Network (SN)	
2	2	Signalling Link (SL)	Message Transfer Part (MTP)
1	1	Signalling Data Link (SDL)	

Nivel 1: canal full-duplex 64 Kbits/s

Nivel 2 Enlace de datos: comunicación libre de errores

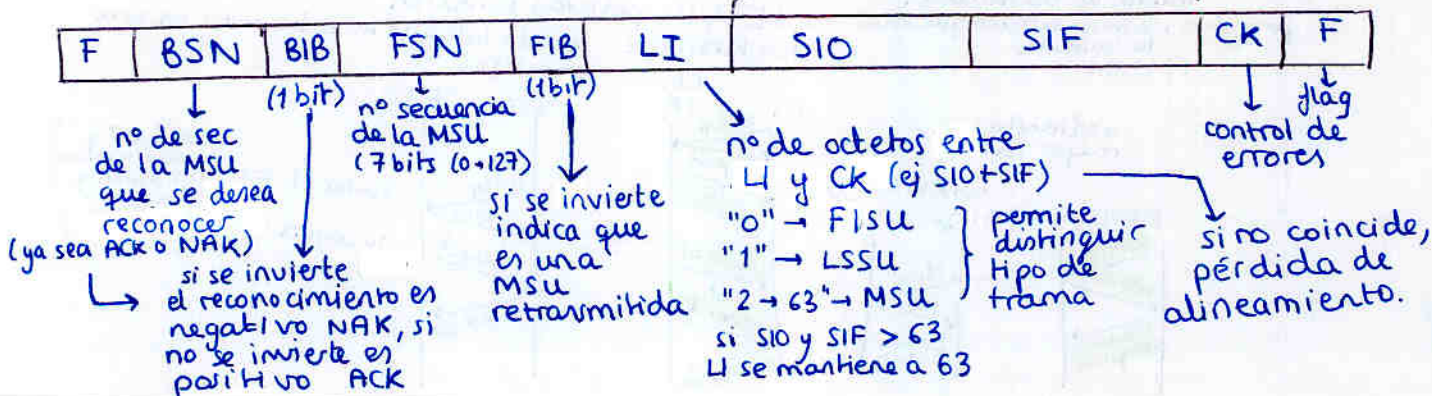
- muy similar a otros protocolos E. de D. pero respuesta mucho más rápida a situaciones de fallo.
- Flags 0111 1110 (+ Bit stuffing)
- Polinomio detector errores (CK) típico
- Corrección de errores:
 - básico: $t_p < 15ms$: Ventana deslizante, go back N, ACK, NAK
 - PCR (preventive cyclic retransmission) $t_p > 15ms$ (satélite) → no hay NAK

3 tipos de trama

MSU: Message signal Unit

lleva la información de señalización

SIO y SIF los veremos mas adelante



FISU: **Fi**ll in signal unit. Permite reconocimientos cuando no hay señalización que transmitir



LSSU: **Link status**. un extremo comunica al otro la percepción que tiene del estado del enlace



↳ status field

supervisión de los enlaces

mediante LSSU.

Información de estado:

campo SF

Estados:

• **Busy**: buffers agotados

• si congestión persiste se avisa al nivel 3 y 'Fuera de Servicio'

• **Bloqueo**: por indicación del nivel 3

• **Fuera de Servicio**: No puede ni tx ni rx MSSUs correctamente

• **Fuera de alineamiento**:

• **Alineación**:

mientras se tx se monitoriza la tasa de errores con contador leaky-bucket. si se llena el 'bucket' se considera fuera de alineamiento

Notas:

• LSSU erróneas son descartadas

• LSSU no incrementar FSN

• Nunca reconocen MSSU sentido contrario (por lo que BSN toma valor última MSSU)

• LSSU hace ref. al enlace por el que viaja

Proceso de alineación

1. **Idle**: se envían LSSU de estado 'fuera de servicio'. si falla algún paso se vuelve a Idle

2. **No alineamiento**: LSSU 'fuera de alin' y se envían FISU

3. **Alineamiento**: se detectan flags y se reciben FISU sin error.

tiempo prudencial → estado prueba

4. **Prueba** (link set)

- Normal (si hay otros enlaces disponibles) 2.3s

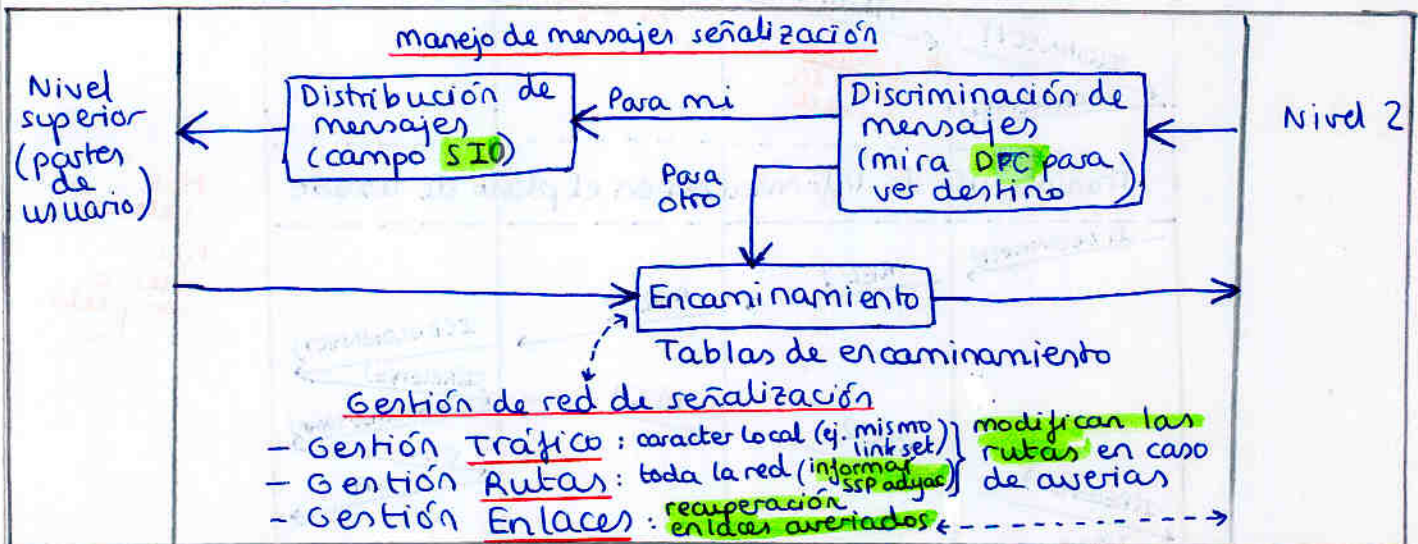
- Emergencia (si era único enlace) 0.6 s

↳ se envían FISUs mutuamente

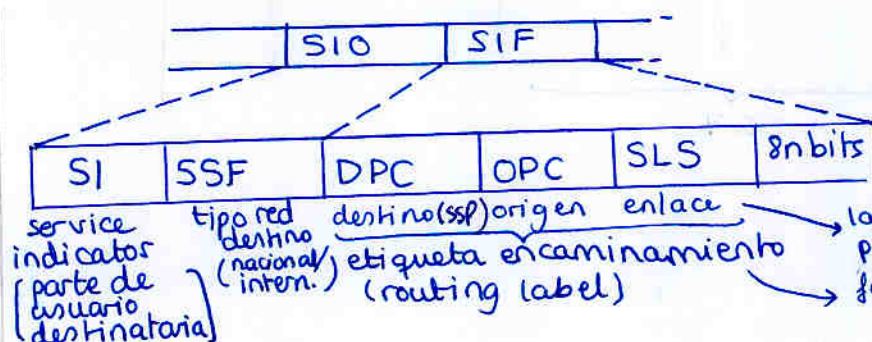
↳ contador incremental con umbral de errores

Nivel 3

Funciones



Detalle campos SIO y SIF de la MSSU



la elección de distintos enlaces permite "reporto de carga" formato nacional o internacional

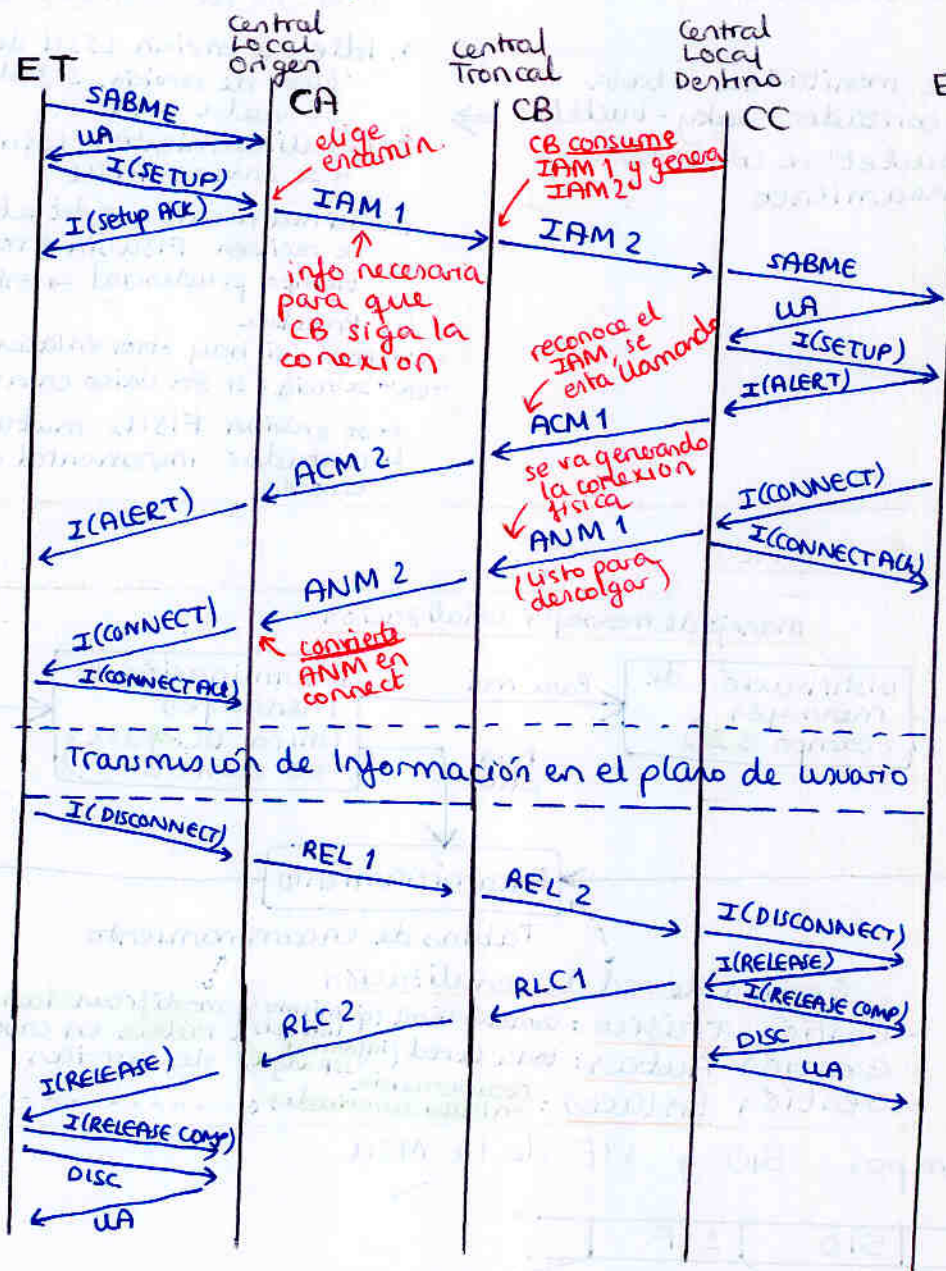
Parte de usuario de la RDSI - ISUP

Estructura de la PDU:

- cabecera:
 - Etiqueta encaminamiento
 - Circuit Identification Code (CIC) (Identifica enlace)
 - Código Tipo de mensaje: define la estructura que sigue
- Parte obligatoria fija:
 - Parámetros de longitud fija
- Parte obligatoria variable:
 - Parámetros y punteros a parámetros de longitud variable
- Parte opcional:
 - cada parámetro: nombre, longitud, valor

ejemplo establecimiento de conexión:

este diagrama es muy útil, pero cuidado: se mezclan niveles.



abreviat.

IAM: initial address message

ACM: Address complete message (equivale a SETUP + INFO)

ANM: answer message

REL: release

RLC: release complete

señalización de usuario

nivel 2 - LAPD

nivel 3 - Q.931, viaja en tramas de información de LAPD

Tema 1. Aspectos generales de las redes de comunicación

Las señales:

voz: telefonía: analógica o digital

↳ 300 - 3'4 kHz

↳ continua en el tiempo (no se puede almacenar ni retrasar)

datos: digital ej. texto en ASCII

discontinua en el tiempo

↳ se puede almacenar y transmitir a ráfagas

1.1. Red telefónica

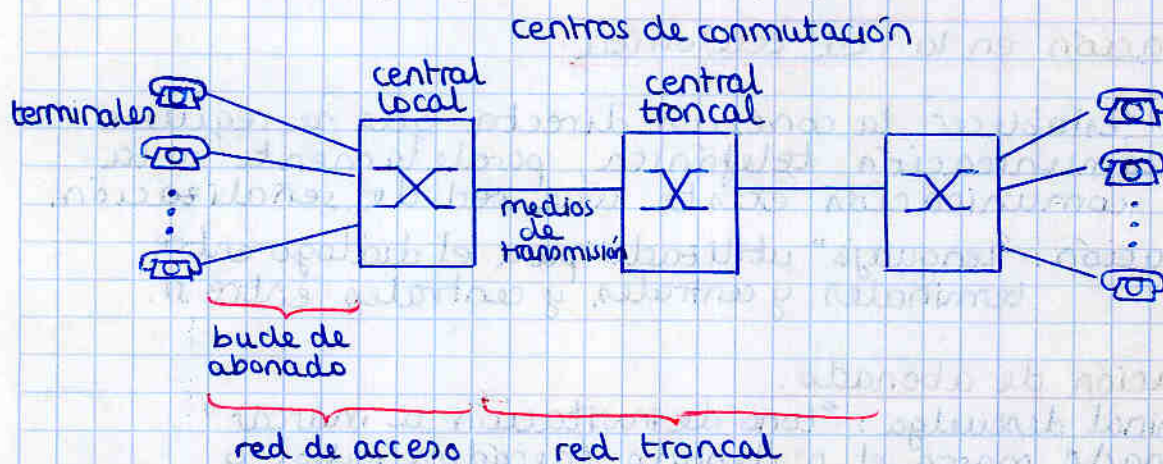
Estructura

- se rechaza la interconexión total



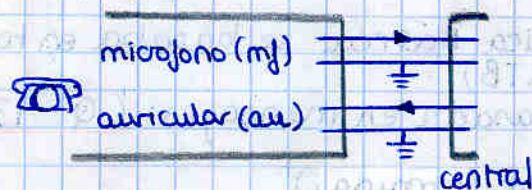
requiere $4+3+2+1$ cables
cada nuevo usuario requiere más cableado.

- agrupación por proximidad geográfica

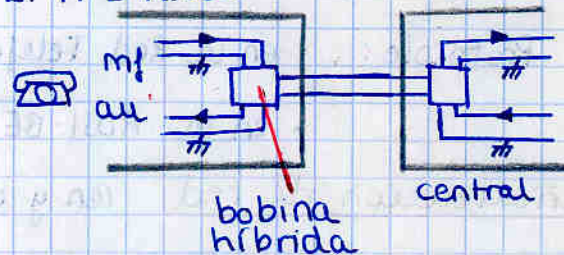


Bucle de abonado

1. A 4 hilos

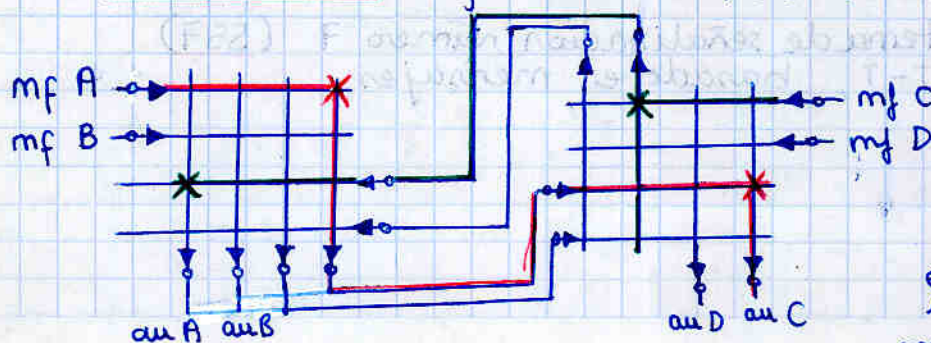


2. A 2 hilos



esta estructura de agrupación por proximidad geográfica requiere conmutación

ej. 2 centralitas, 2 usuarios por centralita



en el ejemplo

$A \leftrightarrow C$

normalmente hay un n° max de usuarios que pueden conectarse entre centralitas según el n° de cables

ocurren **BLOQUEOS**

Diseño

- se debe ofrecer al usuario un "Grade of Service" GoS mínimo
- un parámetro importante es la probabilidad de bloqueo

$$PB = \frac{\text{nº de llamadas bloqueadas}}{\text{nº de llamadas}}$$

en el bucle de abonado PB es cero

en cada centralita hay un determinado PB



siendo precisos, $PB = 1 - [(1 - PB_1)(1 - PB_2)(1 - PB_3)]$

pero como $PB_{1,2,3} \downarrow \downarrow$ se puede aproximar

$$PB = PB_1 + PB_2 + PB_3$$

Señalización en la red telefónica

Para poder establecer la conexión directa que se requiere para la comunicación telefónica, paralelamente a la red de comunicación existe una red de señalización.

señalización: "lenguaje" utilizado para el diálogo entre terminales y centrales, y centrales entre sí.

señalización de abonado:

- terminal descuelga: "tono de invitación a marcar"
- abonado marca el nº destino (decádica/pulsos o multifrecuencia/tonos)
- alcanzado terminal destino se puede recibir "tono de retorno de llamada" o "tono ocupado"

Protocolo: • en la Red Telefónica Básica se basaba en tonos (RTB)
• en la ADSI-BE basada en mensajes (Q. 931)

Señalización de red (en y entre centrales)

- para el proceso de encaminamiento (ruta óptima)
- cuenta de las tasas.
- etc...

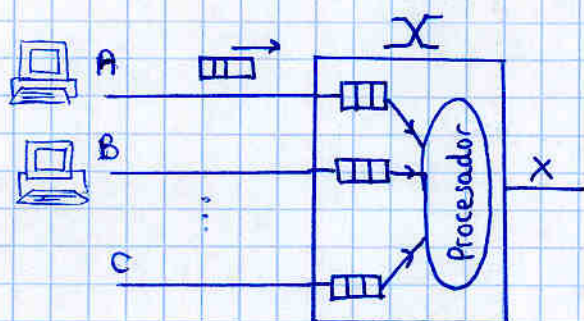
Protocolo: Sistema de señalización número 7 (SS7) de la UIT-T, basado en mensajes

1.2 Red de datos

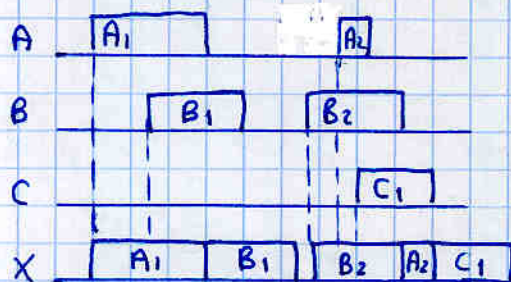
- las señales transferidas son datos (digitales, discontinuos en el tiempo)
- A diferencia de la red telefónica que cada comunicación tiene recursos reservados (cable conexión directa) en datos los recursos se comparten entre todas las comunicaciones activas enviando paquetes.

Direcc. origen	Direcc. destino	Información
----------------	-----------------	-------------

la conmutación de paquetes permite guardar los paquetes en "colas de espera" para ser enviados cuando sea posible



Las comunicaciones sólo ocupan recursos de transmisión y conmutación cuando están transfiriendo señales



Conmutación de circuitos (red telefónica)

- requiere establecimiento previo de conexión.
- cada comunicación reserva recursos de transmisión y conmutación para uso exclusivo
- eficiente con señales continuas en el tiempo

vs. Conmutación de paquetes (red datos)

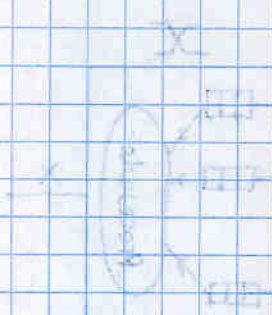
- No requieren establecimiento previo de conexión (a menos que se puede)
- los recursos de transmisión y comunicación son compartidos dinámicamente por las comunicaciones activas
- es eficiente con señales discontinuas en el tiempo

- Interconexión de procesadores y dispositivos (dispositivos periféricos)
- A diferencia de la red de buses, en esta red cada procesador tiene su propia conexión a la red (red de buses)
- En esta red cada procesador tiene su propia conexión a la red (red de buses)

Grav. Desc. / Orden de la red

La comunicación de los datos se realiza a través de un único canal de comunicación, lo que se conoce como red de buses.

En esta red de buses, los datos se transmiten a través de un único canal de comunicación, lo que se conoce como red de buses.



Comunicación de los datos a través de un único canal de comunicación (red de buses).

- No requiere un protocolo de comunicación (red de buses)
- No requiere un protocolo de comunicación (red de buses)

- Requiere un protocolo de comunicación (red de buses)
- Requiere un protocolo de comunicación (red de buses)

- Los datos se transmiten a través de un único canal de comunicación (red de buses)
- Los datos se transmiten a través de un único canal de comunicación (red de buses)

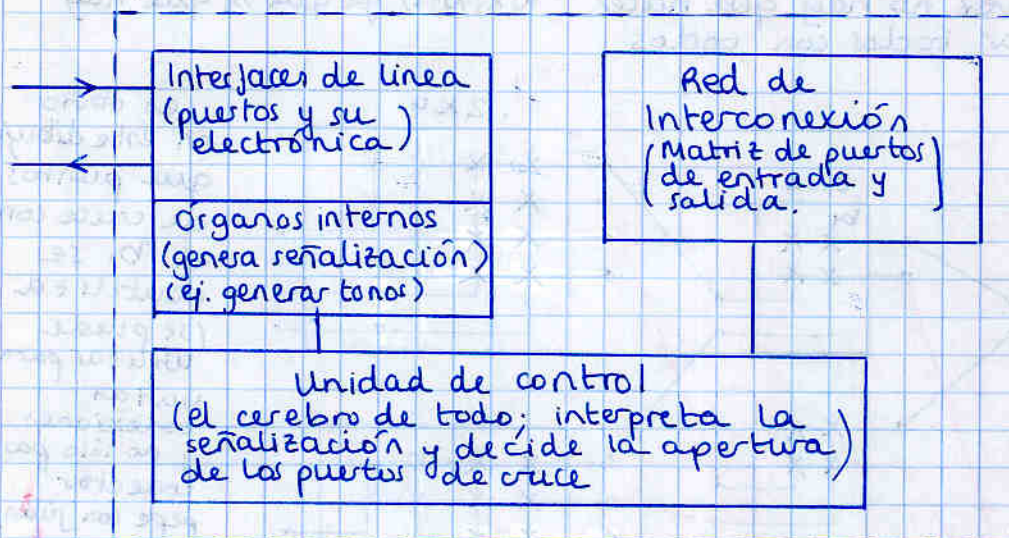
- Los datos se transmiten a través de un único canal de comunicación (red de buses)
- Los datos se transmiten a través de un único canal de comunicación (red de buses)

En esta red de buses, los datos se transmiten a través de un único canal de comunicación, lo que se conoce como red de buses.

En esta red de buses, los datos se transmiten a través de un único canal de comunicación, lo que se conoce como red de buses.

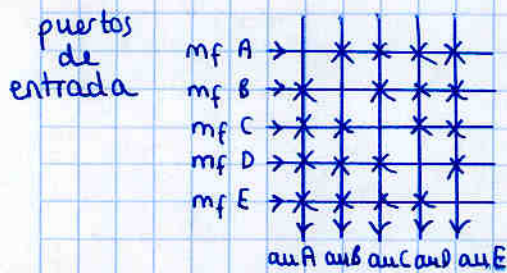
Tema 2. Conmutación espacial de circuitos

- Bloques funcionales de una central de conmutación:



Red de interconexión

- Red monoetapa cuadrada



Ventajas:

- Accesibilidad Total: cualquier puerto es accesible desde cualquier puerto.

- Ausencia de bloqueos.

def. bloqueos: cuando hay un puerto de entrada y uno de salida ambos libres pero no podemos conectarlos

Cálculo de puntos de cruce.

como lógicamente nadie querría conectar su mf a su propio au

$$N_x = N \cdot (N-1) \approx N^2 \text{ para } N \uparrow \uparrow$$

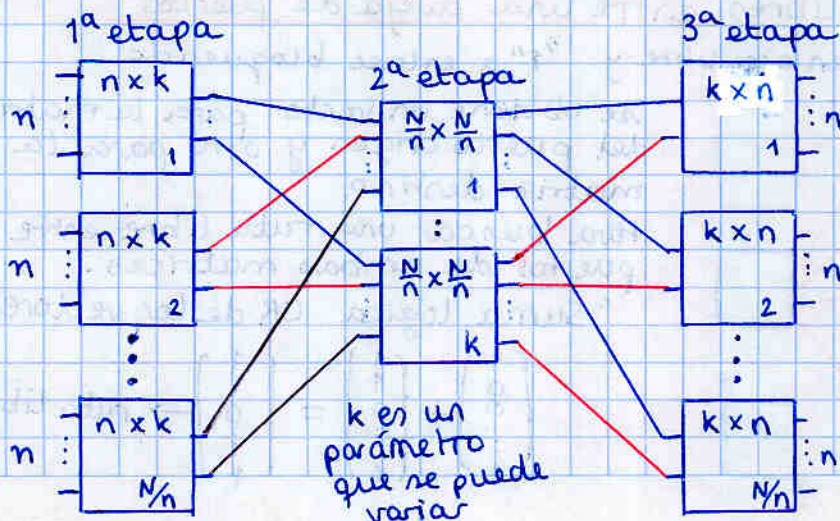
- Fácil expansión

Desventajas:

- Elevado nº de puntos de cruce
- Baja utilización de los puntos de cruce
- Camino único entre cualesquiera pareja de puertos (poco robusto frente a fallos)

- Redes multietapa

caso más simple: 3 etapas



Importante prestar atención a la forma de interconexión entre distintas matrices

matriz j -ésima 1ª etapa se conecta a puerto j -ésimo de las matrices de la 2ª etapa la salida es simétrica a la entrada

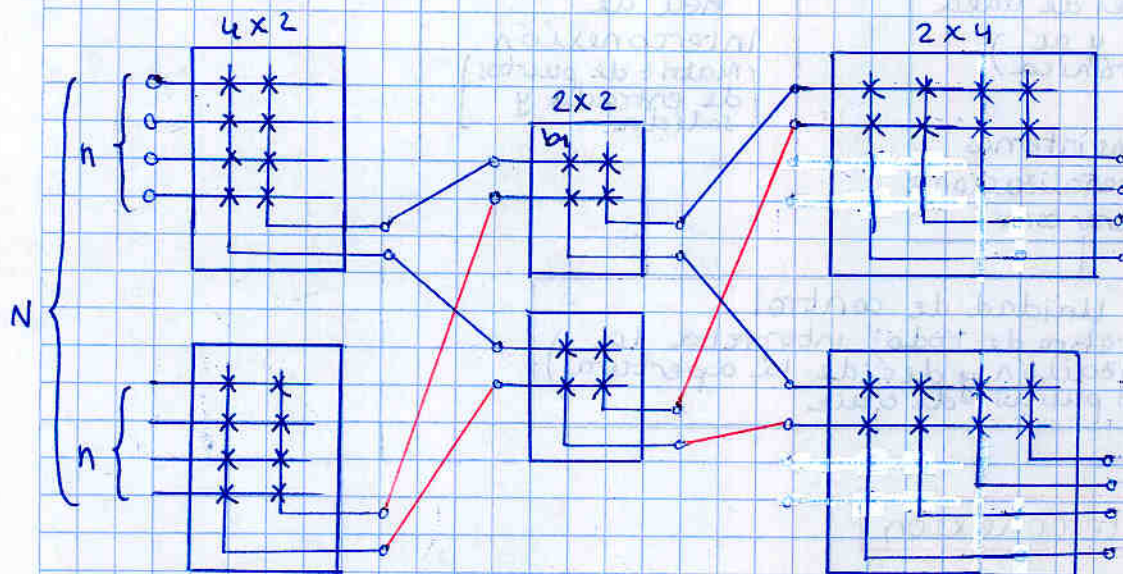
Cálculo de puntos de cruce

conviene ir por etapas.

CUIDADO: esta vez no hay que hacer

$N \times (N-1)$ ya que si que hay

que conectar todos con todos



es obvio
en este dibujo
que puntos
de cruce como
el b_i se
reutiliza
(se puede
utilizar para
varias
conexiones
y no sólo para
conectar
pepe con juan)

1ª etapa: $\frac{N}{n} \cdot (nk)$
no matrices orden de matriz

2ª etapa
 $k \cdot (\frac{N}{n} \cdot \frac{N}{n})$

3ª etapa
= 1ª etapa

$$N_x = 2Nk + k\left(\frac{N}{n}\right)^2$$

Ventajas:

- Accesibilidad total
- $\exists k$ caminos alternativos entre cualquier pareja de puertos
- Menor número de puntos de cruce
- Reutilización de los puntos de cruce en conexiones sucesivas

Desventajas:

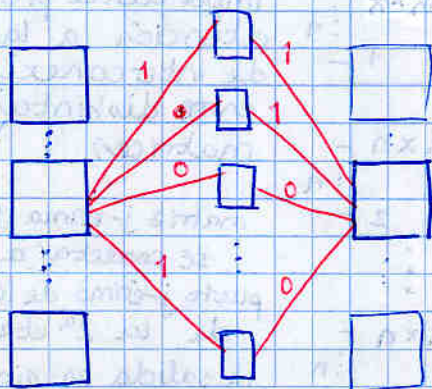
- Puede existir bloqueos

Naturaleza del bloqueo

como cada matriz de 1ª etapa sólo tiene UNA conexión con cada matriz de la 2ª etapa, y lo mismo para la 2ª y 3ª las probabilidades de bloqueo son altas si k es baja

Busqueda de rutas libres entre una pareja de puertos

llamando "0" a enlace libre y "1" a enlace bloqueado



se obtiene un vector para la matriz del puerto origen y otro para la matriz destino.

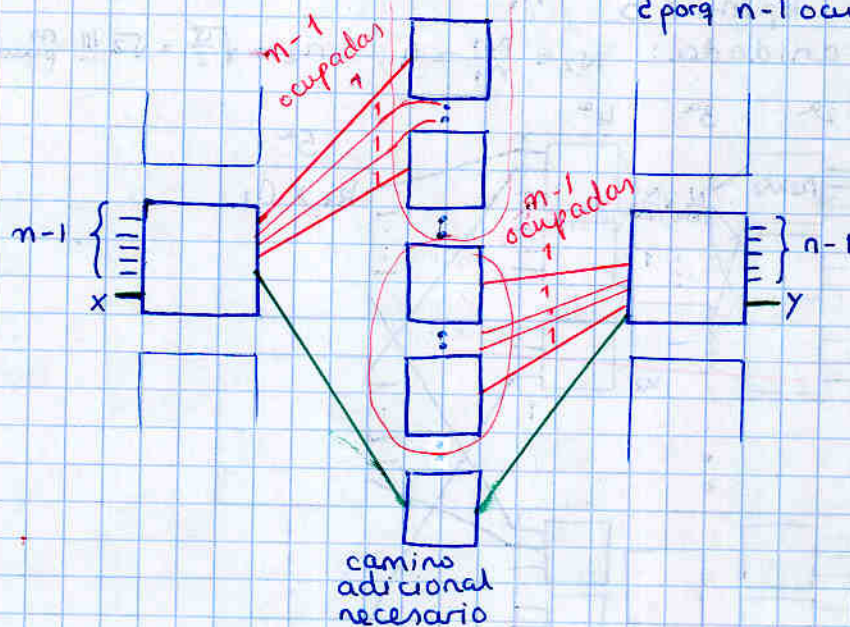
Para buscar una ruta libre entre puertos de ambas matrices.

"Suma lógica OR de los vectores)

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \text{ruta libre}$$

Redes de Clos

Son redes multietapa que aseguran que no haya bloqueos. Para ello, si suponemos que el establecimiento de conexiones internas es aleatorio, y nos ponemos en el peor caso:



¿porq $n-1$ ocupadas? todas menos x

se necesitan

$$k = (n-1) + (n-1) + 1$$

$$k = 2n - 1$$

Clos demostró que si $k \geq 2n - 1$ la red no presenta bloqueos nunca se toma $k = 2n - 1$ para no malgastar puntos de cruce

Puntos de cruce: $N_x = 2N(2n-1) + (2n-1)\left(\frac{N}{n}\right)^2$

si $n \uparrow \uparrow$, $2n-1 \cong 2n$

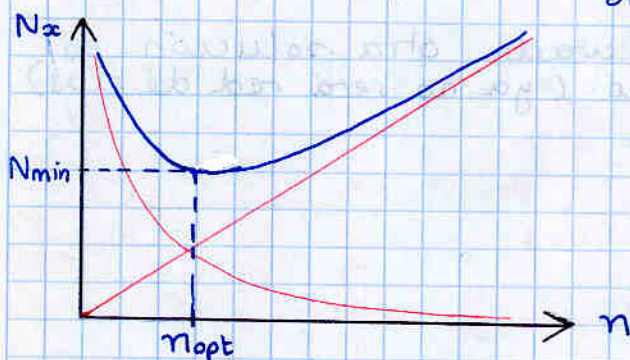
$$N_x \cong 2N(2n) + 2n\left(\frac{N}{n}\right)^2$$

$$N_x \cong 4Nn + \frac{2N^2}{n}$$

$$\frac{\partial N_x}{\partial n} = 4N - \frac{2N^2}{n^2} = 0 \Rightarrow n_{opt} = \sqrt{\frac{N}{2}}$$

con $n_{opt} \Rightarrow N_x = 4N(\sqrt{2N} - 1)$

no confundir N_x con N



Conclusión:

Redes de Clos (3 etapas)

$$k = 2n - 1$$

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{N}{2}} \quad \left(\frac{N}{n} = 2n\right)$$

$$N_{x,min} = 4N(\sqrt{2N} - 1)$$

no existe bloqueos

no existen
1ª etapa

Anidamiento

Si $N \times$ todavía demasiado elevado $\rightarrow$ N° etapas $\gg 3$

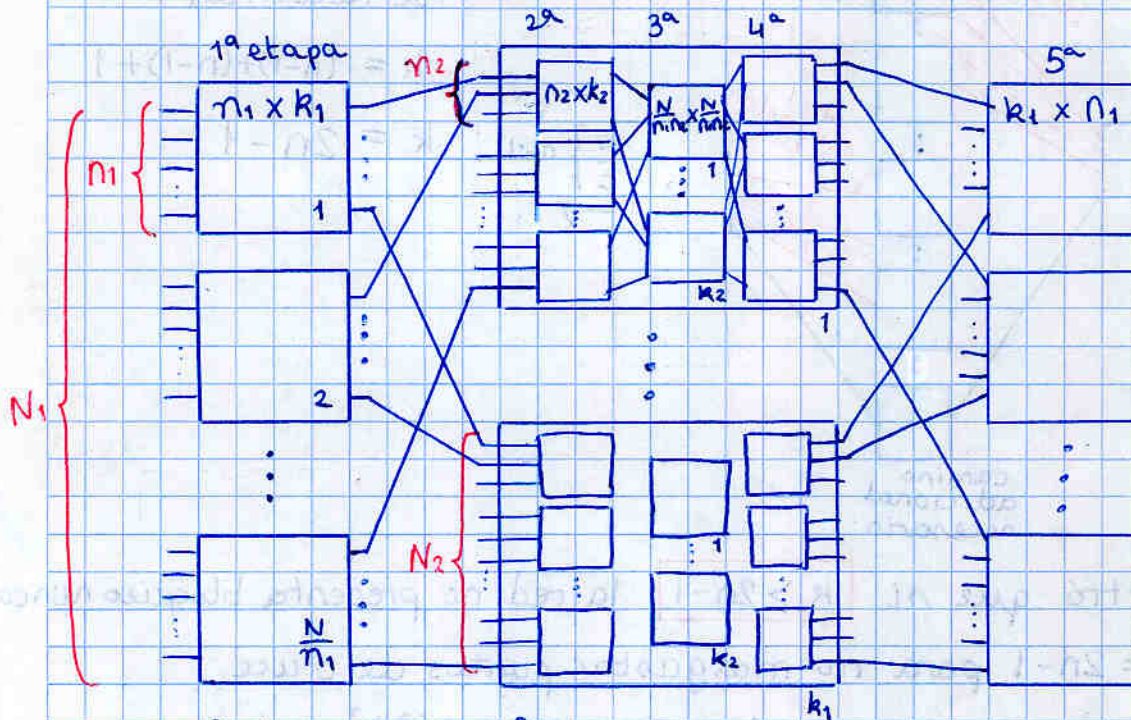
la 2ª etapa son matrices cuadradas SIN BLOQUEO.

Se pueden sustituir por una red de CLOS

ejemplo: Red de CLOS 5 etapas, N

si $n = 2 = \sqrt[4]{2}$
 $N_1 = 2n^2 = 8$ $k = 2n - 1 = 3$ $\frac{N_1}{n_1} = 4$

en cuanto a la anidada: $N_2 = \frac{N_1}{n_1} = 4$ $n_2 = \sqrt{\frac{4}{2}} = \sqrt{2} !!!$ no puedo



1ª etapa
 $\frac{N_1}{n_1}$ matrices
 $n_1 \times k_1$

2ª
 $\frac{N_2}{n_2} = \frac{k_1}{n_2} = \frac{N_1}{n_1 n_2}$
 matrices
 $n_2 \times k_2$

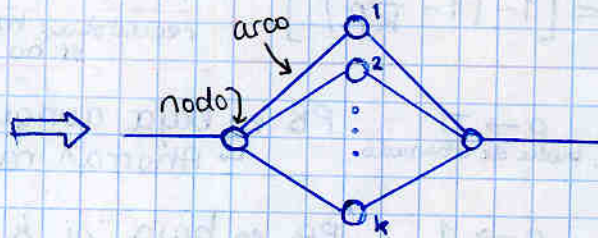
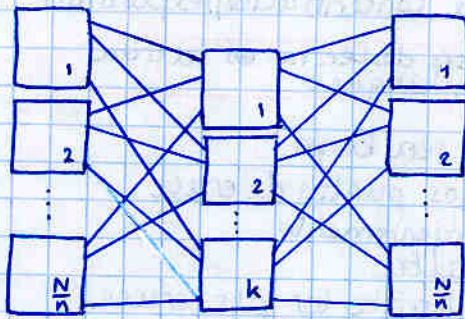
3ª
 k_2 matrices
 $\frac{N_1}{n_1 n_2} \times \frac{N_1}{n_1 n_2}$

importante tener
 soltura para
 conectar cosas.

Si $N \times$ nos sigue pareciendo elevada, otra solución es aceptar cierto grado de bloqueo (ya no será red de CLOS)

Redes multietapa con bloques

Se acepta un cierto grado de bloques para disminuir $N \times k$
Grafo de una red multietapa



representa las rutas internas entre un puerto de entrada y de salida.

Hipótesis:

- El grafo para cualquier pareja de puertos es el mismo
- La probabilidad de ocupación de todos los puertos es idéntica
- Las llamadas se distribuyen uniformemente sobre puertos d. salida
- La probabilidad de elegir cualquier ruta entre puertos es la misma

⇒ Basta estudiar un sólo grafo para estudiar toda la red.

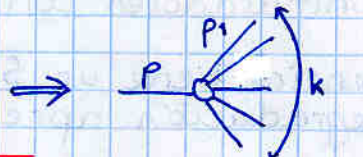
Probabilidad de ocupación

cada arco de un grafo tiene una probabilidad de ocupación p .



$$p = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sum t_k}{T}$$

Además, en una matriz se cumple:



conocido p
 $p_i = p \cdot \frac{n}{k}$

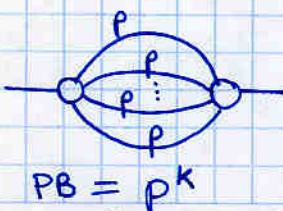
$p \cdot n = p_i \cdot k$
 todo lo que entra debe salir.
 Ley de conservación

Método de Lee

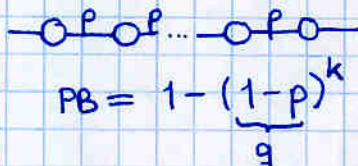
Hipótesis: el estado de un enlace es independiente del estado del resto.

Es una hipótesis falsa cuando en la red no hay bloques

arcos paralelo:

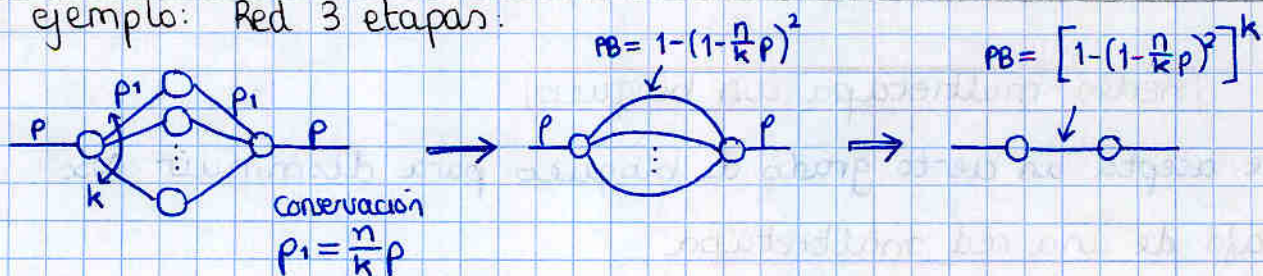


arcos serie:



a partir de estos dos resultados y la ley de conservación podemos calcular PB de cualquier red.

ejemplo: Red 3 etapas:



$$PB = \left[1 - \left(1 - \frac{n}{k}P \right)^2 \right]^k$$

$\beta = \frac{k}{n}$ factor de concentración/expansión

recuerda: hipótesis de Lee no es válida si no hay bloques

si $P \rightarrow 0$:
ej. budo de abonado

PB es baja aunque k sea baja
↳ Ahorras muchos puntos de cruce

si $P \rightarrow 1$:
ej. red troncal

PB es baja si k es ^{suficientemente} alta
↳ no se reducen tanto los pts. cruce.

ejemplo: Diseño red sabiendo $P = 0.1$
queremos $PB \leq 0.002$

$N = 131\,072$
3 etapas

$$N = 131\,072$$

para el mínimo coste $N_{opt} = \sqrt{\frac{N}{2}} = 256$

k se calcula por prueba y error sabiendo $PB \leq 0.002$

$$PB = \left[1 - \left(1 - \frac{n}{k}P \right)^2 \right]^k \quad (\text{ya que aparece en 2 lugares})$$

y luego $N_x = 2Nk + k\left(\frac{N}{k}\right)^2$

si quisiéramos N_x aun menor podríamos pasar la 2ª etapa a una red de cros.

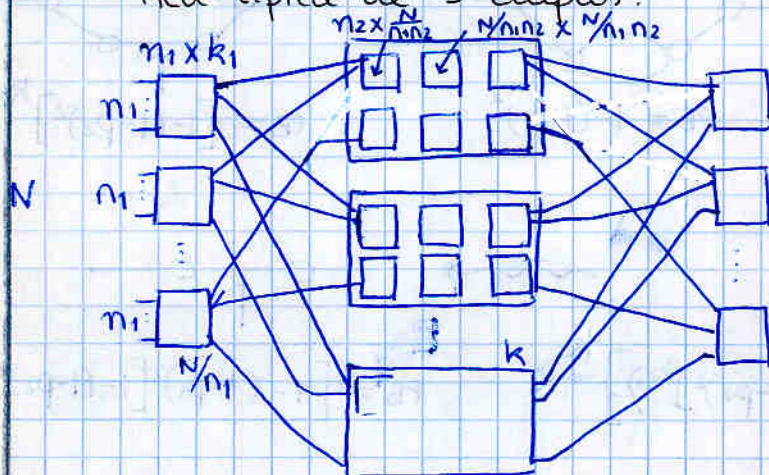
Importante que sea una red de cros para no aumentar la PB.

Justificación del uso de conmutadores con bloques

- Un terminal de area residencial tiene un 5-10% de ocupación
- Un $PB \leq 1\%$ no presenta degradación apreciable en la calidad del servicio.

ejercicio 1.

Red típica de 5 etapas:



a) N° de matrices de la 2ª etapa en el primer bloque

$$\frac{N/n_1}{n_2} = \frac{N}{n_1 n_2}$$

b) en la 3ª etapa en el primer bloque: k_2

tamaño de las matrices: $\frac{N}{n_1 n_2} \times \frac{N}{n_1 n_2}$

c) valores de k_1 y k_2 para red sin bloques:

$$k_1 = 2n_1 - 1$$

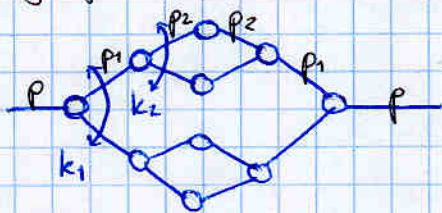
$$k_2 = 2n_2 - 1$$

d) valores de n_1 y n_2 para mínimos puntos de cruce:

$$n_1 = \sqrt{N/2}$$

$$n_2 = \sqrt{\frac{N/n_1}{2}}$$

e) grafo de la red



aplicando ley de conservación:

$$p \cdot n_1 = p_1 \cdot k_1$$

$$p_1 \cdot n_2 = p_2 \cdot k_2$$

$$p_1 = \frac{n_1}{k_1} p$$

$$p_2 = \frac{n_2}{k_2} p_1$$

$$p_2 = \frac{n_2 n_1}{k_2 k_1} p$$

recuerda:
método de Lee



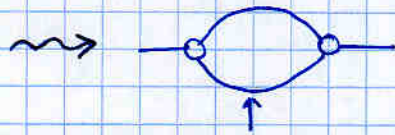
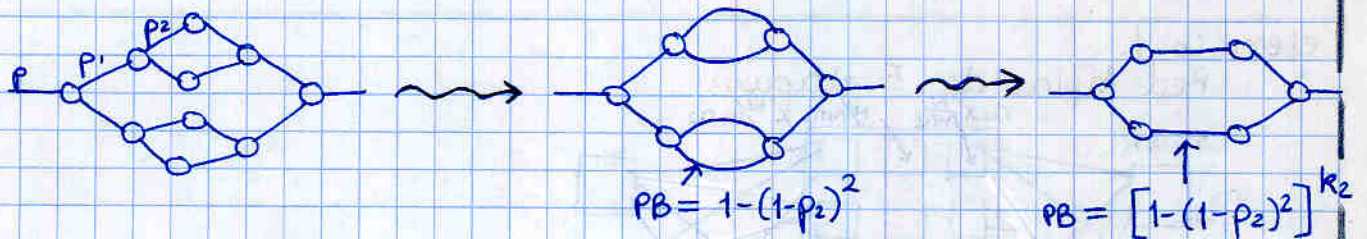
$$PB = p^k$$



$$PB = 1 - [(1-p_1)(1-p_2) \dots]$$

en realidad, puesto que en c) hemos hecho que no haya bloques, la hipótesis necesaria para Lee es totalmente falsa y no se puede aplicar.
Aun así, supongamos que la red sí presenta bloques y podemos aplicar Lee.

f) Calcular PB (método de Lee)



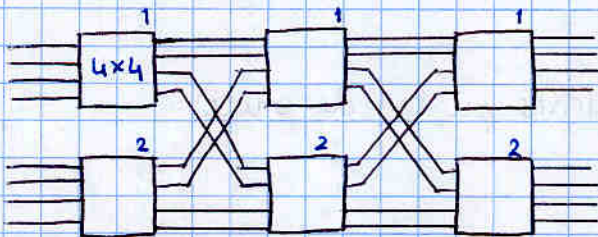
$$PB = [1 - (1 - p_1)(1 - p_1)(1 - [1 - (1 - p_2)^2]^{k_2})]^{k_1}$$

es decir

$$PB = [1 - (1 - p_1)^2 [1 - (1 - p_2)^2]^{k_2}]^{k_1} \quad \text{siendo} \quad p_1 = \frac{n_1}{k_1} p$$

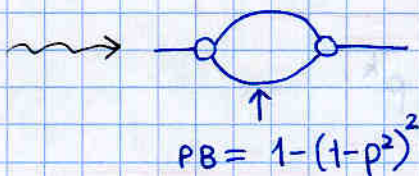
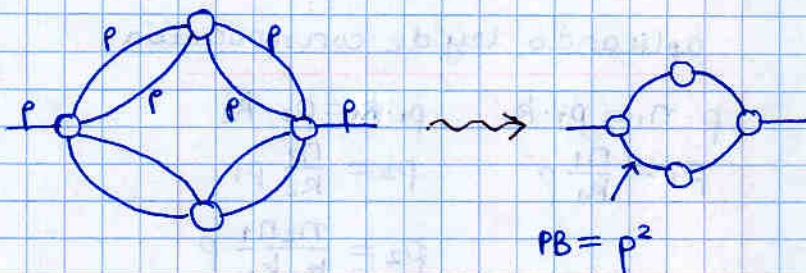
$$p_2 = \frac{n_1 n_2}{k_1 k_2} p$$

Cuestión: Dada la siguiente red (no está conectada como hemos estudiado) calcular la PB



aplicando la ley de conservación:

Como todas las matrices son cuadradas, salen todas las probabilidades iguales



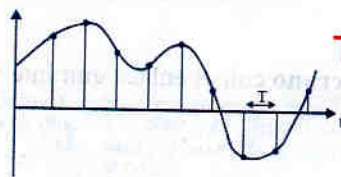
$$PB = [1 - (1 - p^2)^2]^2$$

tema 3. Conmutación Temporal de circuitos

Digitalización de las señales

- muestreo

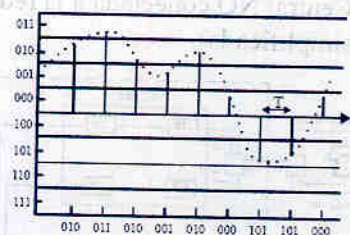
Proceso de Muestreo



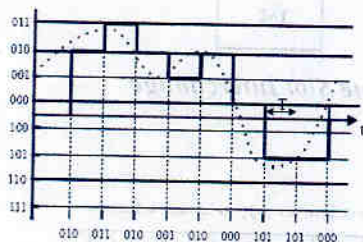
Teorema del muestreo (Nyquist)
frecuencia muestreo $\geq 2 f_{max}$

- cuantificación en palabras binarias de n bits
(se divide el margen en 2^n)

Proceso de Cuantificación



- conversión de digital a analógica



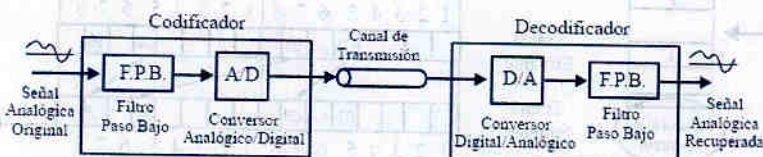
Se realiza mediante un conversor digital/analógico. Convierte la secuencia de palabras binarias en una señal analógica con un perfil de tipo escalón. Esta señal debe ser suavizada mediante un filtro paso bajo. La calidad de la señal recuperada depende de: la frecuencia de muestreo y el número de bits por muestra.

Digitalización de la voz (teléfono)

Ya que la voz está por debajo de 4kHz se utiliza una frecuencia de muestreo de 8kHz, es decir, una muestra cada 125μs. Además la cuantificación se hace con 8 bits

8 bits · 8 kHz = 64 kbps (con bits, la k es 1000, y no 1024)

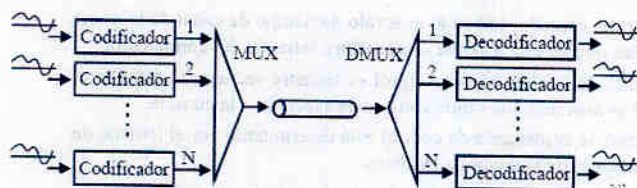
Sistema de transmisión digital simplificado



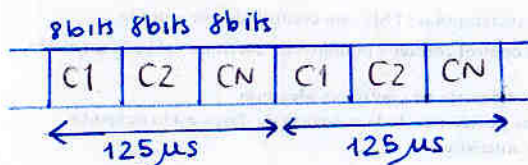
Multiplexación por división en el tiempo

Se define un intervalo de tiempo T, éste se divide en N partes iguales y cada uno de los subintervalos o ranuras temporales (slots) se asignan a cada una de los N señales a transmitir

Se denomina **canal** a la repetición periódica (cada 125 μs) de ranuras temporales asociadas a una misma pareja codificador-decodificador.



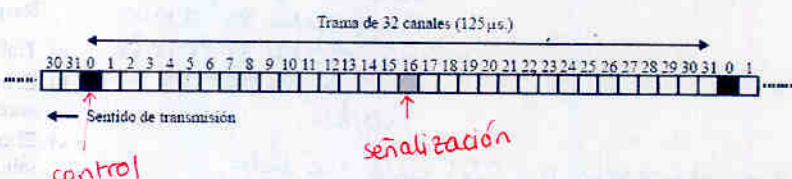
Europa			Norte América		
Nivel Jerárquico	Número Canales	Tasa Binaria (Mbit/s)	Nivel Jerárquico	Número Canales	Tasa Binaria (Mbit/s)
E1	30	2.048	DS-1	24	1.544
E2	120	8.448	DS-1C	48	3.152
E3	480	34.368	DS-2	96	6.312
E4	1920	139.264	DS-3	672	44.736
E5	7680	565.148	DS-4	4032	374.176



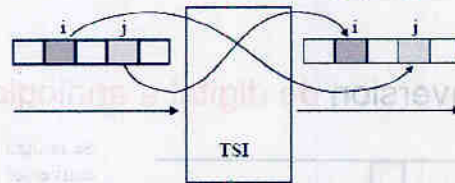
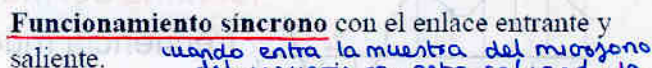
el receptor de cada canal recibe 8 bits cada 125μs, i.e. 64 kbps
(actualmente (GSM) para voz sólo hacen falta 13 kbps)

Trama del sistema E1 = MIC 30+2.

- Canal 0: Control.
- Canal 16: Señalización.
- Canales 1-15 y 17-31: tráfico de abonado (voz o datos).

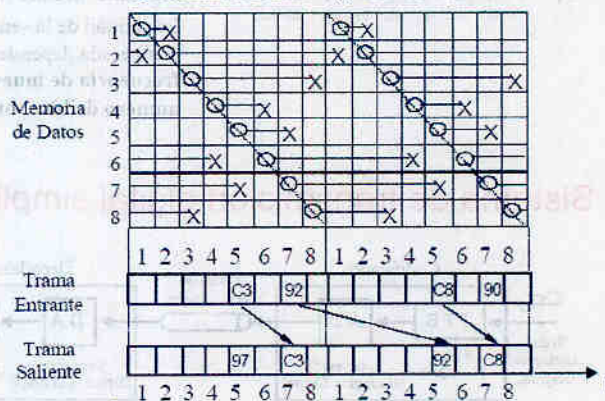


Central NO conectada a la red telefónica (visión simplificada).



Time Slot Interchange

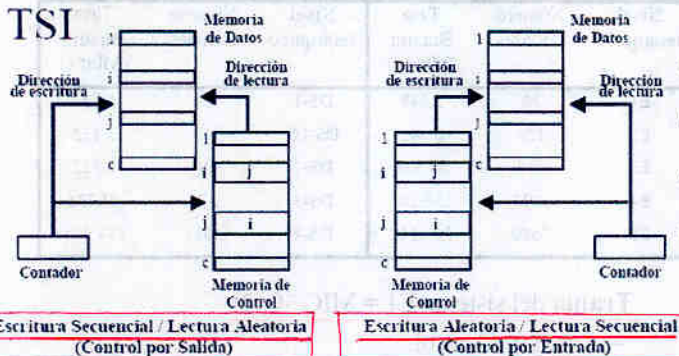
en la mem. de datos



en el instante i , que saque los datos de la posicion j , en el instante j que saque los del i

No hay sobreescrituras.
 Siempre se escribe y luego se lee.
 Escritura secuencial y lectura aleatoria

TSI



en este caso, la memoria de control dice en que posición hay que escribir un dato entrante en un instante dado.

Podría interesar un TSI que no sea 'cuadrado', es decir, un número de canales distinto a la salida y a la entrada.



habría que utilizar
2 contadores
• uno cuenta hasta c } cada 125 us
• otro cuenta hasta l } empuentan a la vez

Con relación al funcionamiento interno de un conmutador temporal (Intercambiador de canales, TSI) señalar la respuesta FALSA:

- El valor del contador indica el intervalo de tiempo de canal de la trama multiplex que en este instante se encuentra saliendo del conmutador.
- La lectura de la memoria de control es siempre secuencial, tanto si el control es asociado a la salida como si es asociado a la entrada.
- El tamaño de la memoria de control está determinado por el tamaño de las posiciones de la memoria de datos.
- Los multiplex de entrada/salida se encuentran sincronizados.

Cuando una etapa temporal (TSI) está controlada por entrada,

- a) La memoria de control contiene punteros de escritura sobre la memoria de datos.
- b) La lectura de la memoria de control es aleatoria.
- c) Si $C < L$ todas las posiciones de la memoria de datos están ocupadas.
- d) Ninguna de las anteriores.

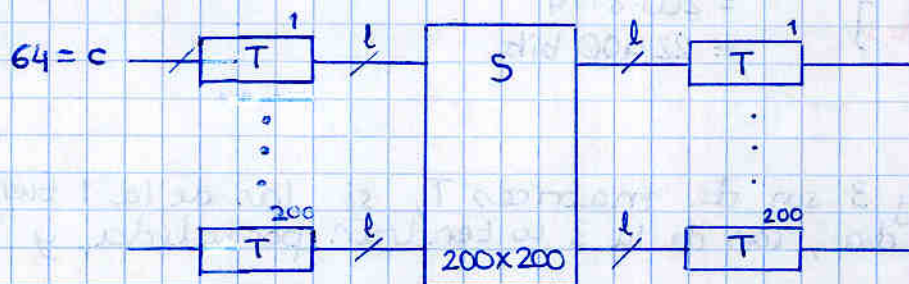
Respecto al funcionamiento del conmutador temporal (TSD):

- a) Trabaja con señales analógicas y digitales.
- b) El número de canales que puede conmutar depende del tiempo de acceso a la memoria.
- c) El control por entrada siempre es más económico que el control por salida.
- d) Durante el funcionamiento normal del conmutador, se accede dos veces a la memoria de control en cada intervalo de canal.

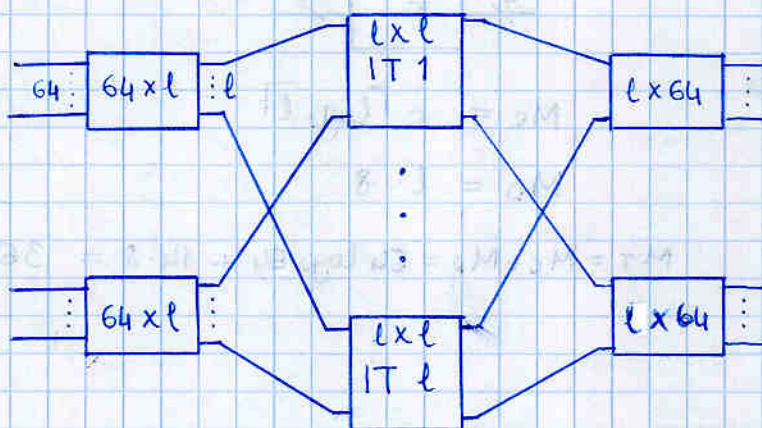
Ejercicio Tema 4. RED TST

200 enlaces
64 canales multiplexados
8 bits/muestra
 $p = 0.1$
 $PB \leq 0.1\%$

a) Diseñar la red TST para obtenerla con la menor complejidad



equivalente espacial

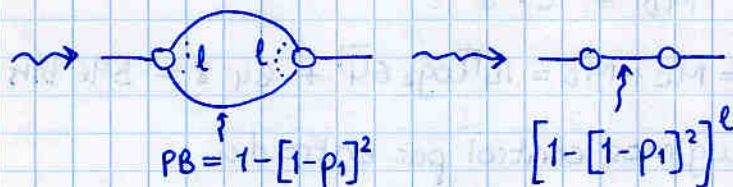


Calculo de PB:



$$p \cdot c = p_1 \cdot l$$

$$p_1 = \frac{c}{l} p$$



$$PB = [1 - [1 - p_1]^2]^l \leq 0.01$$

obtenemos l por prueba y error
60... 30... 15... 14... 13... $PB > 0.01$

Para hacer la estimación inicial es sensato tomar $\frac{2c-1}{2}$

nos quedamos con $l = 14$

(hay compresión temporal)



Habría sido mejor una red STS, ya que la compresión espacial es preferible para ahorrarse puntos de cruce.

Matriz S

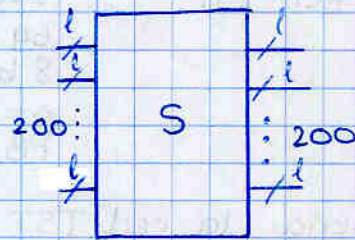
¿control por entrada o por salida? Da igual, es cuadrada
aun así calculemos los bits

$$M_c = 200 \cdot l \cdot \lceil \log_2 200 \rceil$$

$\uparrow$ n° de memorias de control (igual al n° de puertos [de entrada o salida, **NO** sumarlos todos])
 $\uparrow$ n° de posiciones en cada una
 $\uparrow$ n° de bits en cada posición

$$= 200 \cdot 8 \cdot 14$$

$$= 22400 \text{ bits}$$

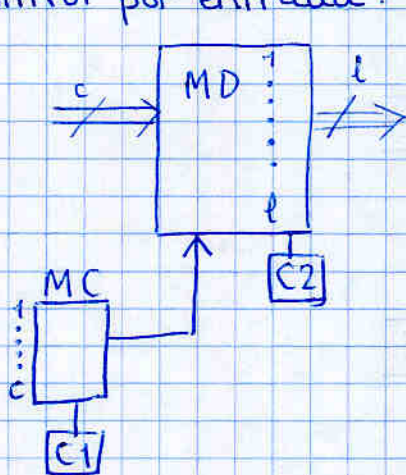


Matrices T

Como etapas 1 y 3 son de matrices T, si las de la 1 tienen control por entrada, las de la 3 lo tendrán por salida, y viceversa.

Basta estudiar una sola matriz para hallar la mejor opción

Control por entrada:

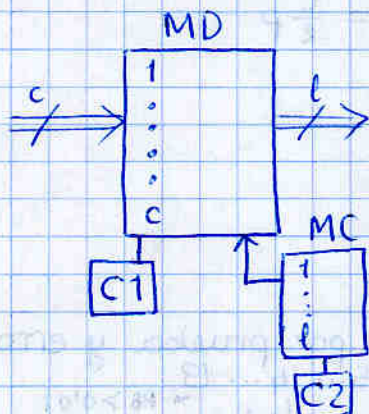


$$M_c = c \cdot \lceil \log_2 l \rceil$$

$$M_D = l \cdot 8$$

$$M_T = M_c + M_D = 64 \log_2 14 + 14 \cdot 8 = 368 \text{ bits}$$

Control por salida:



$$M_c = l \cdot \lceil \log_2 c \rceil$$

$$M_D = c \cdot 8$$

$$M_T = M_c + M_D = 14 \lceil \log_2 64 \rceil + 64 \cdot 8 = 596 \text{ bits}$$

elegimos control por entrada

b) Complejidad

$$C = N_x + \frac{N_b}{100}$$

$$N_x = 200 \cdot 200$$

$$N_b = M_s + 200 \cdot 2 M_T$$

$$C = 200 \cdot 200 + \frac{22400 + 400 \cdot 368}{100}$$

$$= 41696 \text{ p.c.e}$$

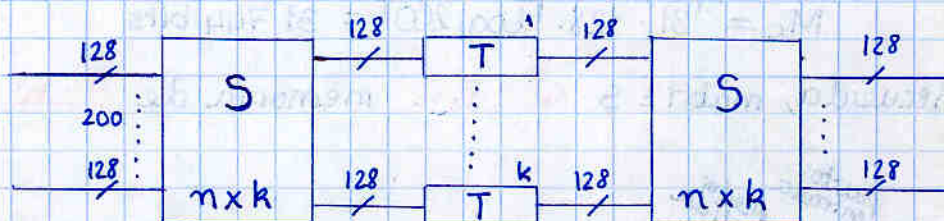
puntos de cruce
equivalentes

Ejercicio Septiembre 2002

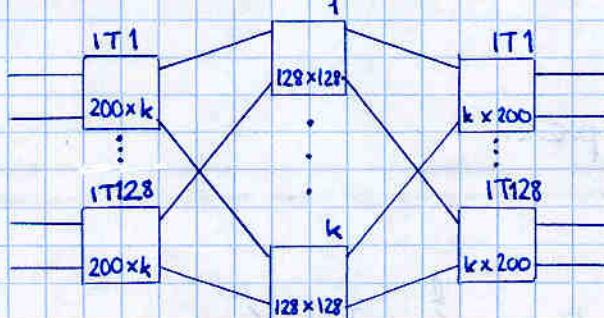
STS

- 200 enlaces
- 128 canales multiplex
- 8 bits/muestra
- $p = 0.1 = 10\%$
- $PB \leq 2\%$, mínima complejidad

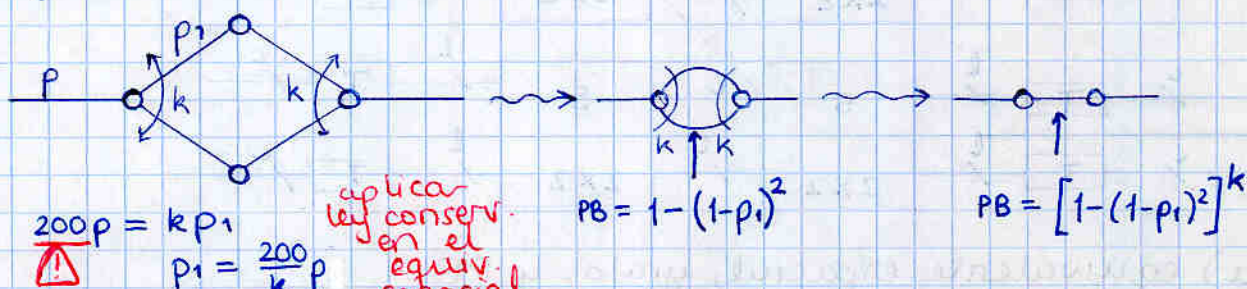
Dibujar la configuración del grafo y hallar los parámetros.
Cálculo de complejidad.



equivalente espacial:



grafo de la red:



se debe cumplir:

$$PB = [1 - (1 - p_1)^2]^k \leq 0.02$$

sabemos que para $k = 2 \cdot 200 - 1$
la PB es 0

$$k = 30 \quad PB = 0.029$$

$$k = 31 \quad PB = 0.015$$

tomamos $k = 30$

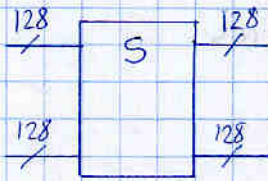
etapa T



Por ser cuadrada, da igual control por salida o por entrada ^{bits que ocupa escribir una dirección de la mem. datos.}

$$+ \begin{cases} M_c = 128 \cdot \lceil \log_2 128 \rceil = 896 \\ M_D = 128 \cdot 8 \\ M_T = 1920 \end{cases} \leftarrow \begin{matrix} \text{bits por} \\ \text{muestra} \end{matrix}$$

etapa S



Control por entrada:

$$M_c = 200 \cdot 128 \cdot \lceil \log_2 31 \rceil = 128\,000 \text{ bits}$$

Control por salida:

$$M_c = 31 \cdot 128 \cdot \lceil \log_2 200 \rceil = 31\,744 \text{ bits}$$

Recuerda, matriz S **no tiene** memoria de **datos**

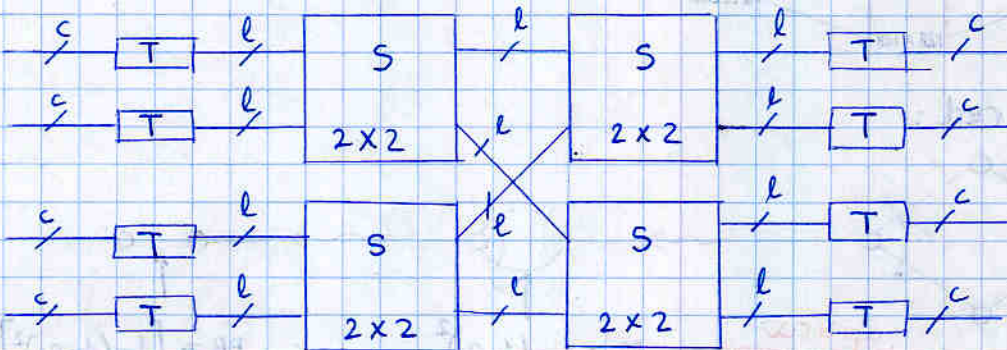
Complejidad:

$$N_x = 2 \cdot \underbrace{200 \cdot 31}_{\substack{\text{puerto} \\ \text{entrada}} \quad \substack{\text{puerto} \\ \text{salida}}} \cdot \underbrace{2}_{\substack{\text{matrices} \\ \text{de cruce} \\ \text{en una S}}}$$

$$N_b = 31\,744 \cdot 2 + 1920 \cdot 31$$

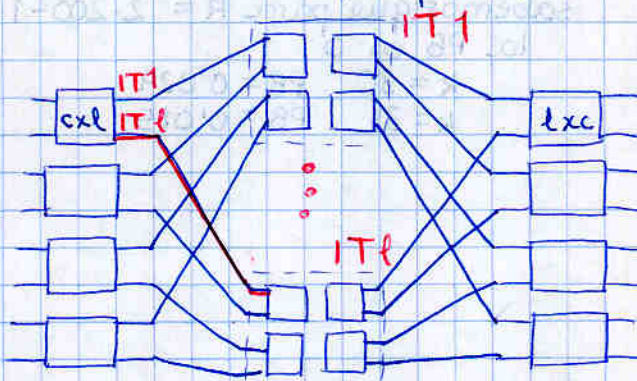
$$C_o = N_x + \frac{N_b}{100} = 13\,630'08 \text{ p.c.e.}$$

Junio 2003 TSST

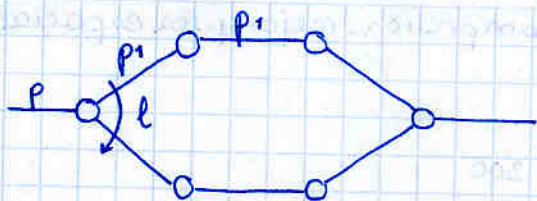


a) equivalente espacial, grafo, y PB

las dos etapas del centro las replicamos todas juntas como un bloque pues funcionan en los mismos instantes

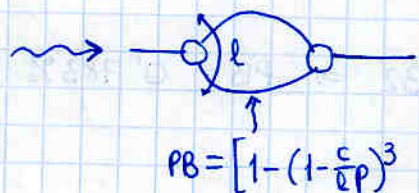


parece mas facil de lo que es dibujar el equiv. espacial



⚠ aplica la ley de conservación en el equiv. espacial

$$c \cdot p = l \cdot p_1 \quad p_1 = \frac{c}{l} p$$



$$PB = [1 - (1 - \frac{c}{l} p)^3]^l$$



$$PB = [1 - (1 - \frac{c}{l} p)^3]^l$$

b) calcular PB sabiendo

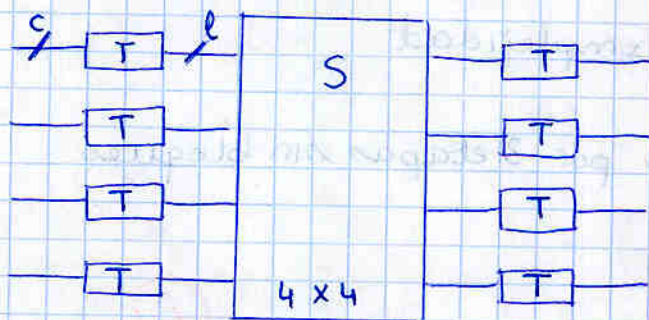
$$c = 32$$

$$l = 48$$

$$p = 0.6$$

$$PB^{(a)} = [1 - (1 - \frac{c}{l} p)^3]^l = 0.0008456\%$$

c) Hacerlo en una TST y calcular p para la misma PB



$$c = 32$$

$$l = 48$$

$$PB = [1 - (1 - \frac{c}{l} p)^2]^l \quad \text{①}$$

fórmula de siempre

$$= 0.0008456$$

$$\Rightarrow p = 80.3\%$$

soporta más carga, ya que mientras que la matriz S no es bloqueante, las dos etapas S si lo son.

Junio 2002

a) Red TST: calcular mínima complejidad para $PB \leq 1\%$

siendo $c = 64$

$$p = 0.1$$



1)

$$PB = [1 - (1 - \frac{c}{l} p)^2]^l \leq 0.01 \Rightarrow l = 14 \Rightarrow PB = 7.53 \cdot 10^{-3}$$

2) mínima complejidad

$$T: \quad \begin{array}{l} \text{CE.} \quad M_0 = 14 \cdot 8 = 112 \\ \quad \quad M_c = 64 \cdot \lceil \log_2 14 \rceil = 256 \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 368 \text{ bits}$$

$$C.S. \quad \begin{array}{l} M_0 = 64 \cdot 8 = 512 \\ \quad \quad M_c = 14 \cdot \lceil \log_2 64 \rceil = 84 \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 596 \text{ bits}$$

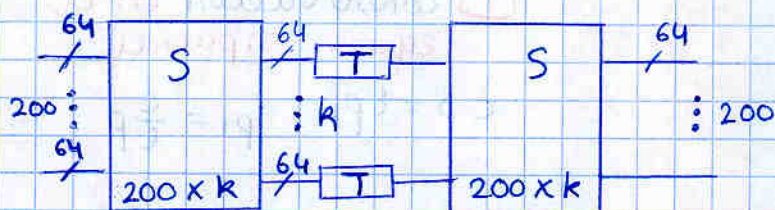
①

truco: no debe tener más de dos decimales

$$C_0 = 200 \cdot 200 + \frac{2 \cdot 200 \cdot 368 + 200 \cdot 14 \cdot \lceil \log_2 200 \rceil}{100} = 41696 \text{ pce}$$

b) Implantar una solución mejor

- STS (ya que p es baja: hacemos compresión: mejor q. sea espacial)



$$1) PB = \left[1 - \left(1 - \frac{200}{k} p \right)^2 \right]^k \Big|_{p=0.1} \leq 0.01 \Rightarrow k = 32 \Rightarrow PB = 0.783\%$$

$$2) S \quad \begin{array}{l} \text{C.E. } M_c = 200 \cdot 64 \cdot \lceil \log_2 32 \rceil = 64000 \text{ bits} \\ \text{C.S. } M_c = 32 \cdot 64 \cdot \lceil \log_2 200 \rceil = 16384 \text{ bits} \end{array}$$

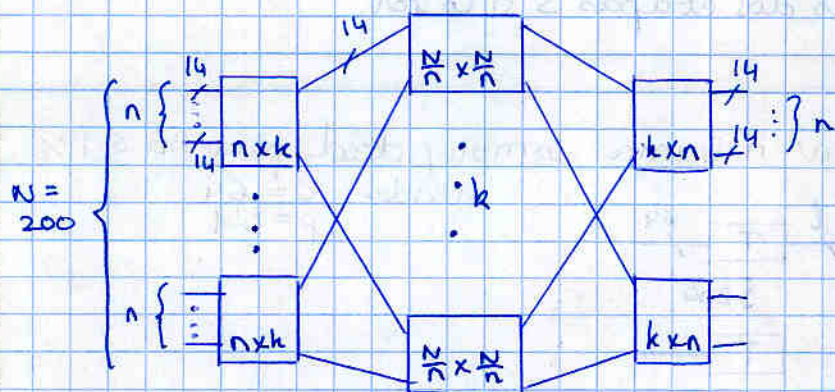
$$T \quad \begin{array}{l} M_D = 64 \cdot 8 = 512 \\ M_c = 64 \cdot \lceil \log_2 64 \rceil = 384 \end{array} \} 896 \text{ bits}$$

$$C_0 = 2 \cdot 200 \cdot 32 + \frac{2 \cdot 16384 + 32 \cdot 896}{100} = 13414.4 \text{ pce}$$

en efecto es de menor complejidad

- Otra solución: TSSST

Sustituir la matriz S por 3 etapas sin bloques



Red 3 etapas
sin bloques
óptima

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

$$k = 2n - 1$$

$$\Rightarrow N_x = 4N(\sqrt{2N} - 1)$$

en nuestro caso

$$n = 10$$

$$k = 19$$

$$N_x = 15200 \text{ pc}$$

$$S_{n \times k} \quad \begin{array}{l} \text{C.E. } M_c = 10 \cdot 14 \cdot \lceil \log_2 19 \rceil = 700 \text{ bits} \\ \text{C.S. } M_c = 19 \cdot 14 \cdot \lceil \log_2 10 \rceil = 1064 \text{ bits} \end{array}$$

$$S_{\frac{N}{2} \times \frac{N}{2}} \quad M_c = 20 \cdot 14 \cdot \lceil \log_2 20 \rceil = 1400 \text{ bits}$$

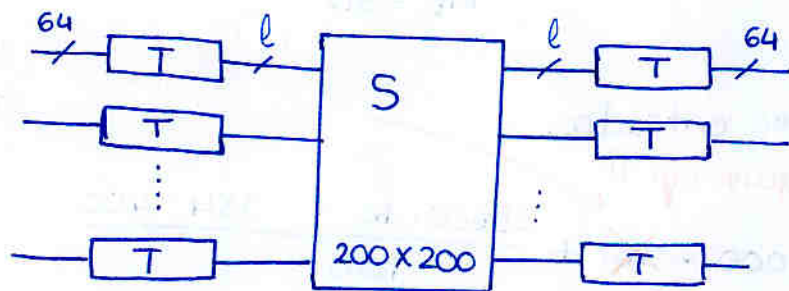
$$T(\text{apdo a}) \quad 400 \cdot 368$$

$$C_0 = 15200 + \frac{400 \cdot 368 + 20 \cdot 2 \cdot 700 + 19 \cdot 1400}{100} = 17218 \text{ p.c.e.}$$

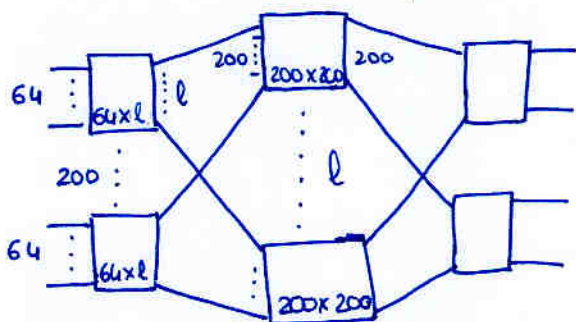
Ejercicio:

Diseñar red TST
con la menor
complejidad
posible

200 enlaces
64 canales multiplexados
8 bits/muestra
 $p = 0.1$
 $PB \leq 0.1\%$

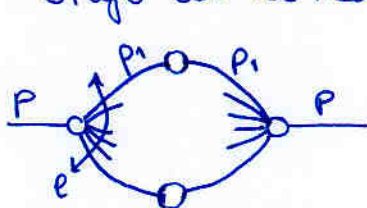


Para calcular PB, equivalente espacial



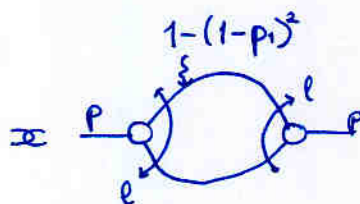
no mirar esto para
la complejidad

Grafo de la red



$$64p = lp_1$$

$$p_1 = \frac{64}{l}p$$



$$[1 - (1 - p_1)^2]^l$$

$$PB = [1 - (1 - \frac{64}{l}p)^2]^l \leq 0.001$$

$$[1 - (1 - \frac{6.4}{l})^2]^l \leq 0.001$$

tomamos $l = 16$

por prueba y error

$l = 10$	$\rightarrow PB = 0.2496$
$l = 20$	$\rightarrow PB = 0.0000..$
$l = 15$	$\rightarrow PB = 0.00253$
$l = 17$	$\rightarrow PB = 0.00023$
$l = 16$	$\rightarrow PB = 0.00079$

hay compresión temporal.

Hubiera sido mejor STS $\rightarrow$ compresión espacial

Complejidad:

matriz S: por ser cuadrada no importa si control por entrada o por salida
una memoria por cada puerto $\rightarrow$ una posición por cada 1T
no de bits por posición

memoria control: $M_c = 200 \cdot l \cdot \lceil \log_2 200 \rceil = 200 \cdot 16 \cdot 8 = 25600 \text{ bits}$

Puntos de cruce: $N_x = 200 \cdot 200 = 40000 = N_{x \text{ total}}$

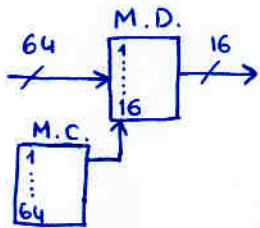
(por cada matriz S) $\leftarrow$ MAL!
Solo hay una matriz S !!!

matriz T

Control por entrada: $M_c = 64 \cdot \lceil \log_2 16 \rceil$

$$M_D = 16 \cdot 8$$

$$\left. \begin{matrix} M_c = 256 \\ M_D = 128 \end{matrix} \right\} 384 \text{ bits}$$



Control por salida

$$M_c = 16 \cdot \lceil \log_2 64 \rceil$$

$$M_D = 64 \cdot 8$$

$$\left. \begin{matrix} M_c = 96 \\ M_D = 512 \end{matrix} \right\} 608 \text{ bits}$$

Elegimos control por entrada.

complejidad: no en el equiv. esp. !!

$$C = Nx + \frac{N_b}{100} = 40000 \cdot \cancel{16} + \frac{25600 \cdot \cancel{16} + 384 \cdot 400}{100}$$

$$= \cancel{645632} \text{ p.c.e.}$$

$$= 41792 \text{ p.c.e.}$$

MAL! $\triangle$
Eso es en el equiv. espacial !!



$$q = \frac{p}{2}$$



$$\begin{aligned} 10000 &= 10^4 \\ 10000 &= 10^4 \\ 10000 &= 10^4 \\ 10000 &= 10^4 \\ 10000 &= 10^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10000 &= 10^4 \\ 10000 &= 10^4 \\ 10000 &= 10^4 \end{aligned}$$

$$10000 = 10^4$$

$$10000 = 10^4$$

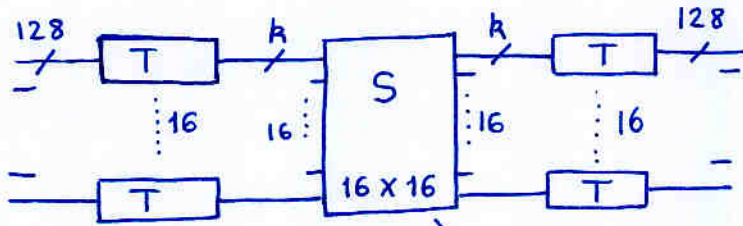
$$10000 = 10^4$$

$$\begin{aligned} 10000 &= 10^4 \\ 10000 &= 10^4 \\ 10000 &= 10^4 \end{aligned}$$

Problema Junio 2001

- Red de conmutación bidimensional TST
 - 16 puertos
 - 128 canales por puerto
 - Utilización por canal del 10%
 - 8 bits por muestra vocal
 - $C = 271'36$ p.c.e.
 - Control por salida 1ª etapa
 - Control por entrada 2ª etapa

a) PB



control por salida
 $M_0 = 128 \cdot 8$
 $M_c = k \cdot \lceil \log_2 128 \rceil$
 total
 $M_T = 1024 + 7k$ bits

$M_c = 16 \cdot k \cdot \lceil \log_2 16 \rceil$
 $= 64k$ bits
 $N_x = 16 \cdot 16 = 256$

complejidad:

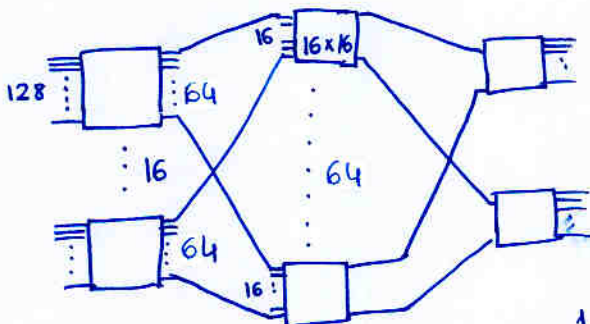
$$C = 256 + \frac{32(1024 + 7k) + 64k}{100} = 583.68 + \frac{288k}{100} = 271'36 \text{ p.c.e.}$$

supongamos que me han dado $C = 768$ p.c.e.

$$583.68 + \frac{288k}{100} = 768 \rightarrow k = 64$$

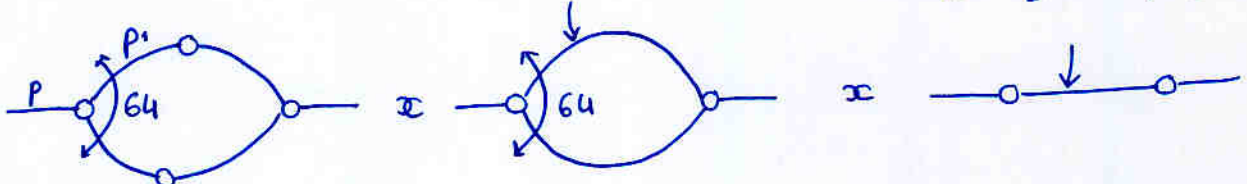
debe de estar mal el enunciado
 ($k < 0$?)

Cálculo PB. Equiv espacial:



$$PB = 1 - (1 - 2p)^2$$

$$PB = [1 - (1 - 2p)^2]^{64}$$



$$p \cdot 128 = p_1 64$$

$$p_1 = \frac{128}{64} p = 2p$$

$$PB = [1 - (1 - 2 \cdot 0.1)^2]^{64} = 4'01 \cdot 10^{-29}$$