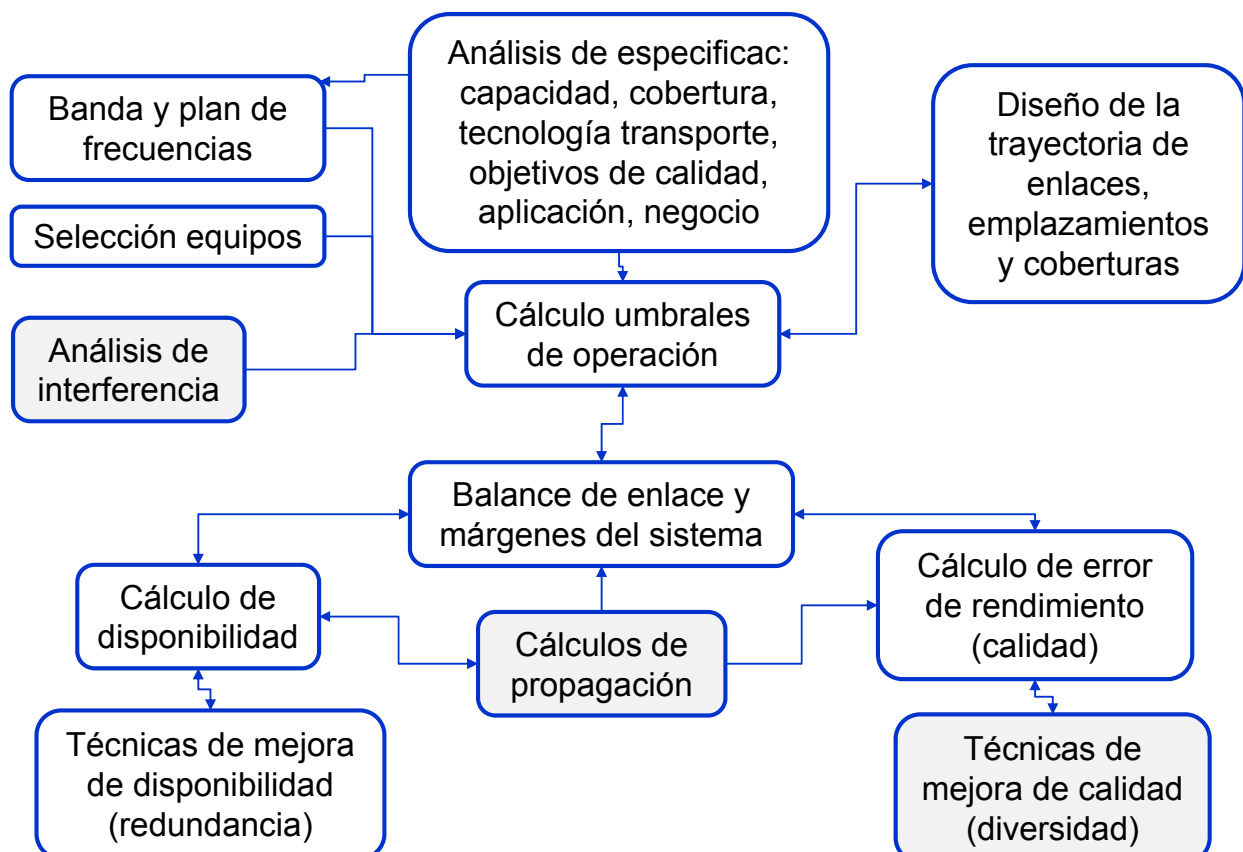


Tema 3. Dimensionamiento y planificación en frecuencia

- **Introducción**
- **Dimensionamiento y capacidad.**
- **Capacidad y tráfico de voz.**
- **Capacidad en sistemas digitales. Ancho de banda y velocidad binaria. Tecnología de transporte y tasas estandarizadas.**
- **Eficiencia espectral**
- **Recursos de optimización de espectro**
- **Planes de frecuencia según ITU-R**
- **Planes de frecuencia según FCC, CEPT. CNAF**
- **Descripción de un plan de canalización. Opciones de canalización. Canalización alternada. Canalización con reuso de banda cocanal. Canalización con reuso de banda intercalada.**
- **Ejemplo: Plan para la banda alta de 6 GHz (6,425-7,125 MHz). Recomendación ITU-R F.384-11 (03/2012)**
- **Asignación de canales radio: plan con 2 sub-bandas; plan con 2 frecuencias; plan con 4 y más frecuencias**

TSC-UNIOVI

Procedimiento de planificación de un enlace/red de comunicaciones



Dimensionamiento

- El dimensionamiento de un enlace o una red es típicamente el primer paso en la planificación del sistema y permite estimar el equipamiento e infraestructura necesarias para cumplir las **especificaciones** sobre capacidad, cobertura y calidad:
 - **Capacidad**
 - Tipo de sistema y tecnología de transporte
 - Equipos
 - Disponibilidad de espectro
 - Tráfico de voz y/o datos
 - Previsión de suscriptores y evolución
 - Mapas de densidad de tráfico
 - **Cobertura**
 - Distancias y áreas a cubrir
 - Información del tipo de área
 - **Calidad**
 - Objetivos y parámetros de medida
 - Disponibilidad, prob. de caída, probabilidad de error, etc

TSC-UNIOVI

Capacidad

- La capacidad de un enlace o una red, se mide por la **cantidad de información** en términos de **suscriptores y carga de tráfico** que puede manejar.
- El número de suscriptores depende de los hábitos de llamada o uso de datos (tráfico medio por suscriptor) mientras que la carga es un parámetro más general.
- En algunas redes celulares el número de suscriptores, carga de tráfico y distancia de cobertura están interrelacionados.
- En un caso general de una **red radio**, la **capacidad** se calculará:
 - Número de portadoras por celda de cobertura basado en el diagrama de reuso de frecuencia (plan de frecuencia) y el espectro disponible.
 - Capacidad de una celda de acuerdo al número de portadoras y objetivos de calidad.
 - La suma de las capacidades de las celdas dará la capacidad de red.
- En un sistema **celular**, la **eficiencia espectral** dependerá del espectro disponible, el factor de reuso de frecuencias, el área de la celda y el ancho de banda del canal.
- Se define la **eficiencia espectral** como la tasa binaria de información transmitida entre el ancho de banda utilizado.

TSC-UNIOVI

Capacidad. Tráfico de voz

- 1 Erlang puede considerarse como 1 recurso (circuito, canal) utilizado de forma continua (100%).
- El tráfico (Erlangs) puede definirse como porcentaje de utilización por unidad de tiempo.

Tráfico: E (Erlangs) = $A \cdot TL$

A : tasa de llamadas entrantes por unidad de tiempo

TL : duración media de llamada

[Num llamadas intentadas x duración total (s)] / 3600]

Ej.: Dos líneas de teléfono, una ocupada completamente durante una hora y la otra sin utilizar => 0,5 Erlangs. Si en una hora el uso de móviles es de 180 min => 3 Erlangs

TSC-UNIOVI

Capacidad. Tráfico de voz

- Erlang-B o fórmula de pérdidas de Erlang deriva de la probabilidad de bloqueo de la distribución de Erlang, y describe la **prob. de pérdida de llamada en un grupo de ctos.** (red ctos. conmutados o equivalente).
- La fórmula calcula la probabilidad de bloqueo en un sistema de pérdida (telefonía fija y móvil), donde si una solicitud no es atendida inmediatamente cuando intenta utilizar un recurso, se anula.
- La fórmula proporciona el GoS (grado de servicio) que es la probabilidad P_b de que una nueva llamada que llega al grupo de ctos. sea rechazada debido a que todos los servidores (circuitos) están ocupados:

$$P_b = B(A, m) = \frac{\frac{A^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{A^i}{i!}}$$

P_b : probabilidad de bloqueo

M : núm. de recursos (servidores o ctos)

A : tráfico total (Erlangs)

- Erlang B es una herramienta de dimensionado de rutas de conmutación de circuitos para tráfico de voz.

TSC-UNIOVI

Capacidad en sistemas digitales. Ancho de banda y velocidad binaria

Ancho de banda de transmisión (una portadora):

$$B_{RF} = (1 + \alpha) V'$$

α : factor “roll-off” del filtro del canal (ancho de banda en exceso)

V' tasa de modulación (sim/s) (“symbol rate”)

$$B_{RF} = (1 + \alpha) V_b \frac{1}{\log_2 M}$$

V_b : velocidad binaria o tasa de bit (bits/s).
(antes de modulación, “gross bit rate”)

M : núm. de estados de modulación => (bits/sim)

V_{bn} : velocidad binaria neta: la que transporta información útil

V_b (la tasa binaria bruta) incluye:

- Corrección errores
- Info de mantenimiento o servicio interno
- Multiplexado interno de tramas estandarizadas:

TSC-UNIOVI

Capacidad. Tecnologías de transporte y tasas estandarizadas

- La tasas binarias netas usadas en las tecnologías de transporte de banda base (BB) por multiplexación por división en el tiempo (TDM) y modo de transferencia asíncrono (ATM) están estandarizadas.
- Especificaciones de multiplexación (tasas binarias netas):
 - PDH**: Recomendaciones ITU-T G.702 – G.704
 - SDH, SONET**: Recomendaciones ITU-T G.707 – G.709

➤ Esquemas estandarizados de V_{bn} (también se usan multiplicados por n):

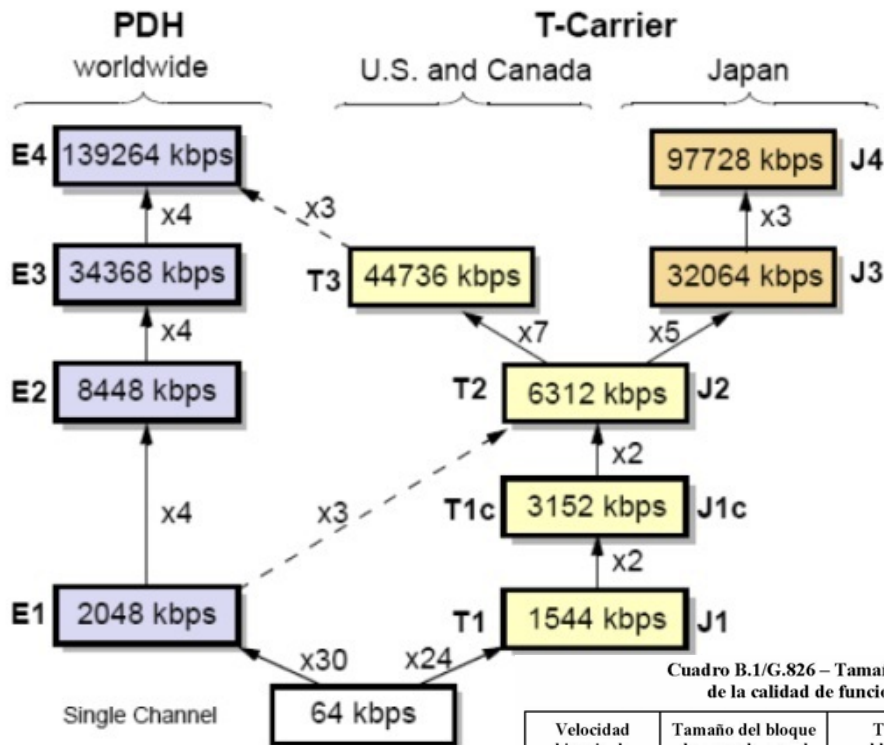
a) DS1 o T1 (1544 Kbit/s) y DS3 o T3 (44736 Kbit/s) (n DS1 y n DS3).

b) E1 (2048 Kbit/s) y E3 (34368 Kbit/s) (n E1 y n E3).

c) STS-1 o sub-STM-1 (51840 Kbit/s) y STM-1 (155520 Kbit/s) (n STS-1 y n STM-1).

TSC-UNIOVI

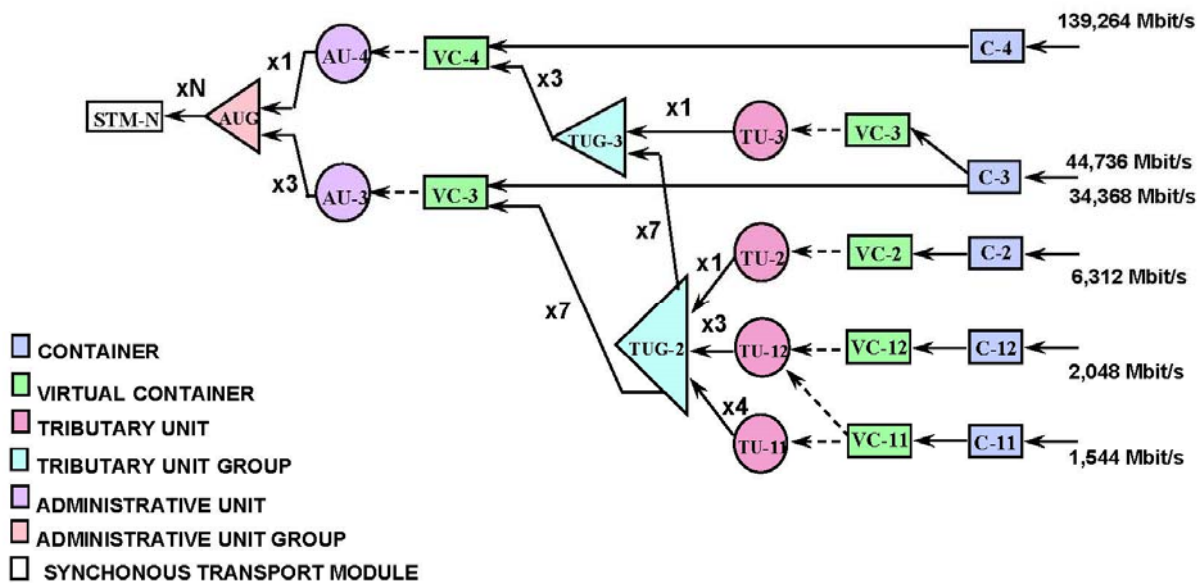
Capacidad. Tecnologías de transporte y tasas estandarizadas



Cuadro B.1/G.826 – Tamaños de bloque para la supervisión de la calidad de funcionamiento de trayectos PDH

Velocidad binaria de trayecto PDH	Tamaño del bloque de acuerdo con el cuadro 1	Tamaño de bloque PDH utilizado en esta Recomendación	EDC	Referencia
1 544 kbit/s	800-5000 bits	4632 bits	CRC-6	2.1/G.704 [2]
2 048 kbit/s	800-5000 bits	2048 bits	CRC-4	2.3/G.704
6 312 kbit/s	2000-8000 bits	3156 bits	CRC-5	2.2/G.704
44 736 kbit/s	4000-20 000 bits	4760 bits	Verificación de	1.3/G.752 [10]

Estructura multiplexación ITU-T



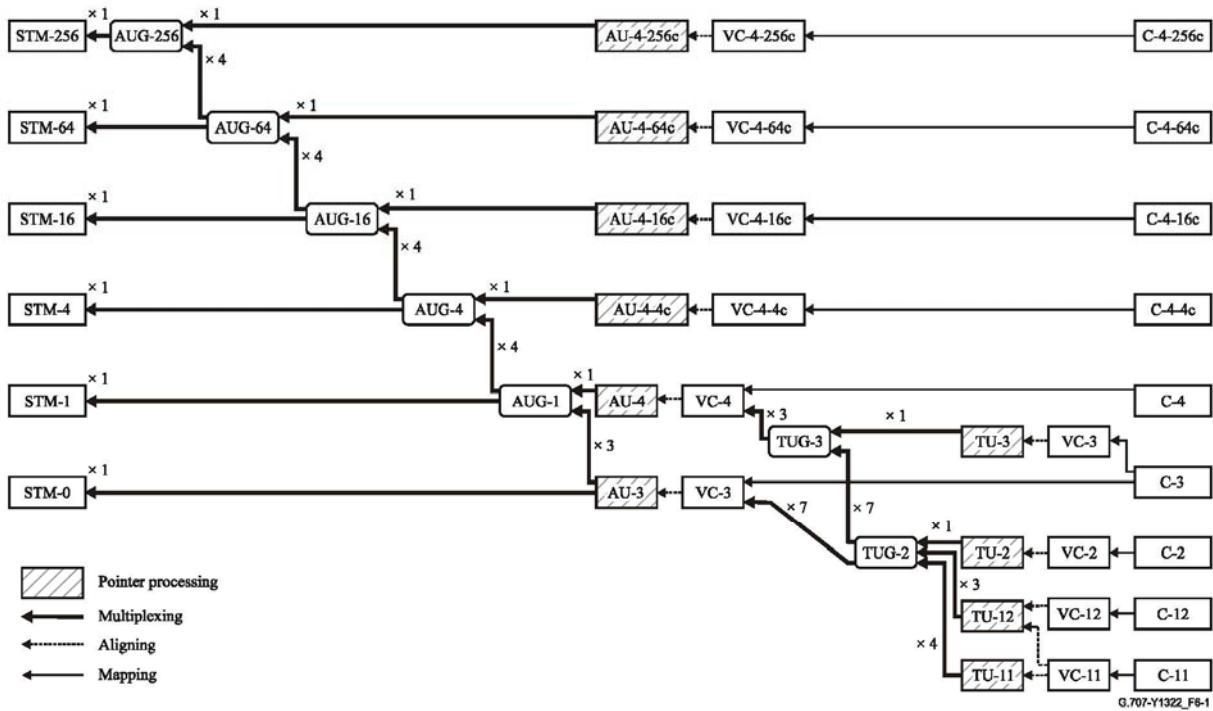


Figure 6-1 – Multiplexing structure
ITU-T G.707

TSC-UNIOVI

Velocidades binarias (SDH)

Table 6-2 – SDH hierarchical bit rates ITU-T G.707

Synchronous digital hierarchy level	Hierarchical bit rate (kbit/s)
0	51 840
1	155 520
4	622 080
16	2 488 320
64	9 953 280
256	39 813 120

NOTE – The specification of levels higher than 256 requires further study.

ITU-T G.707

Table 6-1 – VC types and capacity

VC type	VC bandwidth	VC payload
VC-11	1 664 kbit/s	1 600 kbit/s
VC-12	2 240 kbit/s	2 176 kbit/s
VC-2	6 848 kbit/s	6 784 kbit/s
VC-3	48 960 kbit/s	48 384 kbit/s
VC-4	150 336 kbit/s	149 760 kbit/s
VC-4-4c	601 344 kbit/s	599 040 kbit/s
VC-4-16c	2 405 376 kbit/s	2 396 160 kbit/s
VC-4-64c	9 621 504 kbit/s	9 584 640 kbit/s
VC-4-256c	38 486 016 kbit/s	38 338 560 kbit/s

ITU-T G.828

Cuadro B.1/G.828 – Tamaños de bloque para la supervisión de la calidad de funcionamiento de trayectos digitales sincrónicos

Velocidad binaria (kbit/s)	Tipo de trayecto	Tamaño de bloque SDH utilizado en G.828	EDC
1 664	VC-11, TC-11	832 bits	BIP-2
2 240	VC-12, TC-12	1 120 bits	BIP-2
6 848	VC-2, TC-2	3 424 bits	BIP-2
48 960	VC-3, TC-3	6 120 bits	BIP-8
150 336	VC-4, TC-4	18 792 bits	BIP-8
601 344	VC-4-4c, TC-4-4c	75 168 bits	BIP-8
2 405 376	VC-4-16c, TC-4-16c	300 672 bits	BIP-8
9 621 504	VC-4-64c, TC-4-64c	1 202 688 bits	BIP-8

TSC-UNIOVI

Estructura multiplexación (documento Tektronix: “SDH Telecommunications Standard Primer”)

Table 13. SONET/SDH Digital Hierarchies

SONET	Bit Rate	SDH	SONET Capacity	SDH Capacity
STS-1, OC-1	51.84 Mbit/s	STM-0	28 DS1 or 1 DS3	21 E1
STS-3, OC-3	155.52 Mbit/s	STM-1	84 DS1 or 3 DS3	63 E1 or 1 E4
STS-12, OC-12	622.08 Mbit/s	STM-4	336 DS1 or 12 DS3	252 E1 or 4 E4
STS-48, OC-48	2488.32 Mbit/s	STM-16	1344 DS1 or 48 DS3	1008 E1 or 16 E4
STS-192, OC-192	9953.28 Mbit/s	STM-64	5376 DS1 or 192 DS3	4032 E1 or 64 E4
STS-768, OC-768	39812.12 Mbit/s	STM-256	21504 DS1s or 768 DS3s	16128 E1 or 256 E4

Note: Although an SDH STM-1 has the same bit rate as the SONET STS-3, the two signals contain different frame structures.

STM = Synchronous Transport Module (ITU-T)

STS = Synchronous Transport Signal (ANSI)

OC = Optical Carrier (ANSI)

Table 14. Non-Synchronous Digital Hierarchies

ANSI Rate			ITU Rate		
Signal	Digital Bit Rate	Channels	Signal	Digital Bit Rate	Channels
DS0	64 kbit/s	1 DS0	E0	64 kbit/s	64 kbit/s
DS1	1.544 Mbit/s	24 DS0	E1	2.048 Mbit/s	32 E0
DS2	6.312 Mbit/s	96 DS0	E2	8.448 Mbit/s	128 E0
DS3	44.736 Mbit/s	28 DS1	E3	34.368 Mbit/s	16 E1
	not defined		E4	139.264 Mbit/s	64 E1

TSC-UNIOVI

Capacidad

- La multiplexación PDH o SDH junto con ATM, van reemplazándose por IP/Ethernet, facilitando la integración de la red de transporte en la red de comunicaciones.
- Como en tecnología IP no hay jerarquía de velocidad binaria, la flexibilidad de altas velocidades en el canal radio exigen elementos de **calidad de servicio** y especificaciones de **sincronización**.
- Aplicaciones IP en canal radio=> redes de acceso para comunic móviles de banda ancha (HSPA, EV-DO, LTE, redes heterogéneas).
- Clasif. sist. fijos **digitales inalámbricos según capacidad** de transmisión:
- Baja capacidad: $V_b < 10$ Mbit/s.
- Media capacidad: 10 Mbits/s $< V_b < 100$ Mbits/s.
- Alta capacidad: $V_b > 100$ Mbits/s.

TSC-UNIOVI

Eficiencia espectral

- **Eficiencia espectral:** V_b de información transmitida en el enlace respecto del ancho de banda total utilizado (bits/s / Hz)

$$B_{RF} = (1 + \alpha) V_b \frac{1}{\log_2 M} \longrightarrow \frac{V_b}{B_{RF}} = \frac{\log_2 M}{(1 + \alpha)}$$

- Para esquemas de modulación de amplitud o fase:

		Tasa binaria (Mbps) en función de la anchura del canal RF							
		Eficiencia (bps/Hz)		3,5 MHz		7 MHz		28 MHz	
Roll-off (α)		0.5	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1
QPSK		1.33	1.82	4.67	6.36	9.33	12.73	37.33	50.91
8-PSK		2.00	2.73	7.00	9.55	14.00	19.09	56.00	76.36
16-QAM		2.67	3.64	9.33	12.73	18.67	25.45	74.67	101.82
64-QAM		4.00	5.45	14.00	19.09	28.00	38.18	112.00	152.73
128-QAM		4.67	6.36	16.33	22.27	32.67	44.55	130.67	178.18
256-QAM		5.33	7.27	18.67	25.45	37.33	50.91	149.33	203.64
1024-QAM		6.67	9.09	23.33	31.82	46.67	63.64	186.67	254.55

TSC-UNIOVI

Eficiencia espectral

- Para esquemas de **modulación codificada**, el ancho de banda necesario depende del núm. de niveles de modulación y, además, de la **redundancia**.
- Para una modulación con 2^n estados, los bits redundantes incrementan la tasa binaria en f:

$$f = \frac{n+1}{n+z}$$

z varía entre 0 y 1 dependiendo de la modulación codificada.

$$B_{RF} = \frac{(1 + \alpha) V_b}{\log_2 M} \Rightarrow \frac{(1 + \alpha) V_b}{\log_2 M} \left(\frac{n+1}{n+z} \right) \approx \frac{V_b}{n+z}$$

Esquema de modulación	Casos	Ancho de banda
BCM	96-BCM-4D (QAM -partición de 1 paso)	$V_b/6$
	88-BCM-6D (QAM -partición de 1 paso)	$V_b/6$
	16-BCM-8D (QAM -partición de 1 paso)	$V_b/3.75$
	80-BCM-8D (QAM -partición de 1 paso)	$V_b/6$
	128-BCM-8D (QAM -partición de 1 paso)	$V_b/6$
TCM	16-TCM-2D	$V_b/3$
	32-TCM-2D	$V_b/4$
	128-TCM-2D	$V_b/6$
	512-TCM-2D	$V_b/8$
	64-TCM-4D	$V_b/5.5$
MLCM	128-TCM-4D	$V_b/6.5$
	512-TCM-4D	$V_b/8.5$
	32-MLCM	$V_b/4.5$
QPR con AZD	64-MLCM	$V_b/5.5$
	128-MLCM	$V_b/6.5$
	9-QPR con detección coherente	$V_b/2$
	25-QPR con detección coherente	$V_b/3$
	49-QPR con detección coherente	$V_b/4$

BCM, block coded modulation; TCM, Trellis coded modulation; MLCM, multilevel coded modulation; QPR, quadrature partial response; AZD, ambiguity zone detection

TSC-UNIOVI

Recursos de optimización de espectro

- Para atender a la demanda de incremento de capacidad de los nuevos servicios o los ya existentes:
 - **Agregación** de canal: múltiples portadoras transmitidas simultáneamente. Ej.: agregación desde un canal individual de 250MHz a canal de 1.25GHz en la banda de 71-76/81-86 GHz, sugerido por la Recomendación CEPT ECC0507.
 - **Diversidad en polarización** (re-uso de polarización). La discriminación de polarizaciones (XPD) tienes que ser suficiente para evitar interferencia y depende de los diagramas XP de las antenas. Existen cto. canceladores de interferencia XP.
 - **Diversidad espacial** (MIMO). Permite utilizar todas las componentes del receptor para cancelar interferencias. 2x2 MIMO puede duplicar la capacidad de un sistema convencional.

TSC-UNIOVI

Planes de frecuencia según ITU-R

- Planes de canalización o **planes de frecuencia** tienen el objetivo de **subdividir un trozo del espectro asignado en canales RF**, tal que el espectro de una señal modulada pueda estar contenido en cada canal.
- Para crear planes de frecuencia del servicio fijo => Recomendaciones serie F (Grupo de estudio ITU-R)
- Listado de bandas=> ITU-R F.746

Banda (GHz)	Intervalo Frecuencia (GHz)	Recommendatciones ITU-R Serie F	Separación de canal (MHz)
0.4	0.4061-0.430 0.41305-0.450	1567, Annex 1 1567, Annex 1	0.05; 0.1; 0.15; 0.2; 0.25; 0.6; 0.25; 0.3; 0.5; 0.6; 0.75; 1; 1.75; 3.5
1.4	1.35-1.53	1242	0.25; 0.5; 1; 2; 3.5
2	1.427-2.69 1.7-2.1; 1.9-2.3 1.9-2.3 1.9-2.3 1.9-2.3 2.3-2.5 2.29-2.67 .	701 382 1098 1098, Annexes 1, 2 1098, Annex 3 746, Annex 1 1243	0.5 29 3.5; 2.5 14 10 1; 2; 4; 14; 28 0.25; 0.5; 1; 1.75; 2; 3.5; 7; 14; 2.5

TSC-UNIOVI

Planes de frecuencia según CEPT y FCC

➤ Planes de canalización para el servicio fijo radio – CEPT/ECC

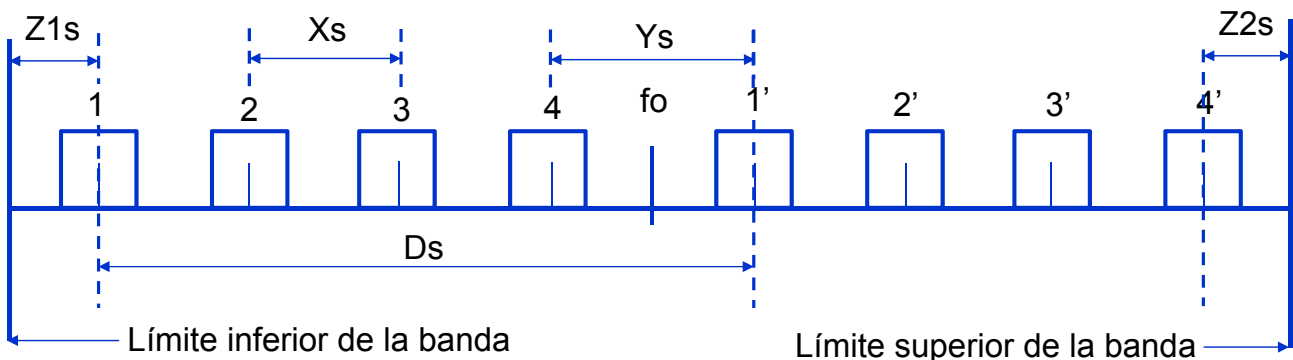
Banda de frecuencia (GHz)	Recomend. ECC	Canalización (MHz)
1.0–2.3	T/R 13–01	12, 1, 0.5, 0.25, 0.025, 3.5 // 14, 7, 3.5, 1.75
3.4–3.6	ERC/REC 14-03	14, 7, 3.5, 1.75
3.6–4.2	ERC/REC 12–08	20, 40 // 30, 15 // 14, 7, 3.5, 1.75
5.925–6.425	ERC/REC 14–01	29.65, 59.3
6.425–7.125	ERC/REC 14–02	40, 30, 20, 14, 7, 3.5
7.125–8.500	ECC/REC/(02)06	56, 28, 14, 7, 3.5, 1.75 // 59.3, 29.65

➤ Planes de canalización para el servicio fijo radio – FCC

Banda de frecuencia (MHz)	Canalización (MHz)
1850–1990	5, 10
2110–2130	Max. 3.5
2130–2200	0.8
2450–2500	630
3700–4200	20
5925–6425	0.4, 0.8, 1.25, 2.5, 3.75, 5, 10, 30
6425–6525	1, 8, 25
6525–6875	0.4, 0.8, 1.25, 2.5, 3.75, 5, 10
10550–10680	0.4, 0.8, 1.25, 2.5, 3.75, 5
10700–11700	1.25, 2.5, 3.75, 5, 10, 30, 40
17700–19700	1.25, 2, 2.5, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 80

Descripción de un plan de canalización RF

- Planes de canalización homogénea dividen la anchura de banda en 2.
- **Duplex** se realiza mediante multiplex por división en frecuencia (una mitad para Tx y otra para Rx). Canal de RF se compone de 2 subcanales f_n-f_n' (ej. f_1-f_1'). Canales de polariz cruzada se dibujan debajo del eje de frec.



- f_0 : frecuencia central.
- X_s : separación entre canales adyacentes en la misma dirección de transmisión y en la misma polarización.
- Y_s : separación entre frec. centrales de Tx y Rx más próximos.
- Z_s : bandas de guarda.
- D_s : distancia dúplex Tx-Rx (separación frecs Tx y RX del mismo canal).

Opciones de canalización

- 3 tipos de esquemas homogéneos de :
 - a) alternada
 - b) con reúso de banda cocanal
 - c) con reúso de banda intercalada
- A elegir en función de interferencias, eficiencia de espectro y tipo de equipamiento. En particular, será función de XPD y de la **discriminación por filtro de red, NFD** (valores que contribuyen a la relación de portadora sobre interferencia):

$$XPD_{H(V)} = \frac{\text{Potencia recibida en polariz H(V), transmitida en H(V)}}{\text{Potencia recibida en polariz cruzada V(H), transmitida en H(V)}}$$

$$NFD = \frac{\text{Potencia recibida de canal adyacente}}{\text{Potencia recibida de canal adyacente tras filtrar RF, IF y BB}}$$

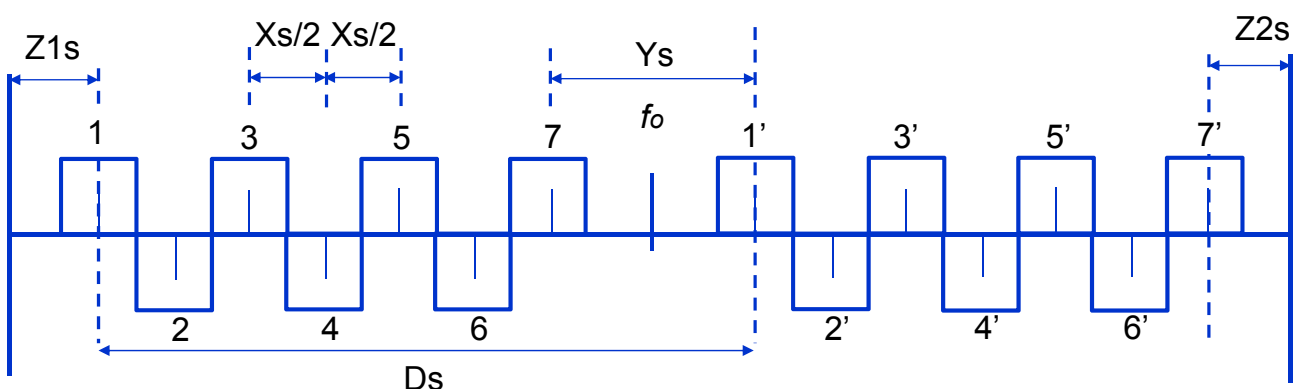
TSC-UNIOVI

Canalización alternada

- Canales adyacentes en polarización cruzada. Igual polarización cada dos canales.
- La contribución del canal adyacente al nivel de interferencia es reducido.
- Para usar esta configuración, debe cumplirse: $XPD_{\min} + (NFD - 3) \geq (C/I)_{\min}$

$(C/I)_{\min}$: relación portadora a interferencia mínima aceptable para el tipo de modulación adoptada y BER dado.

- Es el patrón más utilizado en las recomendaciones ITU. Es simple, económico e implementable en la mayor parte de equipos. Al no haber reúso de polarización, no es el patrón más eficiente en cuanto a espectro.



TSC-UNIOVI

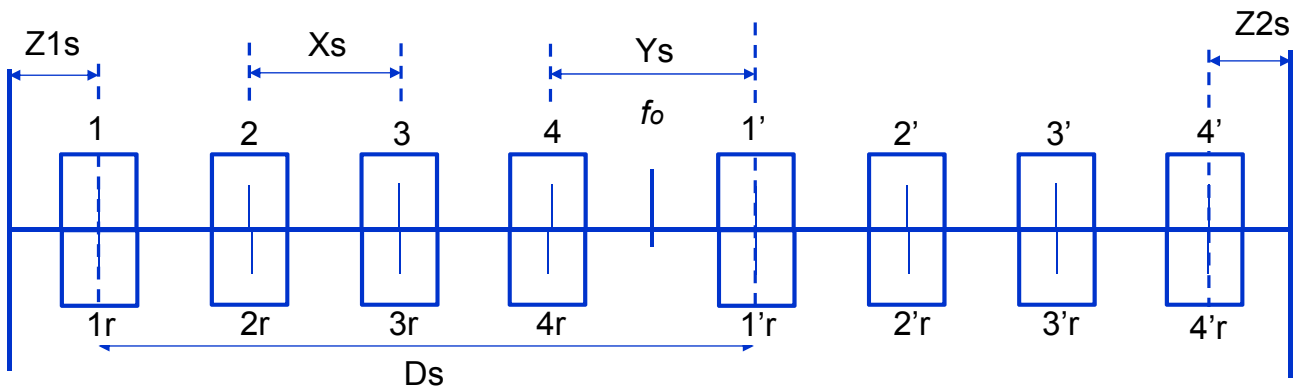
Canalización con reuso de banda cocanal

- En cada salto del enlace, cada canal se reusa 2 veces, una vez en polarización cruzada para el tráfico opuesto.
- Configuración para uso intensivo del espectro de la banda.
Recomendación ITU-R 746.
- Los requisitos de uso son más estrictos:

XIF: factor de mejora del XPD (contramedidas de interf. por XP, implementadas en el RX)

NFDa: NFD con separación X_s

$$10\log \frac{1}{\frac{1}{10^{\frac{XPD+XIF}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{NFD\alpha-3}{10}}}} \geq (C/I)_{\min}$$



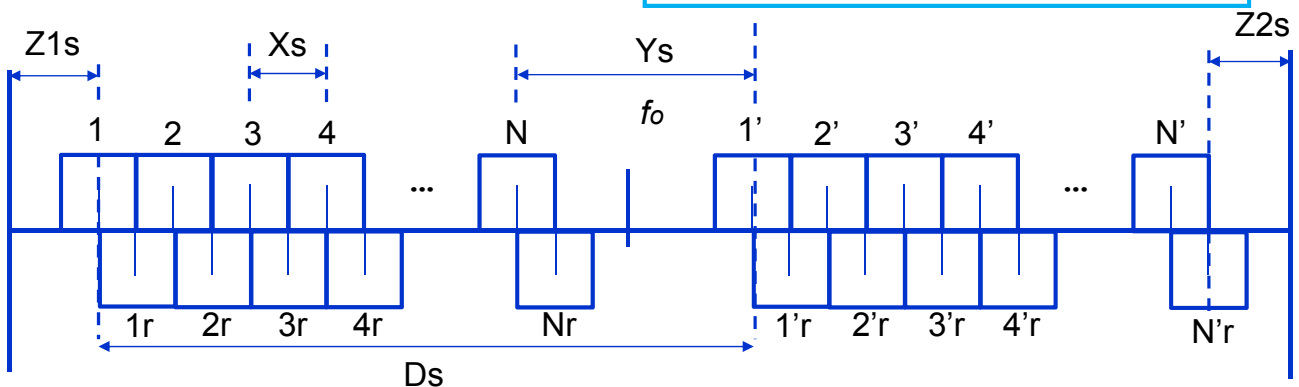
TSC-UNIOVI

Canalización con reuso de banda intercalada (entrelazada)

- Solución intermedia entre el esquema alternado y el reuso cocanal.
- Optimiza el ancho de banda respecto del alternado y limita la potencial interferencia por XP.
- Utilizado para sistemas de poca capacidad (ancho de banda de señal menor que separación de canales)
- Recomendación ITU-R 746 =>

NFDb: NFD con separación $X_s/2$

$$10\log \frac{1}{\frac{1}{10^{\frac{XPD+(NFD_b-3)}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{NFD\alpha-3}{10}}}} \geq (C/I)_{\min}$$



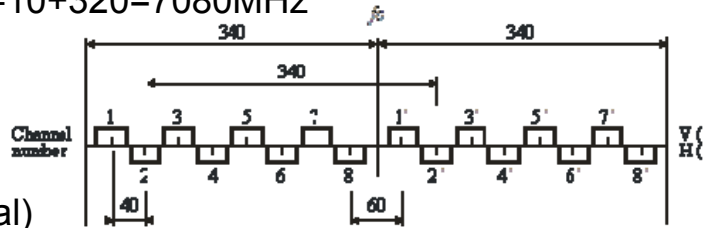
TSC-UNIOVI

Ejemplo: Plan para la banda alta de 6 GHz (6,425-7,125 MHz)

Recommendation ITU-R F.384-11 (03/2012)

1) Canalización *alternada* con espaciado entre canales de 40 MHz, y 8 canales de ida y 8 de vuelta.

- Es el principal esquema de la recomendación y se ajusta a tasas binarias netas del orden de 140 Mb/s para PDH o STM-1 de SDH. Pasos:
- Subdivisión banda en dos y asignación de frecs. de subcanales:
- Canales sub-banda inferior: $f_n = f_0 - 350 + 40 \cdot n$ $n = 1, 2, \dots, 8$
- Canales sub-banda superior: $f_{n'} = f_0 - 10 + 40 \cdot n$
- Distancia entre canales adyacentes: $X_s/2 = 40$ MHz
- $7125 - 6425 = 700$ MHz, 2 subbandas de 345 MHz y 355 MHz;
- Preferible $f_0 = 6770$ MHz;
- $f_1 = f_0 - 350 + 40 = 6460$ $f_{1'} = f_0 - 10 + 40 = 6800 \Rightarrow D_s = 340$ MHz (distan. dúplex)
- $f_8 = f_0 - 350 + 320 = 6740$ MHz $f_{8'} = f_0 - 10 + 320 = 7080$ MHz
- $Y_s = f_{1'} - f_8 = 60$ MHz
- $Z_{1s} = 6460 - 6425 = 30$ MHz
- $Z_{2s} = 7125 - 7080 = 45$ MHz
- (existe la opción de reuso cocanal)

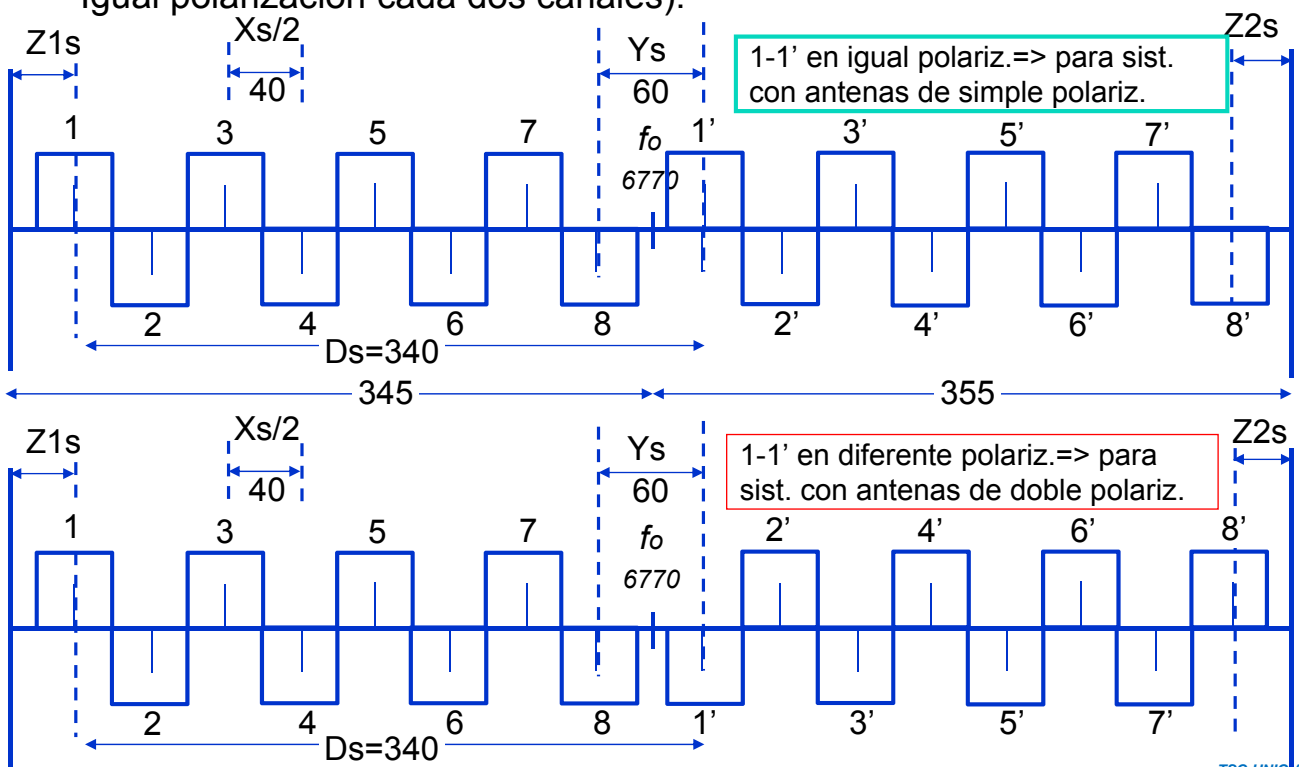


(Fig de la F.384-11 (posible error en bandas) 0384-1)

Ejemplo: Plan para la banda alta de 6 GHz (6,425-7,125 MHz)

Recommendation ITU-R F.384-11 (03/2012)

- Con canalización *aternada* (Canales adyacentes en polarización cruzada. Igual polarización cada dos canales):



Ejemplo: Plan para la banda alta de 6 GHz (6,425-7,125 MHz)

Recommendation ITU-R F.384-11 (03/2012)

2) Canalización *alternada* con espaciado entre canales de 20MHz, y hasta 16 canales (16 de ida y 16 de vuelta)

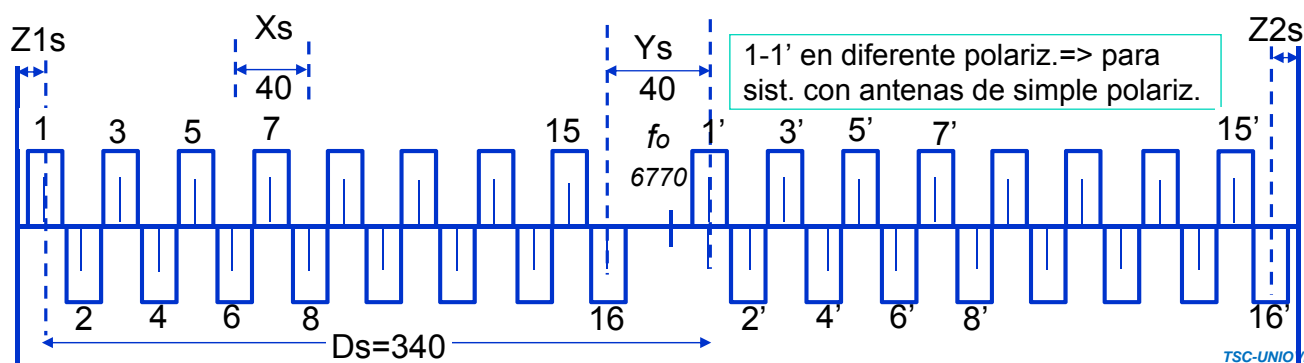
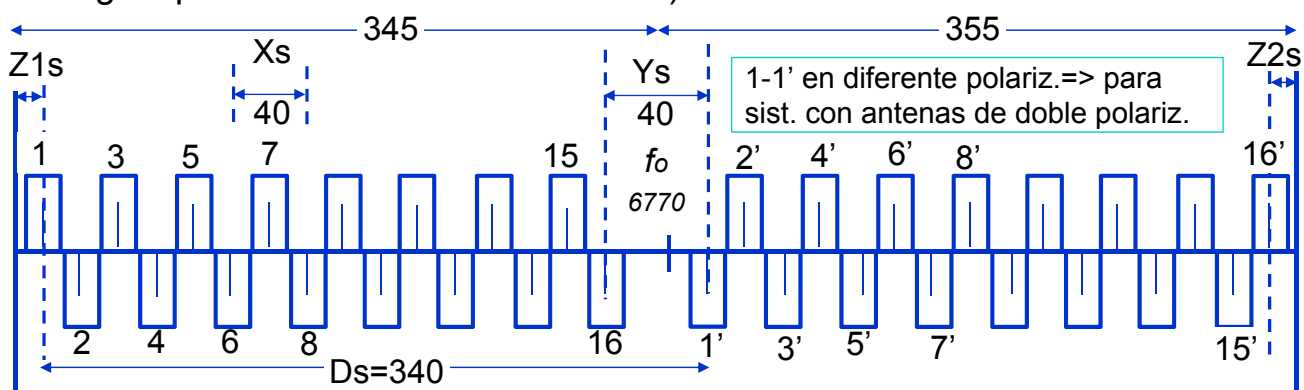
- Capacidad media de PDH o SDH. De igual manera que el caso anterior:
- Subdivisión banda en dos y asignación de frecs. de subcanales:
- Canales sub-banda inferior: $f_n = f_o - 350 + 20 \cdot n$ $n = 1, 2, \dots, 16$
- Canales sub-banda superior: $f_n = f_o - 10 + 20 \cdot n$
- Distancia entre canales adyacentes $X_s/2 = 20$ MHz
- $7125 - 6425 = 700$ MHz, 2 subbandas de 345 MHz y 355 MHz;
- Preferible $f_o = 6770$ MHz;
- $f_1 = f_o - 350 + 20 = 6440$ $f_1' = f_o - 10 + 20 = 6780 \Rightarrow D_s = 340$ MHz (distan. dúplex)
- $f_8 = f_o - 350 + 320 = 6740$ MHz $f_8' = f_o - 10 + 320 = 7080$ MHz
- $Y_s = f_1' - f_8 = 40$ MHz
- $Z_1s = 6440 - 6425 = 15$ MHz
- $Z_2s = 7125 - 7080 = 45$ MHz
- (existe la opción de reuso cocanal)

TSC-UNIOVI

Ejemplo: Plan para la banda alta de 6 GHz (6,425-7,125 MHz)

Recommendation ITU-R F.384-11 (03/2012)

- Con canalización *alternada* (Canales adyacentes en polarización cruzada. Igual polarización cada dos canales):



TSC-UNIOVI

Ejemplo: Plan para la banda alta de 6 GHz (6,425-7,125 MHz)

Recommendation ITU-R F.384-11 (03/2012)

3) Canalización *alternada* con espaciado entre canales de 30MHz, y hasta 10 canales.

- Capacidad sobre 155 Mbit/s (PDH) o cualquier tasa de SDH.
- $f_0=6770$ MHz; 2 subbandas de 350 MHz;
- Canales de la sub-banda inferior: $f_n=f_0-340+30*n$ $n=1,2,...,10$
- Canales de la sub-banda superior: $f_n=f_0+30*n$

4) Canalización *alternada* con espaciado entre canales de 10MHz, y hasta 32 canales.

- Canales de la sub-banda inferior: $f_n=f_0-340+10*n$ $n=1,2,...,32$
- Canales de la sub-banda superior: $f_n=f_0+10*n$

5) Canalización *alternada* con espaciado entre canales de 5MHz, y hasta 64 canales.

- Canales de la sub-banda inferior: $f_n=f_0-340+5*n$ $n=1,2,...,64$
- Canales de la sub-banda superior: $f_n=f_0+5+5*n$

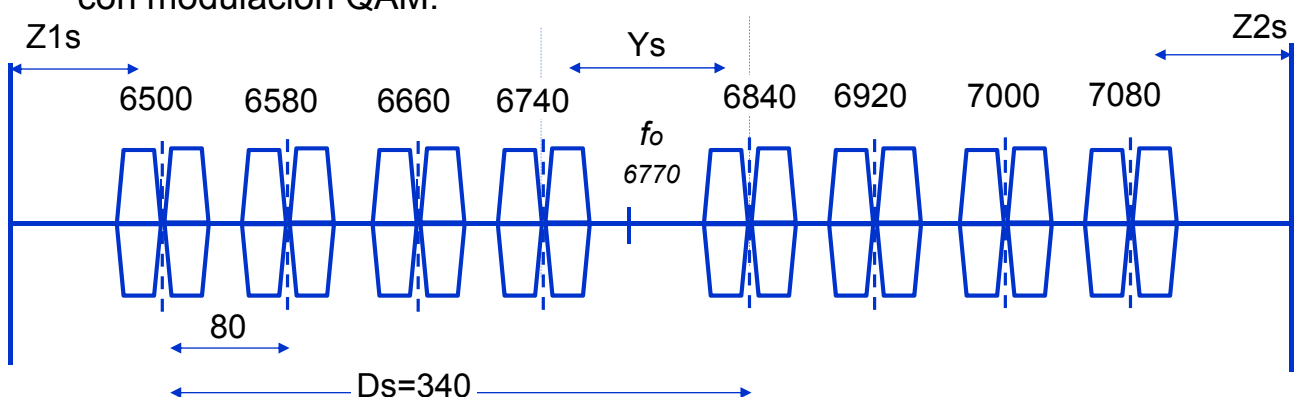
TSC-UNIOVI

Ejemplo: Plan para la banda alta de 6 GHz (6,425-7,125 MHz)

Recommendation ITU-R F.384-11 (03/2012)

6) Canalización con transmisión de *multiportadora*

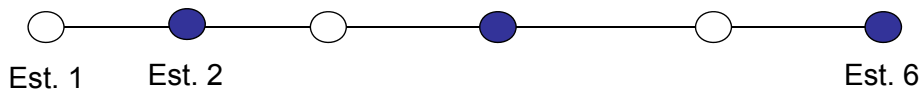
- Basado en la canalización *alternada* de recom. 1, 2 y 4
- Canales agregados con frecuencias centrales (recom. 1):
- $f_n=f_0-350+40*n$, $n=2,4,6,8$. $f_1=6770-270=6500$ $f_1'=6770-10+80=6840$
- Canales agregados a $\pm 17,15$ MHz
- Separación entre canales adyacentes: 80MHz
- Permitiría la transmisión copolar de señales $2x2x155.52$ Mbit/s (4xSTM-1) con modulación QAM.



TSC-UNIOVI

Asignación de canales radio (plan con 2 sub-bandas)

- Objetivos:
 - uso eficiente del espectro => reuso tanto como sea posible
 - protección contra interferencias (internas y externas); uso de polarización cruzada y su discriminación.
 - minimizar coste equipamiento
 - Consideración de sistemas existentes y futuros.
- Banda baja (banda A): canales f_n ; banda alta (banda B): canales f_n'
- estaciones que Tx en banda A => estación A
- estaciones que Tx en banda B => estación B
- Asignación de una subbanda en **topología lineal** (ej. red "backbone"):
- uso eficiente del espectro => reuso tanto como sea posible



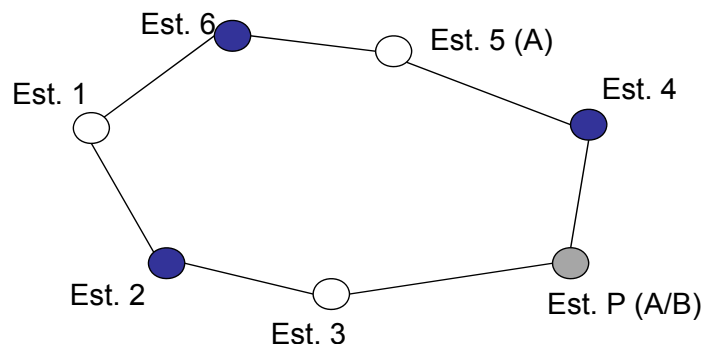
- Una vez que se elige el tipo de estación (A o B) las demás se van alternando automáticamente (no se consideran repetidores pasivos)

TSC-UNIOVI

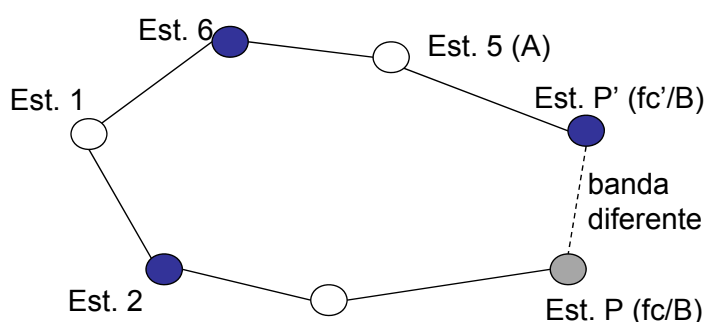
Asignación de canales radio

- Asignación de una subbanda en **topología en anillo**
- Caso de num de estaciones par: similar al de topología línea (alternando).
- Caso de núm de estaciones impar:

- Uso de **una única banda** de frecuencia => se elige una estación P como dual (A/B, Tx y Rx en ambas subbandas); el resto se hace alternando de manera diferente en cada dirección del anillo.



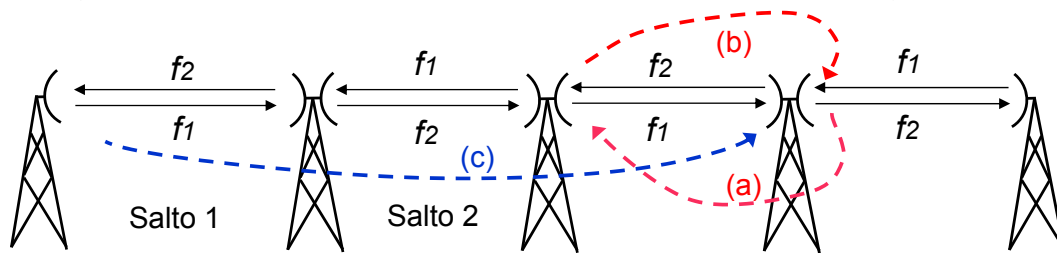
- Uso de **dos bandas** de frecuencia => se elige una banda para un enlace (el más corto y banda más alta $f_c - f_c'$) y la otra banda para el resto de enlaces. Las asignaciones a estaciones se hace de forma alternada.



TSC-UNIOVI

Asignación de canales radio (plan con 2 frecuencias)

- Se usan sólo 2 frecuencias en cada salto (canal) bidireccional del radioenlace (f_1, f_2), y son las mismas en cada salto.
- Las frecuencias de Tx y Rx en cada estación son las mismas.
- Ej: asignación de 2 frec con 4 saltos, 2 estac terminales y 3 repetidoras

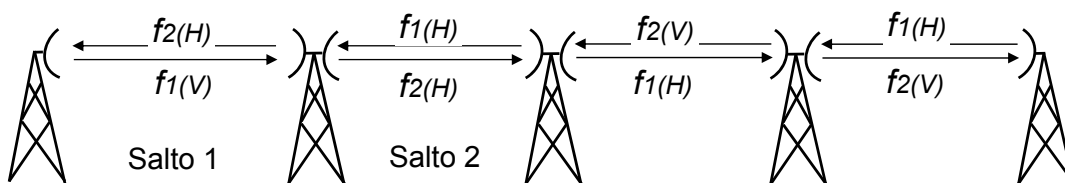


- Al tener máximo reúso, puede producir interferencia cocanal entre estaciones vecinas (a, b) o alternadas por sobrealcance (c).
- Para minimizar el efecto de (a, b) es necesario el uso de antenas directivas con altas relaciones delante-detrás ("front to back ratio")

TSC-UNIOVI

Asignación de canales radio (plan con 2 frecuencias)

- También se puede alternar la polarización en cada salto para mitigar interferencia.



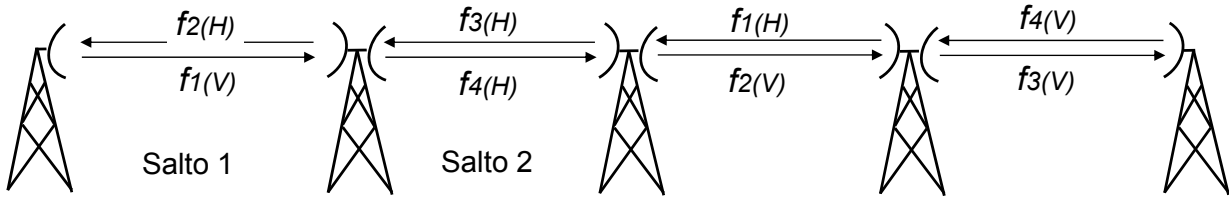
- En el caso de sistemas $N(\text{activos})+M(\text{redundantes})$, la asignación de frecuencia debe hacerse considerando frecuencias disponibles y necesidades futuras.
- La separación de canales se indican en las recomendaciones de ITU-R.
- Con diversidad de frecuencia los pares se elegirán de acuerdo a la correlación de desvanecimiento con frecuencias del enlace.
- Otra opción al ejemplo de arriba (sin sobrealcance):

Est 1				Est 2				Est 3				Est 4				Est 5	
Rx	<	f_2	H	<	Tx	Rx	<	f_1	H	<	Tx	Rx	<	f_2	V	<	Tx
Tx	>	f_1	V	>	Rx	Tx	>	f_2	H	>	Rx	Tx	>	f_1	H	>	Rx

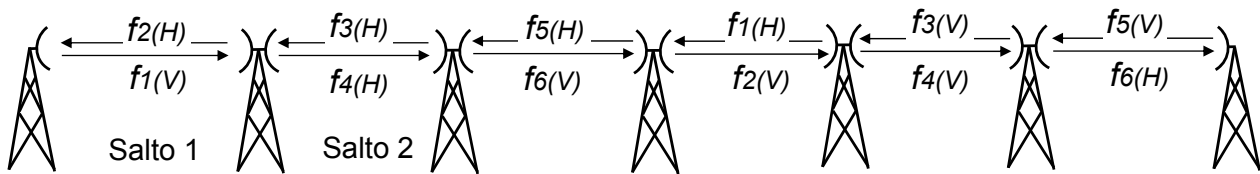
TSC-UNIOVI

Asignación de canales radio (plan con 4 y más frecuencias)

- Cuando la discriminación de contrapolar (XPD) no es suficiente para mitigar la interferencia, habría que usar un nuevo par de frecuencias, **alternando frecuencias y polarizaciones cada 2 saltos**. Esta configuración se denomina plan de asignación de 4 frecuencias



- Si no es suficiente para mitigar interferencias habría que utilizar 3 pares de frecuencias (plan a 6 frecuencias). **Los 3 pares de frec se reutilizan en los últimos 3 saltos cambiando de polarización.**



TSC-UNIOVI

Comentarios sobre asignación de canales radio

- La correcta selección de banda de frecuencias y su asignación (en el Servicio Fijo, FS) depende de:
 - Aspectos **regulatorios**: disponibilidad de bandas nacionales para el FS y requisitos de licencia
 - Aspectos **técnicos**: el factor limitante es la distancia del salto o vano. Para una determinada distancia hay una frec máxima en función de condiciones climáticas (lluvia por encima de 10GHz), y de la disponibilidad del enlace. También depende de la evolución de la red, la tasa binaria, tipo de modulación, equipo e interferencias.
- Depende de la información disponible y típicamente es un proceso iterativo, donde conviene empezar con el menor número de frecuencias.

TSC-UNIOVI