

# **INGENIERIA DE ACCESO CELULAR**

## **Redes de Acceso**

Ing. Natalia Pignataro

Ing. José Acuña

2023



# AGENDA

1. Evolución de los sistemas celulares
2. Arquitectura
3. Características de la red celular
4. Planificación y Optimización de la red

The background features a series of concentric, semi-transparent circles in shades of gray and white, centered in the upper half of the slide. A solid horizontal bar with a gradient from orange to yellow spans the width of the slide, positioned below the text.

# **1. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CELULARES**

# EVOLUCION DE LOS TERMINALES

**El primer teléfono móvil aparece en 1973, era del tamaño de un ladrillo y solo soportaba voz analógica**

**90's los teléfonos móviles redujeron su tamaño drásticamente y pueden soportar servicios de datos limitados y SMS**



**Hoy los smartphones y tabletas junto a las redes móviles tienden a ofrecer más ancho de banda para servicios de datos**



# EVOLUCION DE LAS REDES

- ⌘ Redes comerciales datan de 1970's – 1980's
- ⌘ Se clasifican según la "generación" que pertenecen
- ⌘ **Primera Generación (1G):**
  - ⌘ Sistemas analógicos (técnicas de transmisión analógica)
  - ⌘ Baja eficiencia espectral
  - ⌘ Sin seguridad
  - ⌘ Sistemas incompatibles (sin posibilidad de roaming)

# EVOLUCION DE LAS REDES

- ⌘ Servicios de voz únicamente y de baja calidad
- ⌘ Terminales caros, penetración en el mercado menor al 10%
- ⌘ Tecnología predominante AMPS (Advanced Mobile Phone System): primer sistema utilizado en Uruguay por Ancel y Movicom por los 90's

| Tecnologías de 1er Generación de Telefonía Móvil |         |         |           |         |
|--|---------|---------|-----------|---------|
| Parámetros                                       | AMPS    | TACS    | NMT       | NTT     |
| Frecuencia Tx (MHz)                              |         |         |           |         |
| Base (DL)  | 869-894 | 935-960 | 462,5-467 | 870-885 |
| Móvil (UL)                                       | 824-849 | 890-915 | 452,5-457 | 925-940 |
| Espacio entre frecuencias Tx/Rx (MHz)            | 45      | 45      | 10        | 45      |
| Espacio entre canales (KHz)                      | 30      | 25      | 25        | 25      |
| Número de canales                                | 832     | 1000    | 180       | 600     |
| Cobertura radiobase (km)                         | 2-25    | 2-20    | 1,8-40    | 5-10    |
| Velocidad de transmisión (Kbps)                  | 10      | 8       | 1,2       | 0,3     |

# EVOLUCION DE LAS REDES

## ⚡ Segunda Generación (2G):

---

- ⚡ Sistemas Digitales
- ⚡ Sistemas: IS-136 (TDMA) y IS-95 (CDMA) y GSM
- ⚡ Mejor calidad y mayor capacidad para servicios de voz
- ⚡ Mayor seguridad, autenticación de usuario y cifrado
- ⚡ El dominante en El mercado es GSM

# EVOLUCION DE LAS REDES

## ⌘ GSM (Global System for Mobile Communications):

- ⌘ En 1991 se instala la primera red celular comercial GSM en Finlandia
- ⌘ GSM es un estándar europeo. Cuyo objetivo principal era **resolver los problemas de interoperabilidad de los sistemas** existentes
- ⌘ Esto resolvió problemas de Roaming
- ⌘ Favoreció economías de escala tanto para proveedores de equipos de red como para terminales
- ⌘ Nuevos servicios: fax, SMS, servicios de datos
- ⌘ Servicios de datos limitados (surge 2.5G - GPRS/EDGE)
- ⌘ Ya está en plan de apagado 2018-2019

# EVOLUCION DE LAS REDES

## ⌘ Tercera Generación (3G: UMTS- HSDPA):

- ⌘ Sistemas orientados a servicios de datos  
velocidades del orden de 1 Mbps
- ⌘ Nuevos servicios, banda ancha móvil, video call, streaming
- ⌘ Mayor eficiencia espectral que 2G/2.5G
- ⌘ Esfuerzos en sacar el mejor provecho a la banda espectral disponible
- ⌘ Técnicas de acceso al medio WCDMA y OFDMA (WiMAX)
- ⌘ Tecnologías actuales UMTS, CDMA2000, WiMAX
- ⌘ Nuevas versiones 3.5G ó 3.7G tecnologías HSPA (5 Mbps)

## ⌘ **Cuarta Generación (LTE):**

- ⌘ Sistemas orientados a servicios de datos  
velocidades del orden de 10 Mbps
- ⌘ Nuevos servicios, video HD, banda ancha móvil, video call, streaming
- ⌘ Mayor eficiencia espectral que 3G
- ⌘ Esfuerzos en sacar el mejor provecho a la banda espectral disponible
- ⌘ Técnicas de acceso al medio OFDMA

## Quinta Generación (5G):

- ⌘ Sistemas orientados a servicios de datos  
velocidades del orden de 100 Mbps
- ⌘ Nuevos servicios, video HD, m
- ⌘ Mayor eficiencia espectral (10 bps/Hz),  
muchos dispositivos, baja latencia
- ⌘ Banda de 700 MHz, 3.5 GHz y mayor a 25 GHz
  
- ⌘ Técnicas de acceso al medio OFDMA

Internautas: 4,950 millones de personas, lo que representaba al 62,5% de la población mundial (7.910 millones de personas).

Celular: 75% de la población de mas de 10 años.



# INSTITUCIONES ESTANDARIZADORAS

**Coordinador global del sector de las telecomunicaciones en redes y servicios. Las recomendaciones ITU-T es uno de los 3 sectores de la UIT que cubre los estándares en el campo de las telecomunicaciones.**

<http://www.itu.int>



## **European Telecommunication Standard Institute**

**Fue el primer responsable de las especificaciones de GSM. Además jugó un rol importante en el desarrollo de los sistemas 3G. Principalmente desarrolla estándares de telecomunicaciones para Europa.**

<http://www.etsi.org/>

# INSTITUCIONES ESTANDARIZADORAS

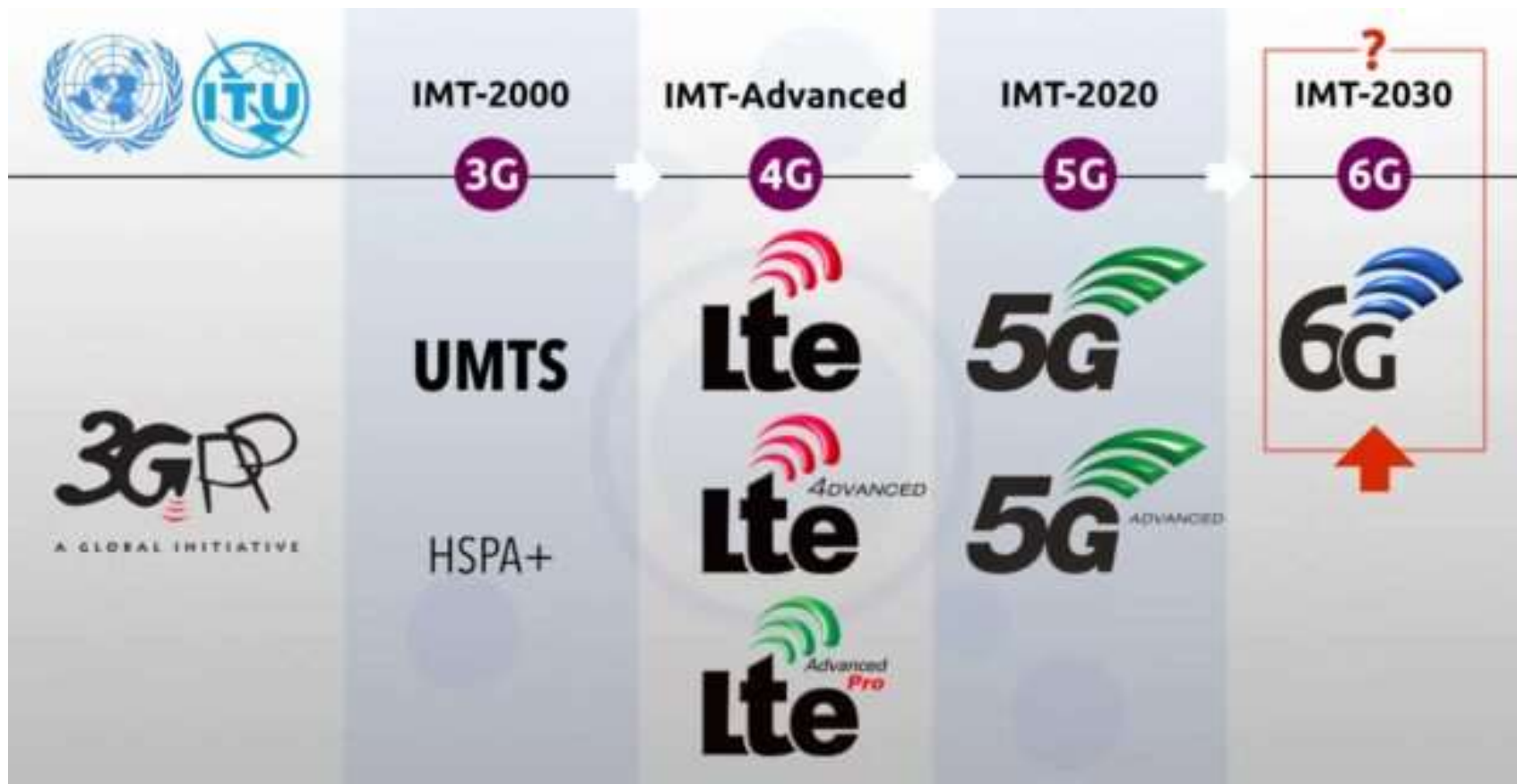
## **ANSI :**

**Provee un foro de más de 270 desarrolladores acreditados que representan aproximadamente 200 distinguidas organizaciones del sector público y privado de las telecomunicaciones. Responsable por el desarrollo de estándares en redes Americana. <http://www.ansi.org/>**



## **Third Generation Partnership Project**

**Creado para mantener el control total de las especificaciones de diseño y procesos de las redes de tercera generación y próximas <http://www.3gpp.org/>**

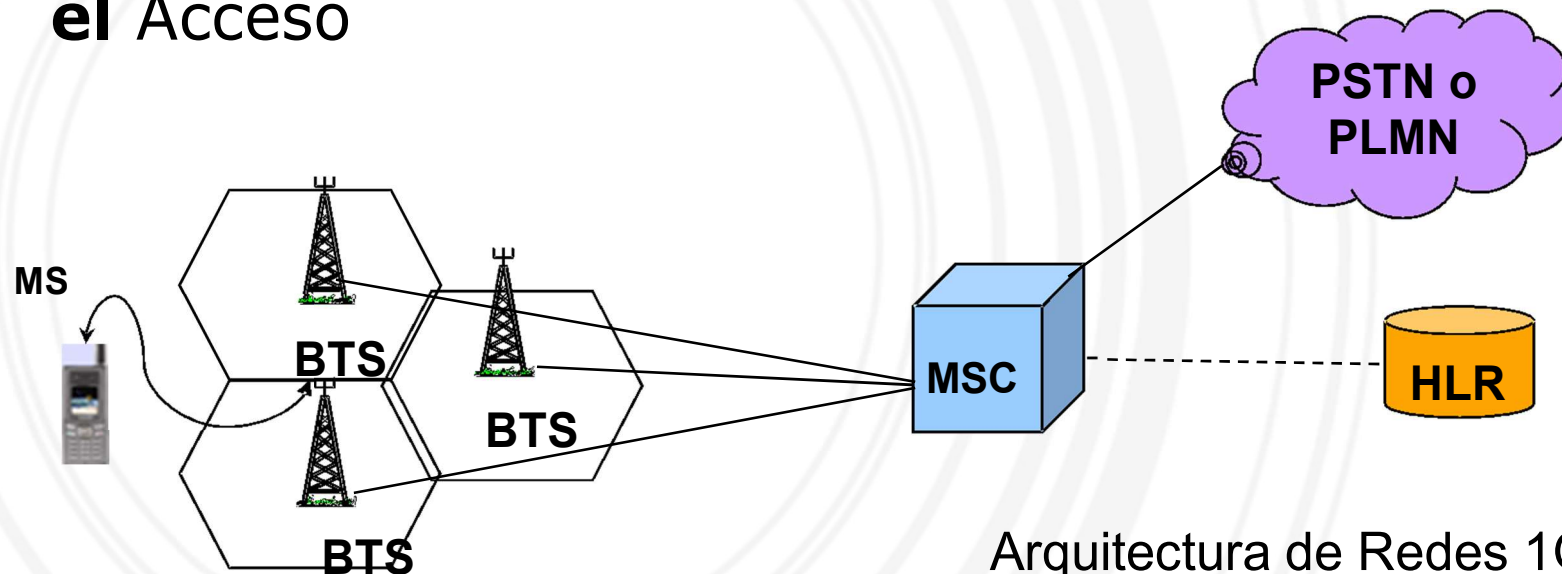


The background features a series of concentric, semi-transparent grey arcs that curve across the top half of the page. Below these arcs is a solid horizontal band with a color gradient from dark orange at the top to bright yellow at the bottom. The text '2. ARQUITECTURA BÁSICA' is centered horizontally and overlaid on the grey arcs.

## **2. ARQUITECTURA BÁSICA**

# ARQUITECTURA

- ⌘ Los elementos de la arquitectura de las redes celulares presentan algunas variantes según la tecnologías y las “generaciones”
- ⌘ En las primeras generaciones la “inteligencia” de la red se centraliza en las centrales (Core) y **paulatinamente se va descentralizando hacia el Acceso**



Arquitectura de Redes 1G

# ARQUITECTURA

## ⌘ **MS:** Mobile Station

- ⌘ Terminal móvil que permite al usuario la comunicación con la red móvil
- ⌘ Parámetros importantes: Potencia y sensibilidad del móvil, frecuencia de operación y "facilidades" que soporta

## ⌘ **BTS: Base Transceiver Station**

- ⌘ La radio base se encarga del control de la interfaz de radio con el terminal móvil
- ⌘ Se compone de equipos transmisores y receptores de radiofrecuencia, procesadores de la señal y elementos de outdoor como antenas, feeders y conectores.
- ⌘ Parámetros importantes: Potencia de tx, sensibilidad, capacidad, escalabilidad, etc

# ARQUITECTURA

## ⌘ **MSC:** Mobile Services Switching Center

- ⌘ La central celular cumple las funciones de conmutación telefónica de las redes móviles
- ⌘ Controla las llamadas desde y hacia otras redes, con otras redes móviles (PLMN) como con las redes fijas (PSTN)
- ⌘ VLR (Visitor Location Register). Base de datos de los usuarios de un MSC, es una base de datos temporaria

## ⌘ **HLR:** Home Location Register

- ⌘ Es una base de datos de usuarios centralizada
- ⌘ Almacena y maneja todas las suscripciones de los usuarios que pertenecen a un operador específico
- ⌘ La información de usuario incluye:
  - Identidad de Usuario (MSISDN)
  - Servicios suplementarios de los usuarios
  - Información de localización y (autenticación)

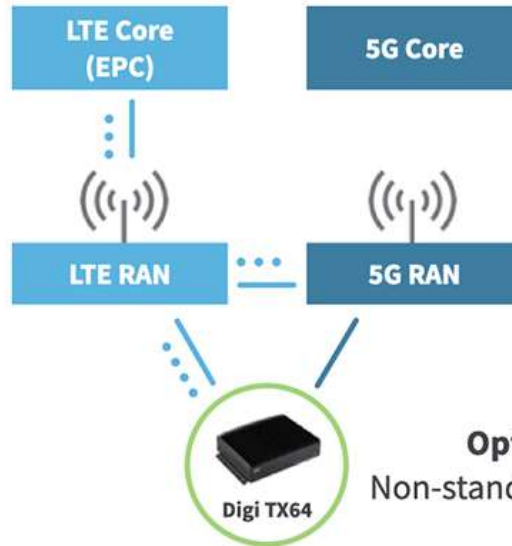


## 4G LTE



**Option 1**  
4G LTE EPC

## 4G/5G NSA



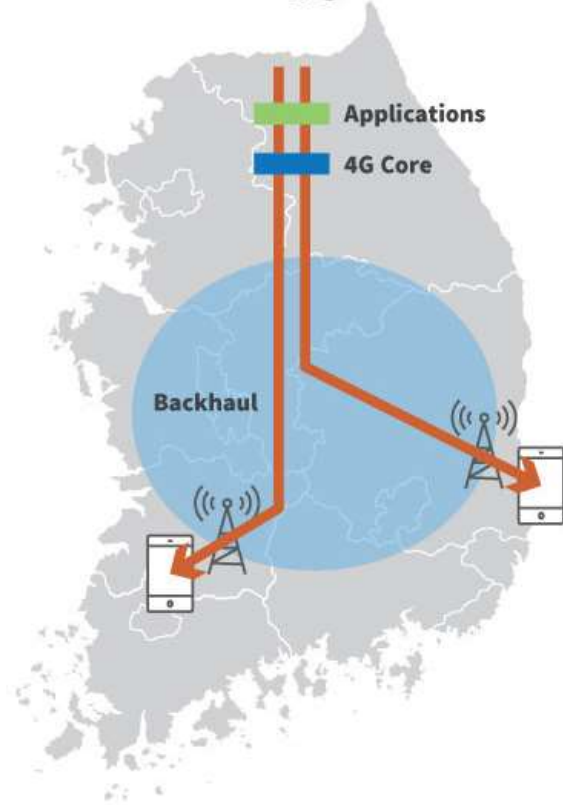
**Option 3**  
Non-standalone (NSA)

## 5G SA

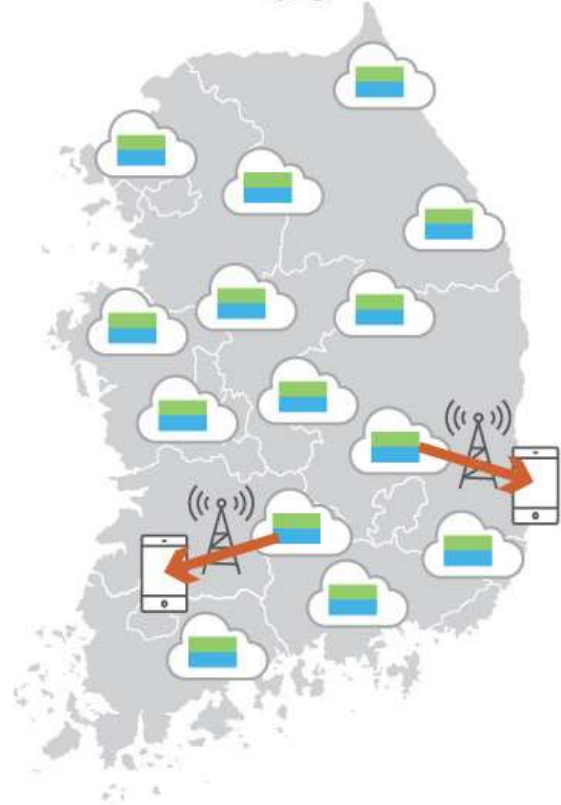


**Option 2**  
Stand-alone (SA)

# 4G



# 5G



Edge Cloud    Applications  
5G Core (User Plane)

# CURSO DE UNA LLAMADA

## ⌘ **Conexión del móvil:**

- ⌘ **El móvil explora los canales de control de las BTS's**
- ⌘ **Se sintoniza a aquella celda que reciba con mayor potencia**
- ⌘ **Se trasmite la identificación que se almacena en el VLR**
- ⌘ **La identificación y localización se almacena en el HLR**

## ⌘ **Llamada al móvil:**

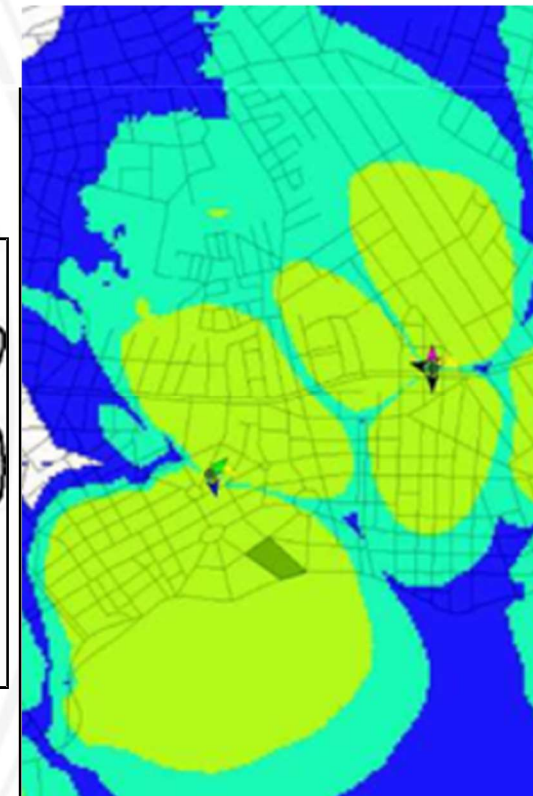
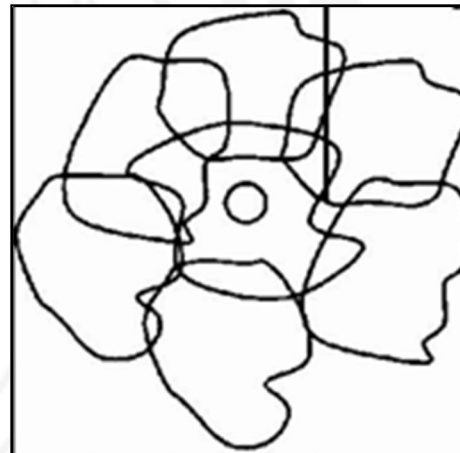
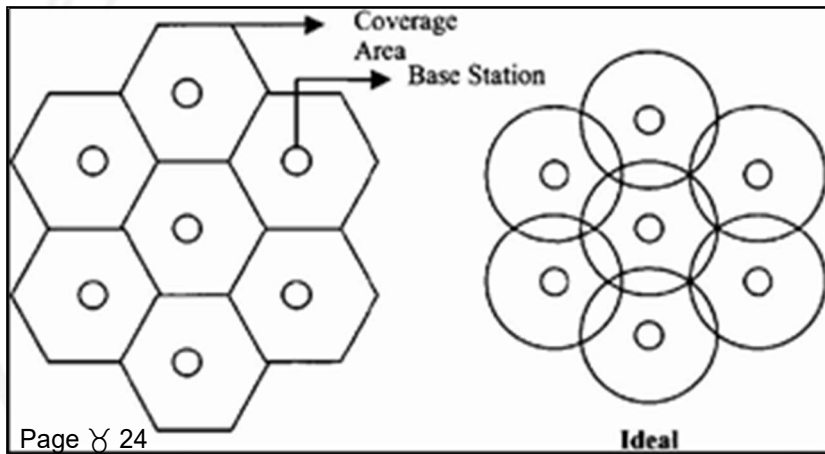
- ⌘ **Llega una llamada al móvil a través del MSC**
- ⌘ **El MSC consulta al HLR por la ubicación del móvil**
- ⌘ **Luego de obtener la ubicación, el MSC dispara un aviso por las radio bases de la zona reportada para alertar al móvil de la llamada ("paging")**
- ⌘ **El móvil contesta y se establece la comunicación**



### **3. CARACTERÍSTICAS DE LA RED CELULAR**

# RED DE ACCESO CELULAR

- ⌘ Celular - Celdas
- ⌘ Una celda es el área de cobertura de un sector (grupo de antenas)
- ⌘ Se representa como un **hexágono para simplificar la cobertura ideal**



# TIPO de CELDAS

⚡ Las radio bases (BTS) pueden tener más de una celda

⚡ Clasificación

⚡ Según la cantidad de sectores

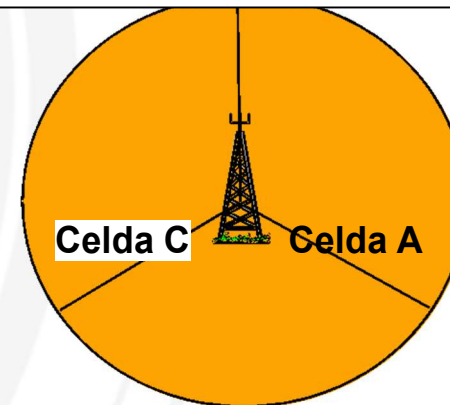
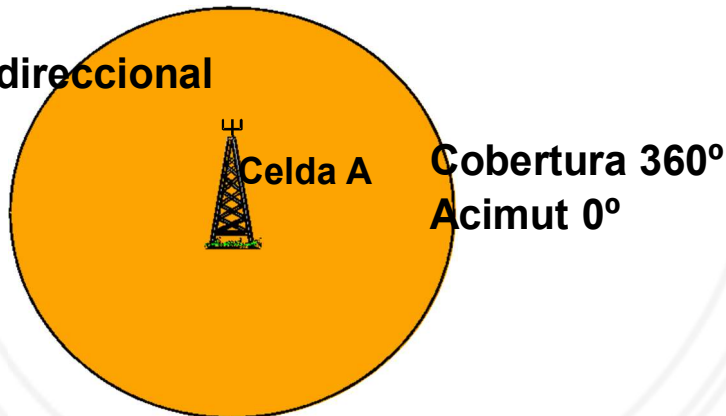
- Omni direccionales
- **Sectorizadas: 2 hasta 6 sectores. Siendo las más comunes de 3 sectores**

3 sectores

Acimut :  $0^{\circ}/120^{\circ}/240^{\circ}$

Cobertura  $120^{\circ}$  por celda

Omni direccional



# TIPO de CELDAS

⌘ Elementos de una Radiobase o Nodo B

⌘ Equipo de radiobase, transmisores combinadores, equipos de Tx, etc

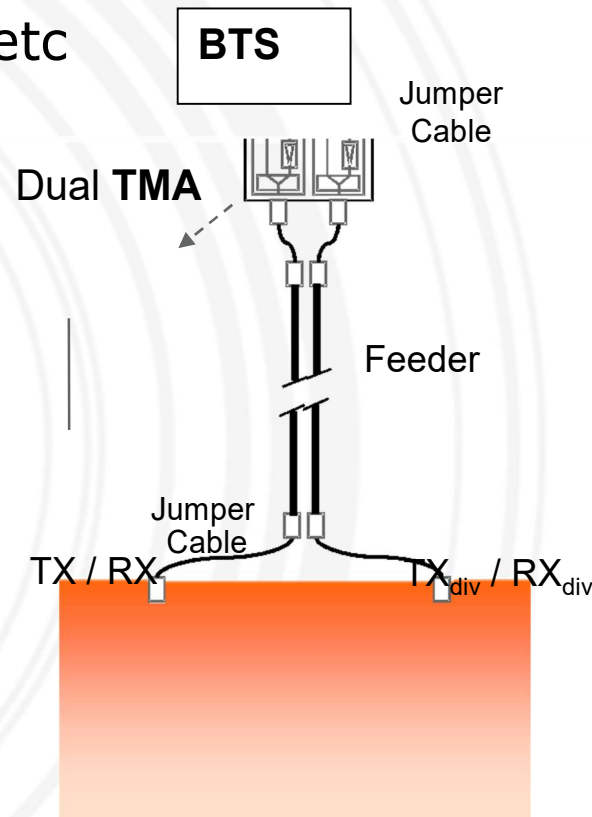
⌘ Elementos de outdoor:

⌘ Feeders

⌘ Antenas

⌘ TMA

⌘ Jumpers y conectores



Antenna  
Vertical  
Polarisation

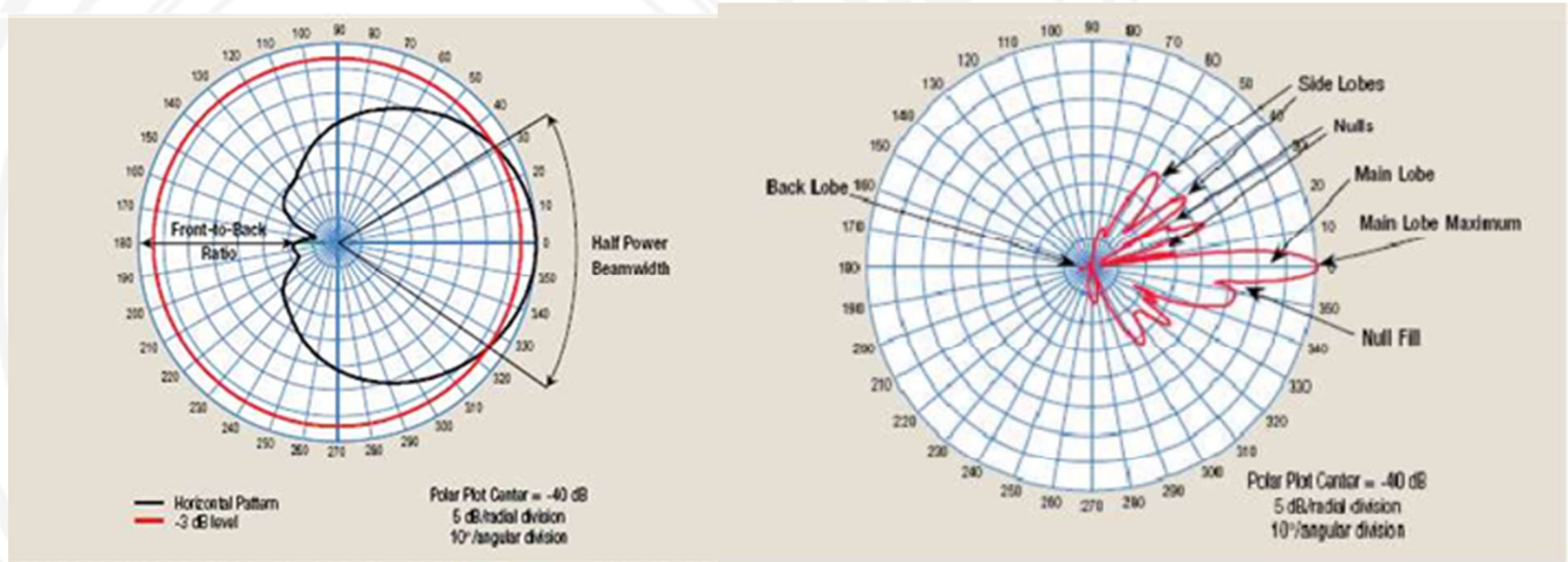




# SISTEMA RADIANTE

- ⌘ Posibles configuraciones de outdoor. Características a tener en cuenta:
  - ⌘ Ganancia de la antena
  - ⌘ Acimut de las antenas (dirección de máxima ganancia de la antena)
  - ⌘ **Apertura horizontal de la antena (cobertura "horizontal" de la celda)**
  - ⌘ Apertura vertical
  - ⌘ Tilt – eléctrico y mecánico (delimita el alcance de la celda)
  - ⌘ Polarización vertical ó polarización cruzada (diversidad de Rx)
  - ⌘ Relación frente espalda (reducir interferencia)
  - ⌘ Antenas más usadas en entornos urbanos: polarización cruzada, 65° HBW, tilt eléctrico

# SISTEMA RADIANTE



# SISTEMA RADIANTE

## ELECTRICAL

|                             |             |             |             |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Frequency (MHz) :           | 1710 - 1880 | 1850 - 1990 | 1920 - 2170 |
| Polarization :              | ±45°        | ±45°        | ±45°        |
| Gain (dBd/dBi) :            | 15.7/17.8   | 15.8/17.9   | 15.9/18     |
| Azimuth BW (Deg.):          | 67          | 65          | 63          |
| Elevation BW (Deg.):        | 7           | 6.5         | 6           |
| Beam Tilt (Deg.):           | 2           | 2           | 2           |
| USLS* (dB) :                | 18          | 19          | 17          |
| Front-To-Back Ratio* (dB) : | 28          | 30          | 30          |
| Isolation (dB) :            | >30         | >30         | >30         |
| VSWR :                      | <1.4:1      | <1.4:1      | <1.4:1      |
| PIM3 @ 2 x 20w (dBc) :      | -150        | -150        | -150        |
| Max. Input Power (Watts) :  | 250         | 250         | 250         |
| Impedance (Ohms) :          | 50          | 50          | 50          |
| Lightning Protection :      | DC Ground   | DC Ground   | DC Gro      |

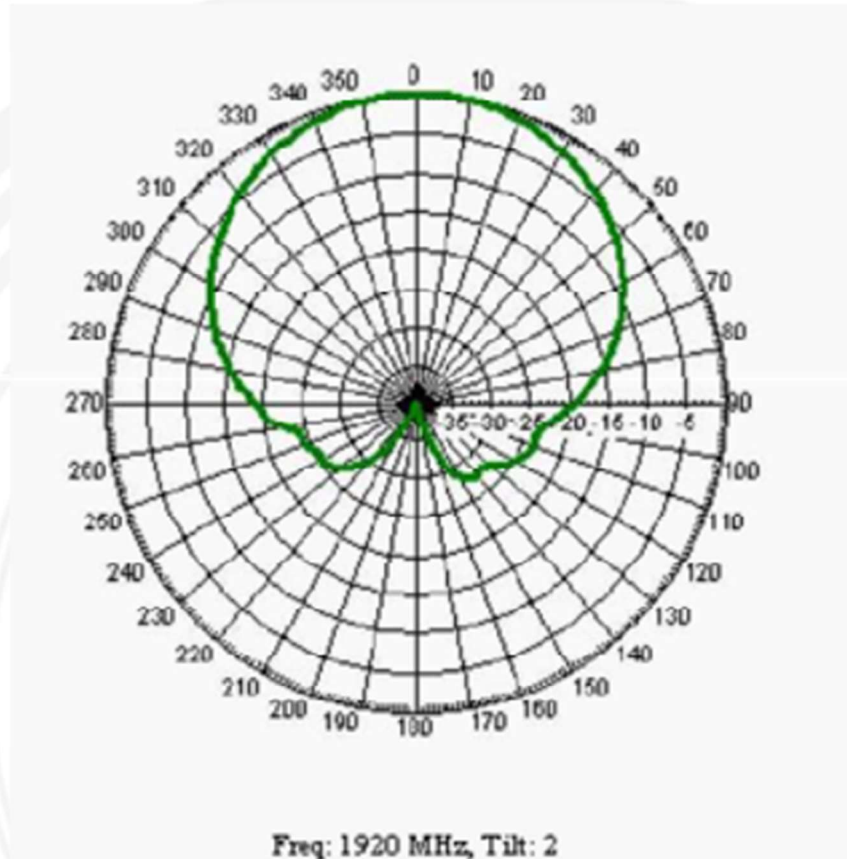
## MECHANICAL

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Weight :                     | 5.9 kg (13.2 lb)                            |
| Dimensions (LxWxD) :         | 1300 x 173 x 89 mm<br>(54.7 x 6.8 x 3.5 in) |
| Max. Wind Area :             | 0.12 m <sup>2</sup> (1.3 ft <sup>2</sup> )  |
| Max. Wind Load (@ 100 mph) : | 449.2 N (101 lbf)                           |
| Max. Wind Speed :            | 241 km/h (150 mph)                          |
| Hardware Material :          | Galvanized Steel                            |
| Connector Type :             | 7-16 DIN - Female<br>(2, Bottom)            |
| Color :                      | Off White                                   |
| Standard Mounting Hardware : | 602030A                                     |
| WeatherShield™ Enclosure :   | AWE-A12<br>(Must order separately)          |

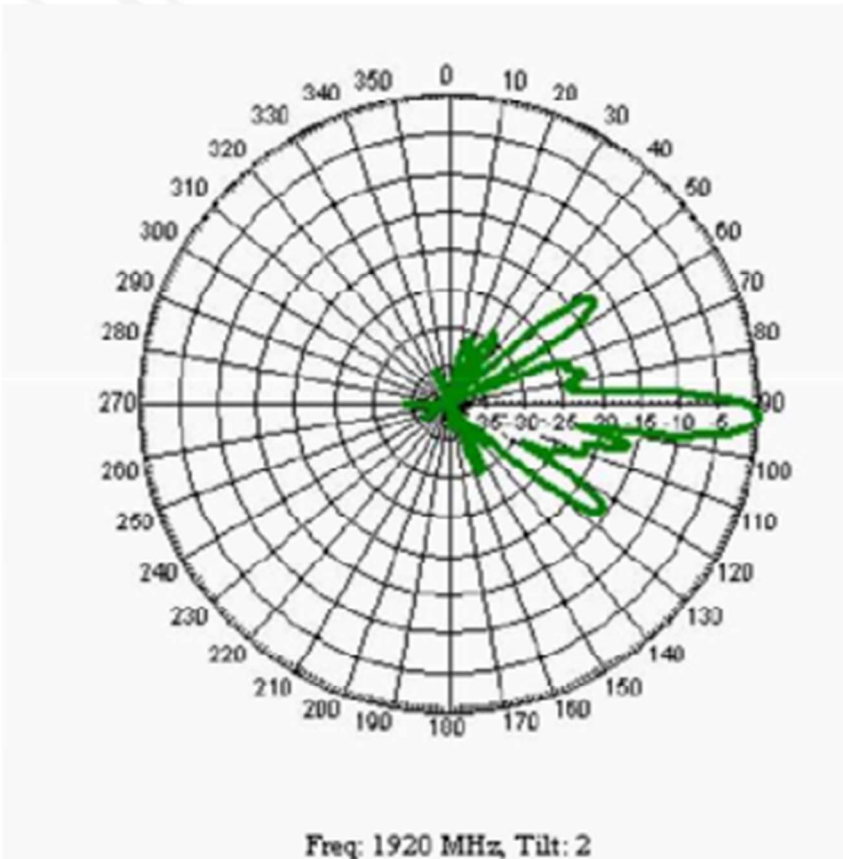


# SISTEMA RADIANTE

Patrón de radiación Horizontal



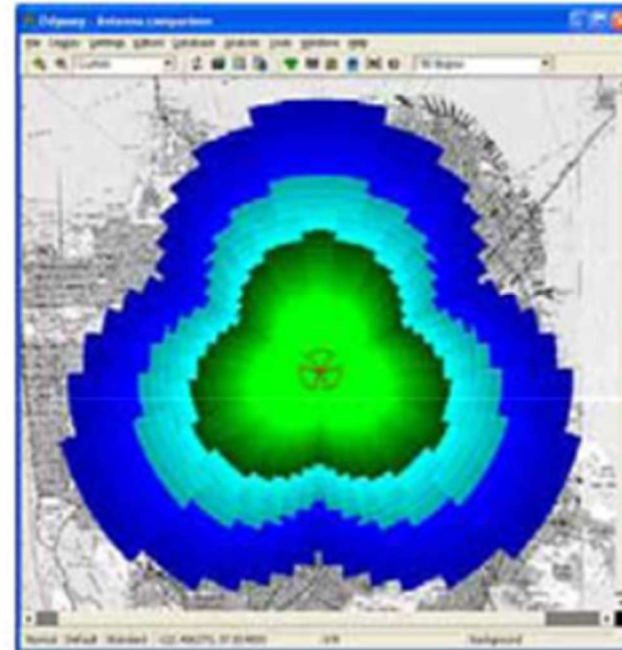
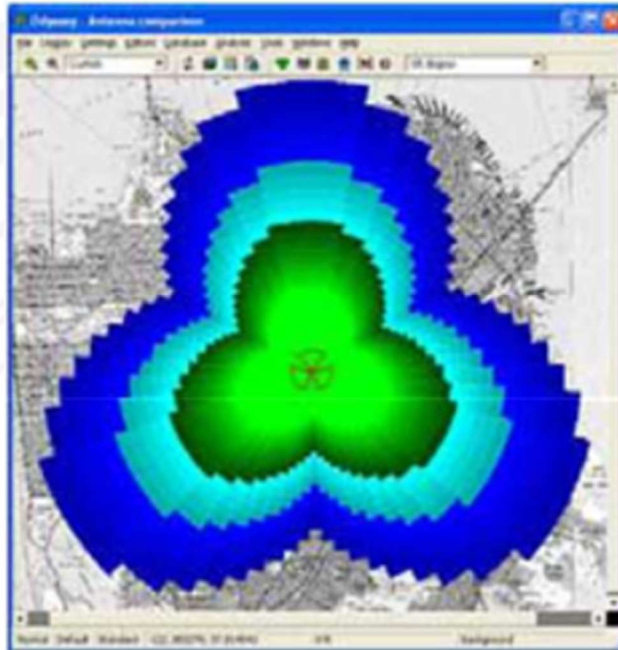
Patrón de radiación Vertical





# SISTEMA RADIANTE

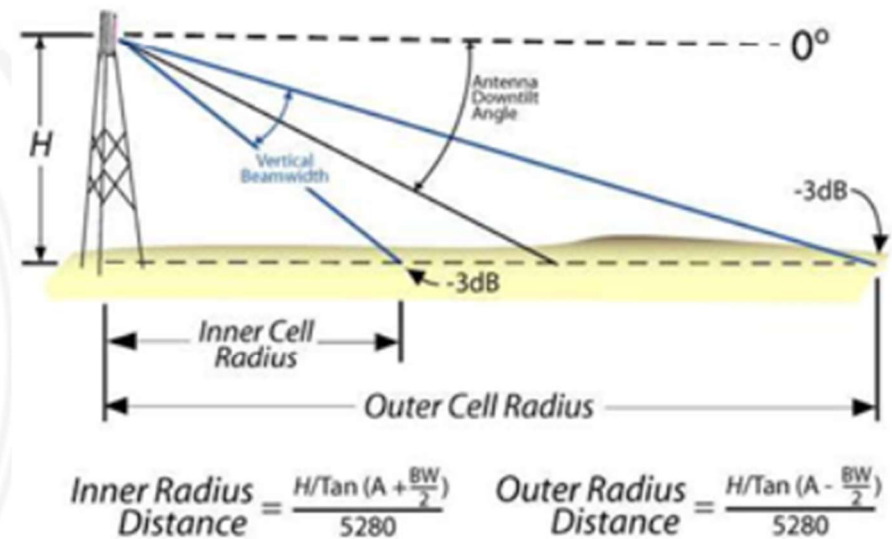
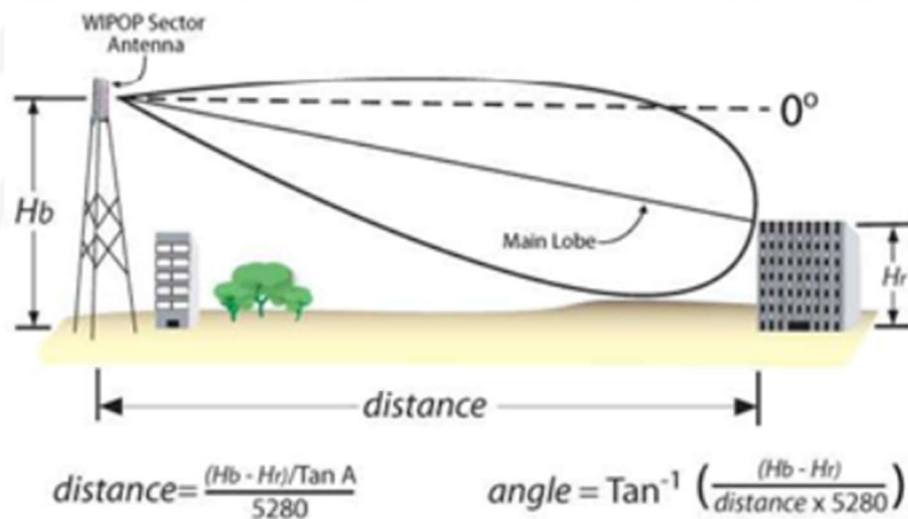
- ⌘ Cobertura de antenas: HBW 65° (G=18 dBi) vs. HBW 90° (G=16,8 dBi)



- ⌘ La Cobertura en las direcciones de mayor propagación (0°, 120°, 240°) es mejor con la antena de 65° por su ganancia (cerca de 1 dB mayor)
- ⌘ Para el área entre los sectores (60°, 180°, 300°) la mejor performance es la de 90° por mayor HBW, (2-3 dB mayor) logrando una cobertura mayor del área

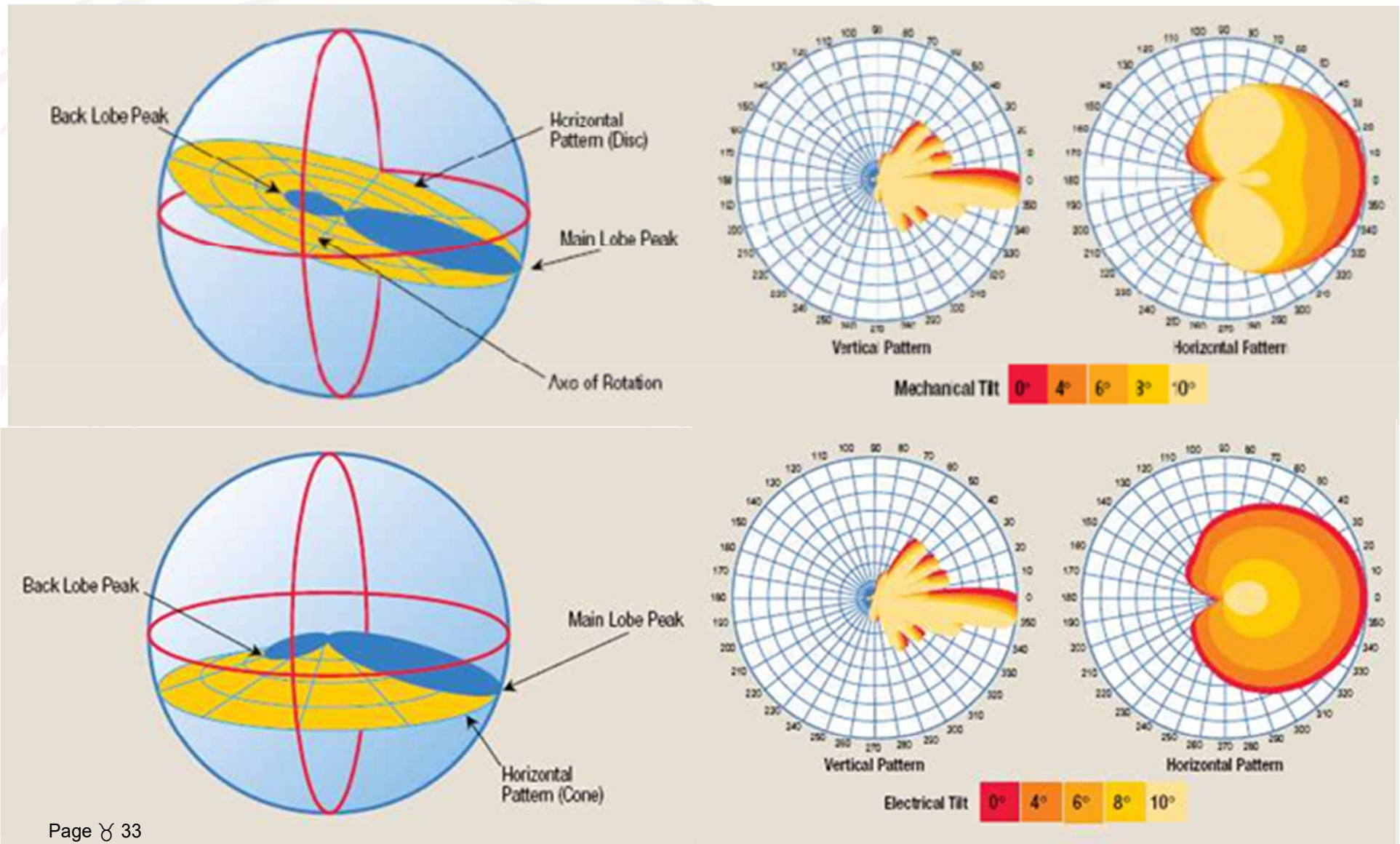
# SISTEMA RADIANTE

- ⌘ Tilt mecánico (se inclina la antena)
- ⌘ Tilt eléctrico (se modifica el patrón de radiación de la antena)
- ⌘ Cálculo del tilts



# SISTEMA RADIANTE

## Tilt Mecánico vs. Tilt Eléctrico





# TIPO de CELDAS

⌘ Según su alcance (Potencia de Tx – área de cobertura):

- **Pico-celdas:** Áreas de cobertura indoor (dentro de edificaciones)
- **Micro-celdas:** Áreas de cobertura reducida de decenas o cientos de metros (hasta 1Km). Zonas de alta densidad de tráfico como centros comerciales o grandes edificios
- **Macro-celdas:** Área de cobertura desde unos pocos kilómetros a 35 Km en el caso de sistemas GSM

# ESPECTRO RADIOELECTRICO

⌘ Es un recurso indispensable para el desarrollo de la industria de comunicaciones móviles y determinante de las posibilidades de desarrollo de nuevos servicios y tecnologías

⌘ Economía de escala en terminales

⌘ Mayores ancho de banda

## **Roaming**

⌘ Políticas nacionales relativas a su atribución a cada servicio resultan de suma importancia

⌘ Las diferentes bandas de frecuencias para los servicios móviles en los distintos países, constituye una barrera importante para la expansión del servicio a nivel internacional

# ESPECTRO RADIOELECTRICO

## ⌘ FDD : Frequency Division Duplex

Hay una banda de frecuencias separada para el sentido descendente (DL) donde transmite la radio base, y el sentido ascendente (UL) donde transmite el móvil

## ⌘ TDD : Time Division Duplex

**La separación entre sentido ascendente y descendente lo da el instante de tiempo en que se usa el espectro**

## ⌘ Cuando usamos FDD:

- ⌘ Parámetros de separación entre las bandas de frecuencia de UL y DL

- ⌘ La banda de frecuencias más baja se asocia al UL (ya que es el más comprometido – Tx móvil)

# ESPECTRO RADIOELECTRICO

Bandas definidas por 3GPP para FDD

| Operating band | Band name                            | Total spectrum | Uplink [MHz]    | Downlink [MHz]  |
|----------------|--------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Band 1         | 2.1 GHz                              | 2x60 MHz       | 1920-1980       | 2110-2170       |
| Band 2         | 1900 MHz                             | 2x60 MHz       | 1850-1910       | 1930-1990       |
| Band 3         | 1800 MHz                             | 2x75 MHz       | 1710-1785       | 1805-1880       |
| Band 4         | 1.7/2.1 GHz                          | 2x45 MHz       | 1710-1755       | 2110-2155       |
| Band 5         | 850 MHz                              | 2x25 MHz       | 824-849         | 869-894         |
| Band 6         | 800 MHz                              | 2x10 MHz       | 830-840         | 875-885         |
| Band 7         | 2.6 GHz                              | 2x70 MHz       | 2500-2570       | 2620-2690       |
| Band 8         | 900 MHz                              | 2x35 MHz       | 880-915         | 925-960         |
| Band 9         | 1700 MHz                             | 2x35 MHz       | 1749.9-1784.9   | 1844.9-1879.9   |
| Band 10        | Ext 1.7/2.1MHz                       | 2x60 MHz       | 1710-1770       | 2110-2170       |
| Band 11        | 1500 MHz                             | 2x25 MHz       | 1427.9 - 1452.9 | 1475.9 - 1500.9 |
| Band 12        | Lower 700 MHz                        | 2x18 MHz       | 698-716         | 728-746         |
| Band 13        | Upper 700 MHz                        | 2x10 MHz       | 777-787         | 746-756         |
| Band 14        | Upper 700 MHz, public safety/private | 2x10 MHz       | 788-798         | 758-768         |

# ESPECTRO RADIOELECTRICO

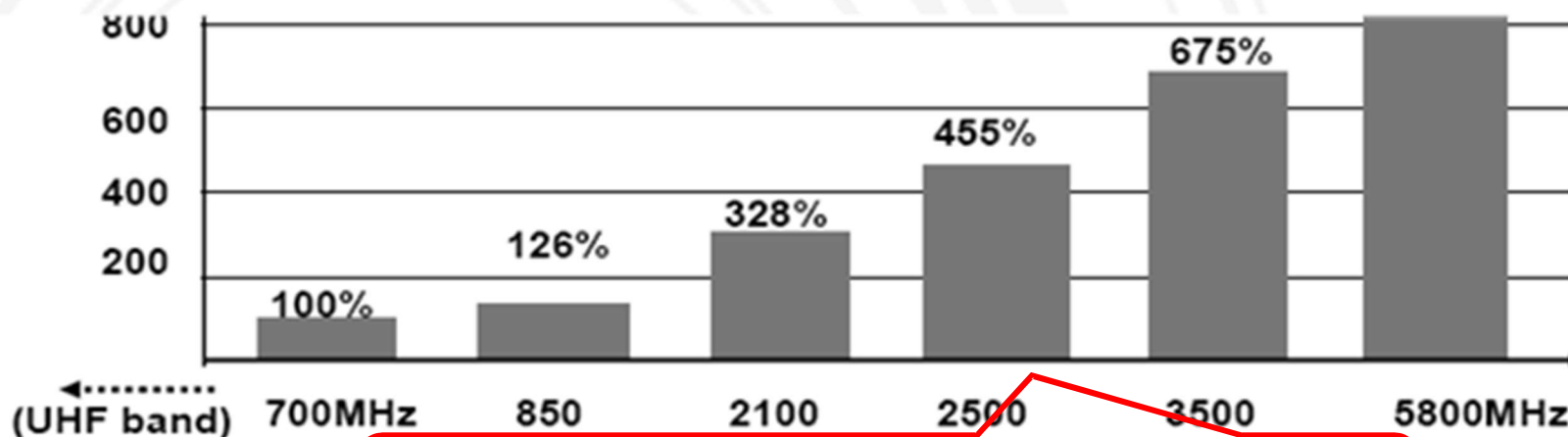
⌘ Bandas definidas por 3GPP para TDD

|         |         |           |
|---------|---------|-----------|
| Band 35 | 60 MHz  | 1850-1910 |
| Band 36 | 60 MHz  | 1930-1990 |
| Band 37 | 20 MHz  | 1910-1930 |
| Band 38 | 50 MHz  | 2570-2620 |
| Band 39 | 40 MHz  | 1880-1920 |
| Band 40 | 100 MHz | 2300-2400 |

# ESPECTRO RADIOELECTRICO Comparativo

costos GSMA RIG Chairs 14-02-2008, Barcelona

Uruguay : 5G 100 MHz en  
3.5 GHz : 28 MMUSD



Source BBC

Los costos aumentan con la frecuencia en uso!



# TECNICAS DE ACCESO AL MEDIO

## ⌘ FDMA: Frequency Division Multiple Access

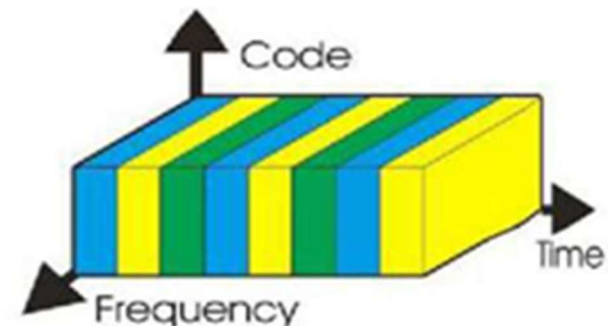
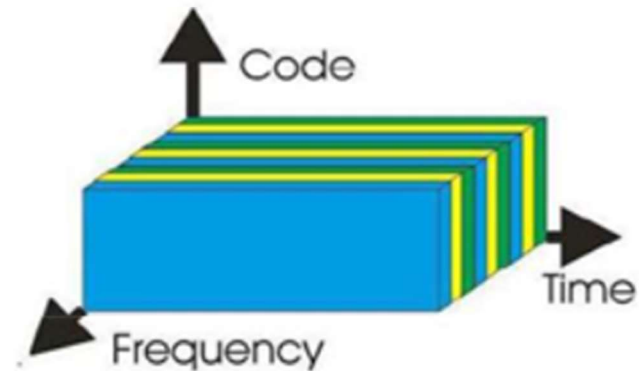
- ⌘ El espectro disponible se divide en porciones de espectro más pequeñas (canales) y a cada usuario se le asigna un canal determinado para la comunicación.

**Canal – frecuencia.**

- ⌘ Esta técnica fue una de las primeras técnicas utilizadas en los sistemas analógicos (AMPS)

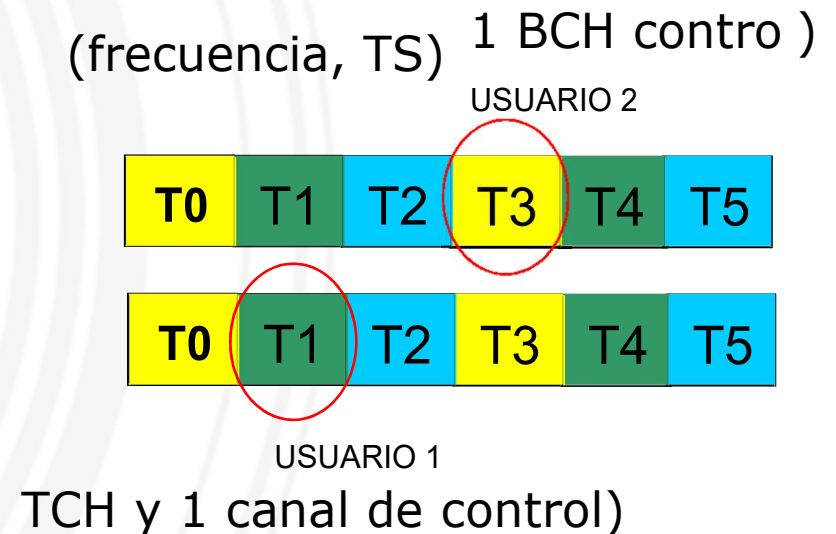
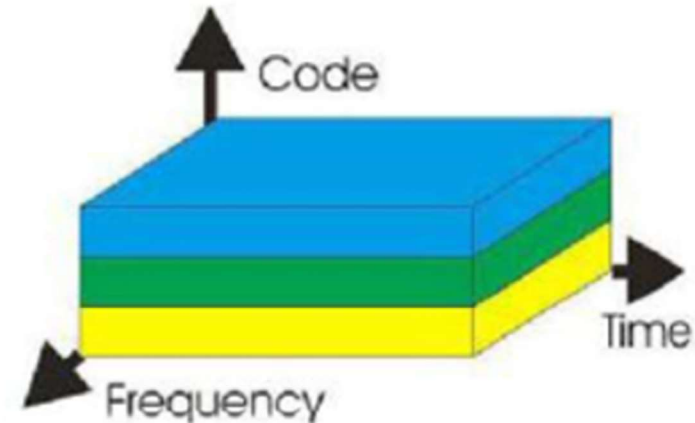
## ⌘ TDMA: Time Division Multiple Access

- ⌘ La banda de frecuencias disponible es compartida por todos los usuarios, pero cada usuario la usa en un tiempo finito, TS (Time Slot)



# TECNICAS DE ACCESO AL MEDIO

- ⌘ CDMA: Code Division Multiple Access
  - ⌘ Todos los usuarios transmiten en la misma porción de espectro y se diferencian por distintos códigos
  - ⌘ Esta técnica es la utilizada en los sistemas de tercera generación (UMTS)
- ⌘ Los sistemas 2G utilizan una combinación de FDMA + TDM A
  - ⌘ A cada usuario se le asigna un par
  - ⌘ En GSM 8 TS por portadora (7 TCH
  - ⌘ En IS-136 hay 3 TS por portadora





# TECNICAS DE ACCESO AL MEDIO

## FDMA

Hace un uso ineficiente del espectro ya que dedica una frecuencia por usuario. Menor capacidad por portadora que TDMA.

## TDMA

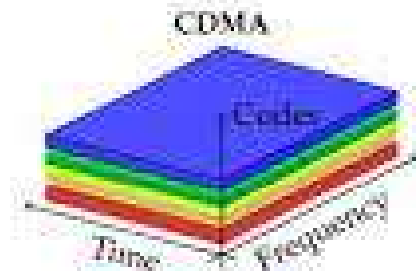
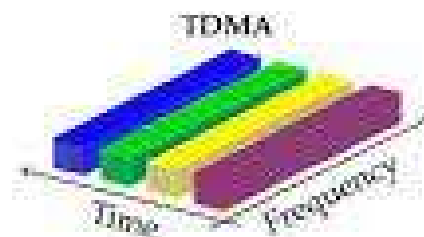
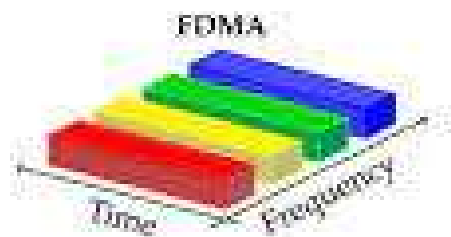
**Es más eficiente que FDMA porque en una misma frecuencia,** multiplexa en el tiempo a varios usuarios. Esto hace aumentar la capacidad de FDMA y mayor tolerancia de frecuencias portadoras

Fuertes requerimientos de sincronismo

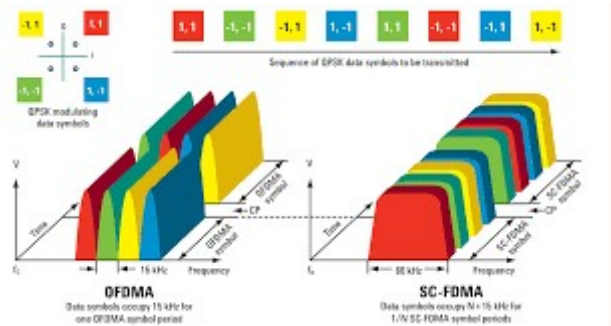
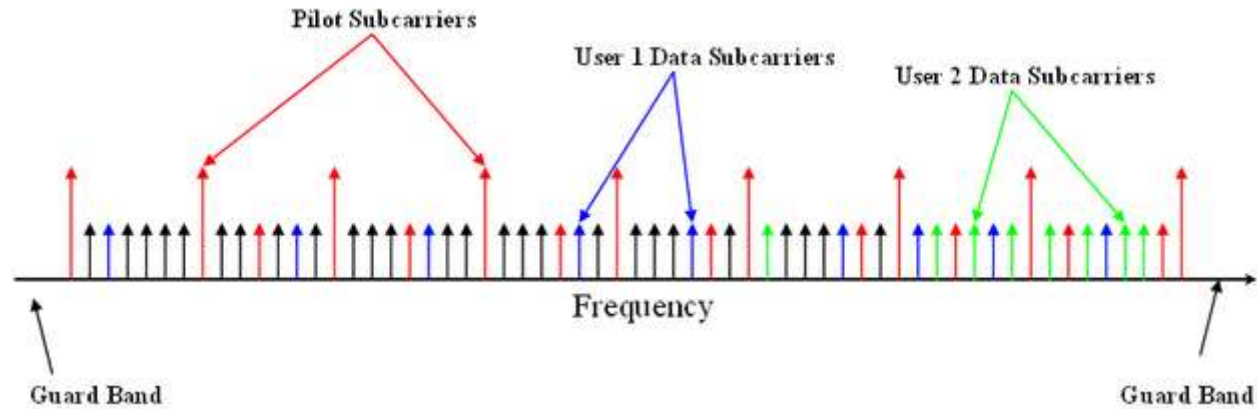
## CDMA

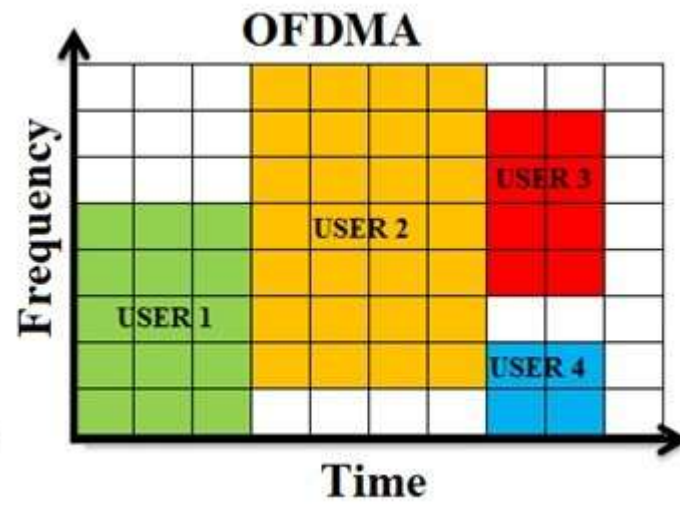
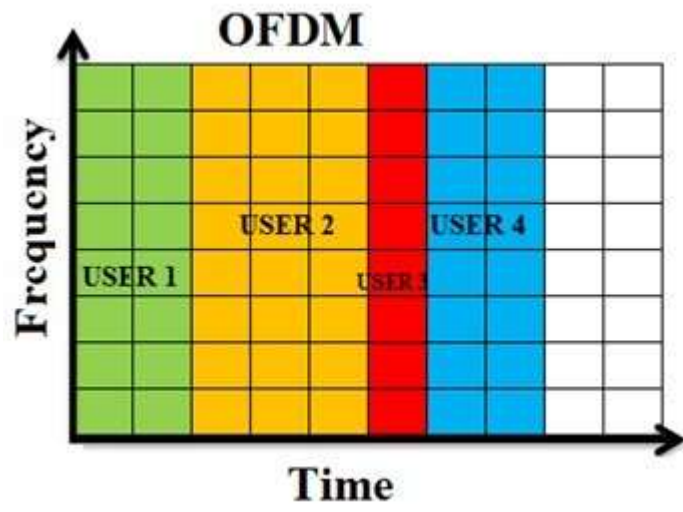
Es más eficiente que TDMA pero su punto débil es el manejo de potencia de los móviles, debido a que el sistema es sumamente sensible a interferencia

# TECNICAS DE ACCESO AL MEDIO



Typical FFT sizes for OFDM systems are 512, 1024 and 2048, with the smaller 128 and 256 sizes also possibilities. Among the bandwidths that will be supported are 5, 10 and 20 MHz





# REUSO de FRECUENCIAS

- ⌘ Las operadoras celulares disponen de un espectro finito (N Mhz)
- ⌘ Un sector tiene disponible un número de canales determinado (M Mhz)
- ⌘ Sectores totales de la red  $N/M$  ??
- ⌘ Capacidad total de tráfico =  $T_{\text{sector}} \times N/M$  ??  
**NO**, se reutilizan las frecuencias en distintas celdas
- ⌘ Esto provoca interferencia co-canal
  - ⌘ Para reducir interferencia se establece la esta distancia de reutilización D mínima

# REUSO de FRECUENCIAS

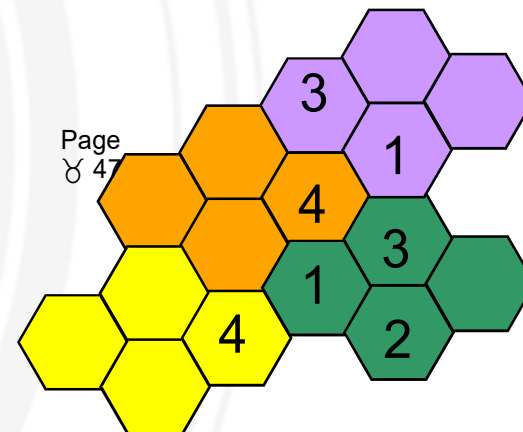
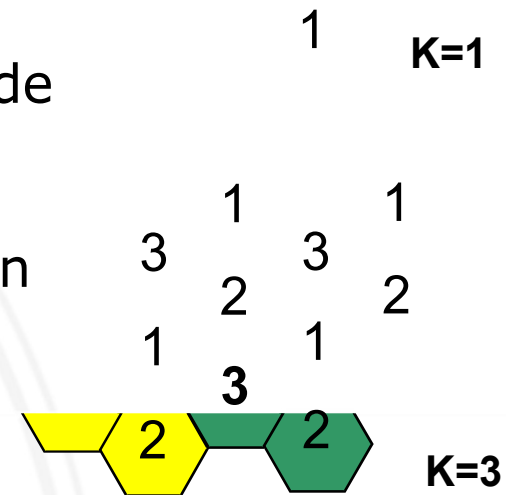
- ⌘ Cada K es un tipo de celda
- ⌘ Cada tipo de celdas tiene asignado un juego de frecuencias diferente
- ⌘ El conjunto de los K tipos de celdas se agrupan en un cluster
- ⌘ Luego se repite endosadamente cada cluster

Para obtener el área de cobertura deseada

- ⌘ K tiene que ser rómbico:

$$K = i^2 + j^2 + ij \quad (i, j \text{ enteros})$$

$$K = 1, 3, 5, 7, 9, 12, 19, \dots$$



4

4 2

1

2  
3

1

2  
3

**K**  
**=**  
**4**

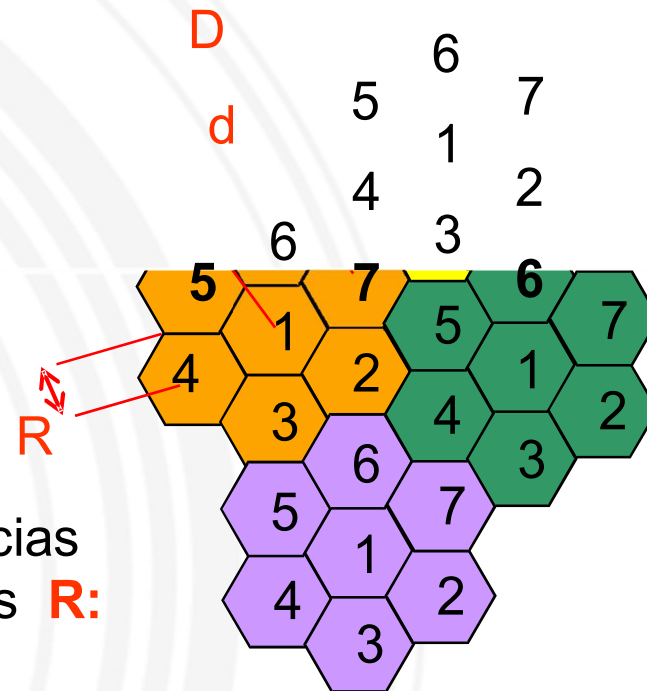
# REUSO de FRECUENCIAS

- Área del rombo de lado  $D$ :  $S_r = D^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{4}$
- Área del hexágono de radio  $R$ :  $S_c = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$

$$d = 3R$$

$$K = \frac{S_r}{S_c} = \frac{D^2}{3R^2} \Rightarrow D = \sqrt{3K} R$$

**D:** Distancia de reutilización de frecuencias  
**K:** Patrón de reutilización de frecuencias **R:** Radio de la celda



**Ejemplo:** Para un patrón de reuso ( $K=7$ ) y radios de celdas de 3Km, se obtiene una Distancia de reuso  $D=13,47$  Km.



# REUSO de FRECUENCIAS

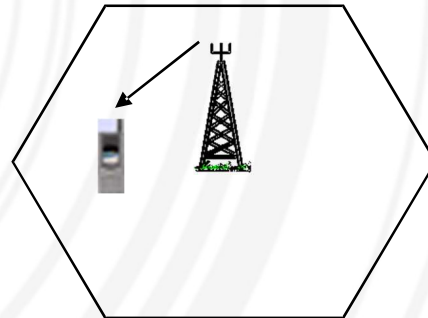
- ⌘ Si todas las celdas transmiten a la misma potencia y si  $K$  aumenta, la distancia de reuso de frecuencias  $D$  aumenta
- ⌘ El aumento de  $D$  logra reducir la interferencia co-canal
- ⌘ Pero como el total de canales es fijo, si  $K$  aumenta el número de **canales asignados por celda va a disminuir por lo que perdemos** eficiencia en el uso de los canales (espectro)
- ⌘ El desafío entonces será encontrar **el mínimo valor de  $K$**  (patrón de reuso de frecuencias) que logre mantener bajo control la interferencia co-canal (es decir que podamos cumplir una relación de  **$C/I$**  especificada para brindar un buen servicio)

# REUSO de FRECUENCIAS

- ⌘ Veamos el cálculo del C/I para un móvil en una celda
- ⌘ La señal recibida de un móvil es:

= Donde:

$$C = Pr \frac{P_t}{cte \cdot d^n}$$



**C, Pr:** es la potencia de la señal de la radio base servidora recibida por el móvil

**Pt:** es la potencia transmitida por la radio base servidora

**cte:** es una constante que depende del entorno de propagación

**d:** es la distancia entre transmisor (radio base) y receptor (móvil)

**n:** coeficiente de propagación que depende del entorno. En el caso de entornos urbanos toma valores entre 2,7 y 5

BTS

## REUSO de FRECUENCIAS

⚡ El peor caso para C (señal más baja) es cuando el móvil está en el borde de la celda:

$$\Rightarrow d = R \quad \Rightarrow C = \frac{P_t}{cte \cdot R^n}$$

⚡ Las celdas que aportan a la interferencia co-canal, son todas las **celdas que transmiten a la misma potencia y están a una**

distancia D de reuso. Por lo cual la interferencia de cada una es:

$$d = R$$

BTS

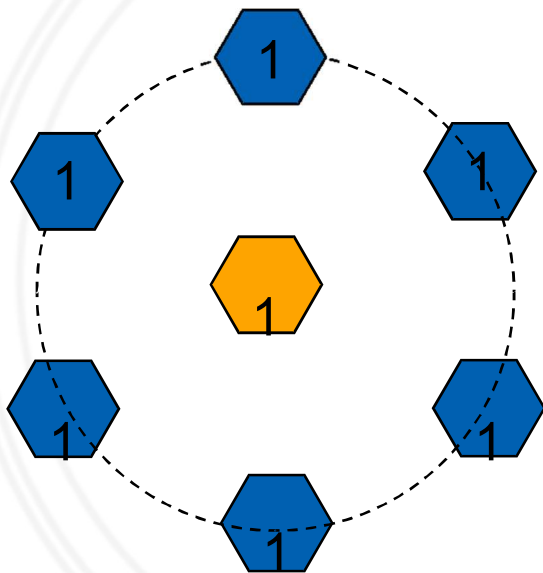
$$d = D$$

BTS

$$P_t$$
$$cte. (D/R)^n$$

# REUSO de FRECUENCIAS

- ⌘ La cantidad de celdas co-canales es de 6 y como peor caso vamos a suponer que la distancia para todas es de  $D-R$ .
- ⌘ Asumiendo que todas las celdas tienen el mismo radio y transmiten a la misma potencia, tenemos:



$$\frac{C}{I} = \frac{\frac{Pt}{cte.R^n}}{cte.(D-R)^n} = \frac{1}{6} \left( \frac{D-R}{R} \right)^n = \frac{1}{6} \left( \frac{D}{R} - 1 \right)^n$$

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{6} \left( \frac{D}{R} - 1 \right)^n$$

# REUSO de FRECUENCIAS

⌘ El factor de reuso de frecuencias K es:  $K = \frac{1 \left[ \left( \frac{D}{R} \right)^2 \right]}{3 \left[ \left( \frac{C}{I} \right) \right]}$

⌘ Despejando D/R de la ecuación de C/I tenemos que:

$$\frac{D}{R} = \left[ \frac{C}{I} \right]^{1/n} + 1 \Rightarrow K = \frac{1}{3} \left[ \left[ \frac{C}{I} \right]^{1/n} + 1 \right]^2$$

⌘ Al definir un valor de C/I mínimo de diseño en la red (ejemplo de 18 dB), nos queda fijado el valor mínimo de K

⌘ K depende del valor de diseño de C/I de n que es el coeficiente de atenuación de la señal en un entorno dado. Además K debe

ser rómbico ( $K=i^2+j^2+ij$ , con  $i,j$  enteros)

## REUSO de FRECUENCIAS : Ejemplo

Se disponen de 315 canales para usar en la red, cuantos canales máximos por celda puedo tener si:

- ⌘ Tengo un C/I de diseño de 18 dB
- ⌘ El entorno es urbano con un coeficiente de pérdida de camino  $n=5$

**SOLUCIÓN:** Como quiero máxima cantidad de canales por celda quiero encontrar el mínimo K para cumplir con los valores de diseño de la red

$$K \geq \frac{1}{3} \left[ \left( 6 \cdot 10^{1.8} \right)^{1/5} + 1 \right] = 6,1$$

Como además K tiene que ser rómbico, K mínimo es 7, por lo cual la cantidad de canales por celda es  $315/7 = 45$  canales por celda máximo.



# TRAFICO EN LA RED

⌘ Veamos ahora el tráfico que podemos ofrecer (usuarios que podemos atender) con una configuración determinada de la red

⌘ Parámetros en la red:

⌘ Canales disponibles en el sistema:  $C = W / f$

**W** es el espectro del operador y **Δf** el ancho de banda de los canales

⌘ **Canales disponibles en una celda:**  $N = C / K$

**K** es el factor de reuso de frecuencias

⌘ Nro de canales de tráfico:  $N - 1$

ya que por lo menos un canal es reservado para canal de control (broadcast)

⌘ Tráfico ofrecido en función de la probabilidad de bloqueo **p**

$$A_{of} = B(N - 1, p)$$

Se utiliza la fórmula de Erlang B con la cantidad de canales y una probabilidad de bloqueo  $p=2\%$



$$a = \frac{A}{c} \text{ (Erlang / Km}^2\text{)} = m \cdot a \Rightarrow S_c = \frac{A}{a} = \frac{M \cdot a}{a} = \frac{M}{m}$$

# TRAFICO EN LA RED

1. Determinar el factor de reuso  $K$  (número rómico) para que cumpla:
  - ⌘ La interferencia máxima admisible:  $C/I$  de diseño
  - ⌘ El modelo de propagación:  $P=cte.d^n$
  - ⌘ Tecnologías sectores, tilt, etc
2. A partir de  $K$  se calcula el tráfico ofrecido en una celda:
  - ⌘ Número de canales disponibles en una celda  $N=C/K$
  - ⌘ Tráfico ofrecido en una celda  $(N-1)$  canales con probabilidad de bloqueo  $p = 2\%$
3. Se determina la demanda del tráfico móvil
4. De igualar la oferta y la demanda se obtiene el número de móviles por celda o la superficie de la celda  $S_c$
5. Con este dato es posible dimensionar:



Á  
r  
e  
a  
d  
e  
l  
a  
c  
e  
l  
d  
a  
(  
a  
p  
a  
r

tir de los móviles / Km<sup>2</sup>) ó número de móviles Número de celdas total  
de un área a cubrir  
Número de veces que se repite el patrón de K celdas: Q  
Capacidad total de la red o tráfico total ofrecido: Q.K.(N-1)

# SECTORIZACIÓN

⌘ Se utilizan antenas directivas,  
entonces una celda  
en principio se divide  
en 3

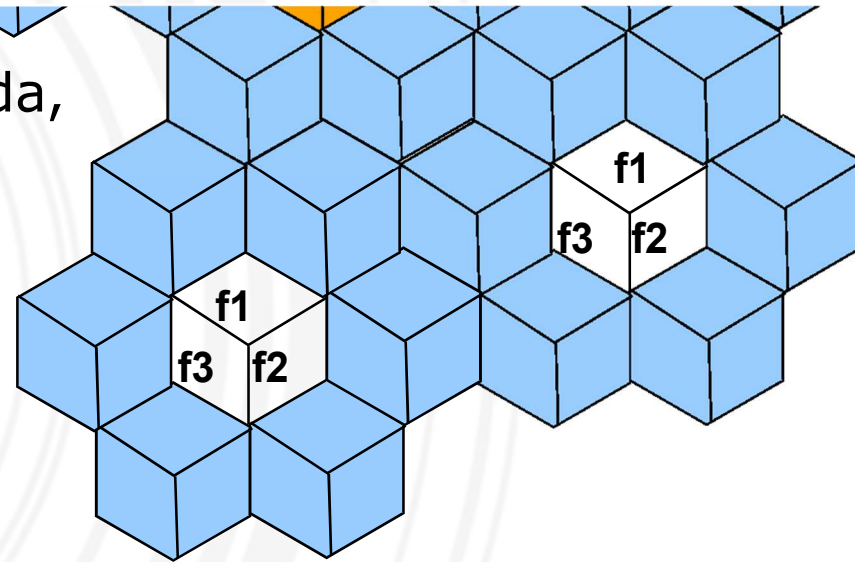
f1  
f3 f2

f1  
f3 f2

f1  
f3 f2

⌘ No sólo se divide entre 3 la celda,  
sino que las celdas interferentes  
ahora son menos, en este caso 2  
ó 3 celdas co-canal K disminuye:

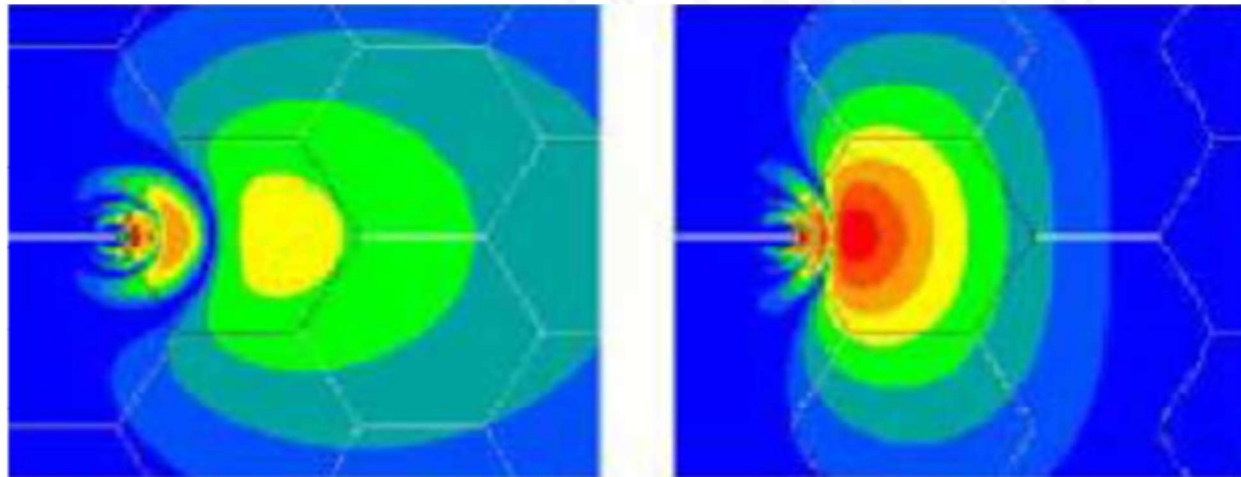
$$K \geq \frac{1}{3} \left[ \left( k_0 \cdot \frac{C}{I} \right)^{1/n} + 1 \right]^2 \text{ con } k_0 = [2,3]$$





# SECTORIZACIÓN y TILT

- ⌘ Tanto la sectorización, la aplicación de tilts y la reducción de potencia en celdas vecinas reduce la interferencia de las agrupaciones anexas:
- ⌘ Se consigue una reducción de  $K$  (patrón de reuso)
- ⌘ Para el cálculo de reuso de frecuencia  $K$ , se considera que tanto la potencia como la ganancia de las antenas son las mismas.
- ⌘ **Para levantar esta simplificación o se pueden rehacer las cuentas o puede tomarse un C/I de diseño no tan restrictivo**

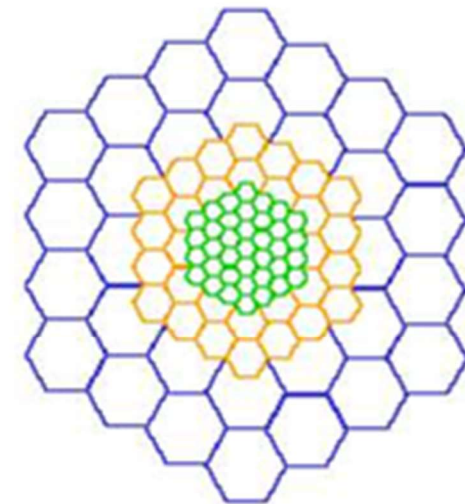


Antena sin tilt

Antena con tilt mecánico

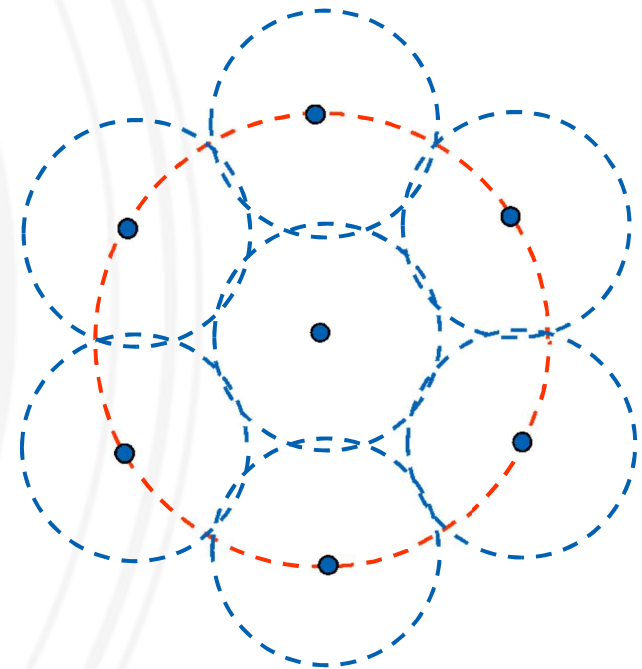
# DIVISION DEL AREA

- ⌘ La retícula básica que vimos hasta ahora es un instrumento (no es la realidad), en la realidad es difícil establecer el límite entre 2 celdas
- ⌘ En la práctica vamos a tener celdas urbanas que tengan alta demanda de tráfico (densidad alta de tráfico) y celdas rurales, las cuales tienen una densidad de tráfico muy baja
- ⌘ Por estas razones la retícula no será ni siquiera homogénea
- ⌘ **Cuando la capacidad de una celda está llegando a su límite (cantidad de canales disponibles en una celda) es necesario subdividir la celda en otras más pequeñas**
- ⌘ Lo anterior se denomina: **CELL SPLITTING**



# CELL SPLITTING

- ⌘ El radio de la celda se reduce, generalmente:
  - ⌘ El radio de la nueva celda es la mitad que el radio anterior  $R' = R/2$
  - ⌘ Por esta razón el área de la celda se divide entre 4  $S_c = S_c/4$
  - ⌘ La capacidad de tráfico en el área se incrementa por 4  $A_f' = 4.A_f$
  - ⌘ Aumenta el tráfico entre celdas y tráfico de señalización
  - ⌘ Aumenta la cantidad de sitios (costos)
  - ⌘ Micro celdas (menos de 300m) y Pico celdas (menos de 30 m)



# PLAN DE FRECUENCIAS

- ⌘ Lo visto hasta ahora referente a plan de frecuencias aplica a sistemas FDMA y es extensible a sistemas TDMA+FDMA
- ⌘ En los sistemas FDMA cada canal es considerado una porción de espectro por lo cual la cantidad de canales disponible por un operador es:

$$C = W / f$$

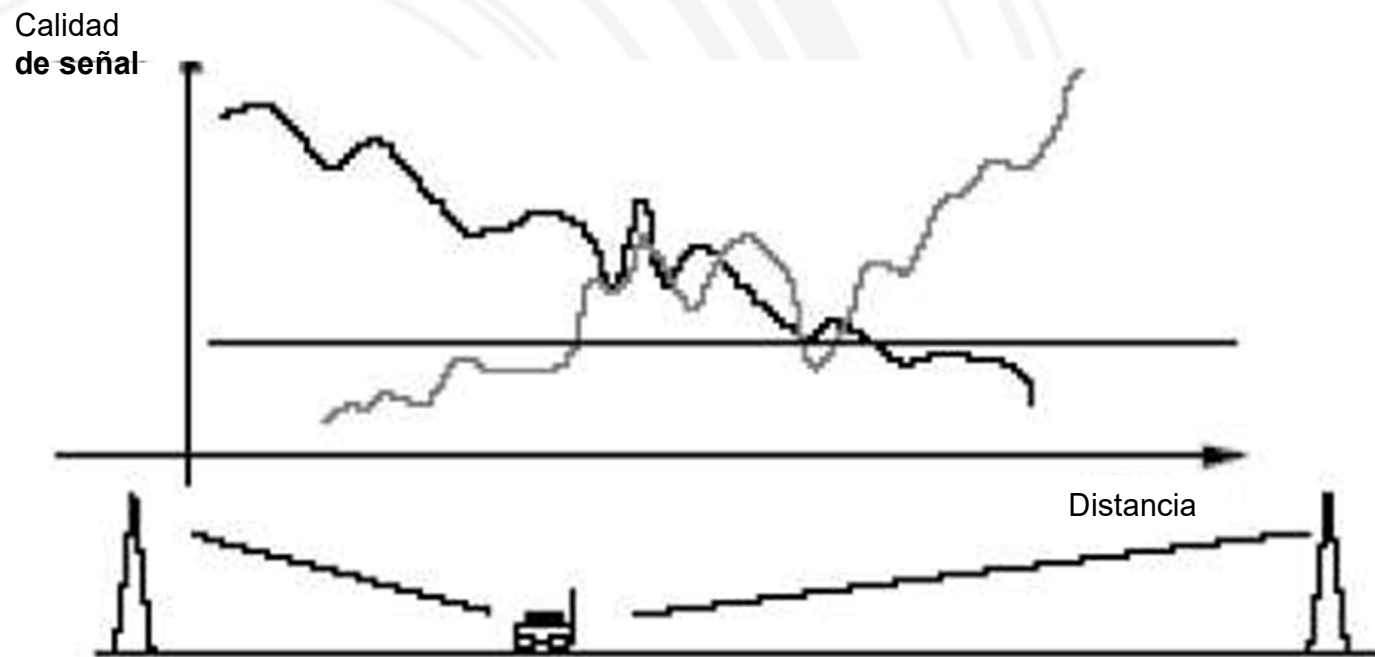
- ⌘ En el caso de TDMA + FDMA, la formula anterior se multiplica por un factor, igual al número de canales por time slot (en el caso de GSM es 8 y en el caso de TDMA es 3):

$$C = 8(W / f)$$

- ⌘ CDMA usado para las tecnologías de 3G no utiliza el concepto de reuso de frecuencias ya que utiliza una misma portadora en toda la red y los usuarios y canales se distinguen por códigos ortogonales

# HANDOVER

- ⌘ Handover ocurre cuando un móvil con conexión establecida pasa del control de una radio base a otra.
- ⌘ Da la movilidad dentro de la red
- ⌘ Este pasaje se puede dar por potencia de señal o niveles de C/I



# HANDOVER

## ⌘ Handover controlado por la red:

Cuando el móvil está cursando una llamada, la radio base mide la señal recibida y cuando ésta se encuentra por debajo de los umbrales preestablecidos informa al MSC. El MSC consulta a las radio bases vecinas sobre el nivel de señal de este móvil, si alguna responde con un nivel mayor le pide que reserve un canal para este usuario y le informa **al móvil que debe de cambiar de canal. Se nota con un silencio de 400 ms.** aproximadamente. Entre 5 a 10 segundos demora todo el proceso.

## ⌘ Handover asistido por el móvil (MAHO):

En el caso de los sistemas TDMA, el canal de comunicación se usa durante un período de tiempo, por lo tanto en el resto del tiempo, el móvil puede monitorear una lista de celdas vecinas que es reportada por la radio base servidora para pasar estas mediciones al BSC y éste considerar la necesidad de realización de un handover. Se reducen los tiempos del proceso a 1 segundo.



# HANDOVER

- ⌘ Hay 3 tipos de handover en GSM:
  - ⌘ Intra cell handover: entre celdas dentro de una misma RBS
  - ⌘ Inter cell handover: entre celdas de distintas RBS
  - ⌘ Inter system handover: entre celdas pertenecientes a distintos MSC's
- ⌘ Cuales pueden ser las causas?
  - ⌘ Cuando la calidad del link es mala
  - ⌘ Cuando hay interferencia
  - ⌘ Para distribuir el tráfico entre celdas

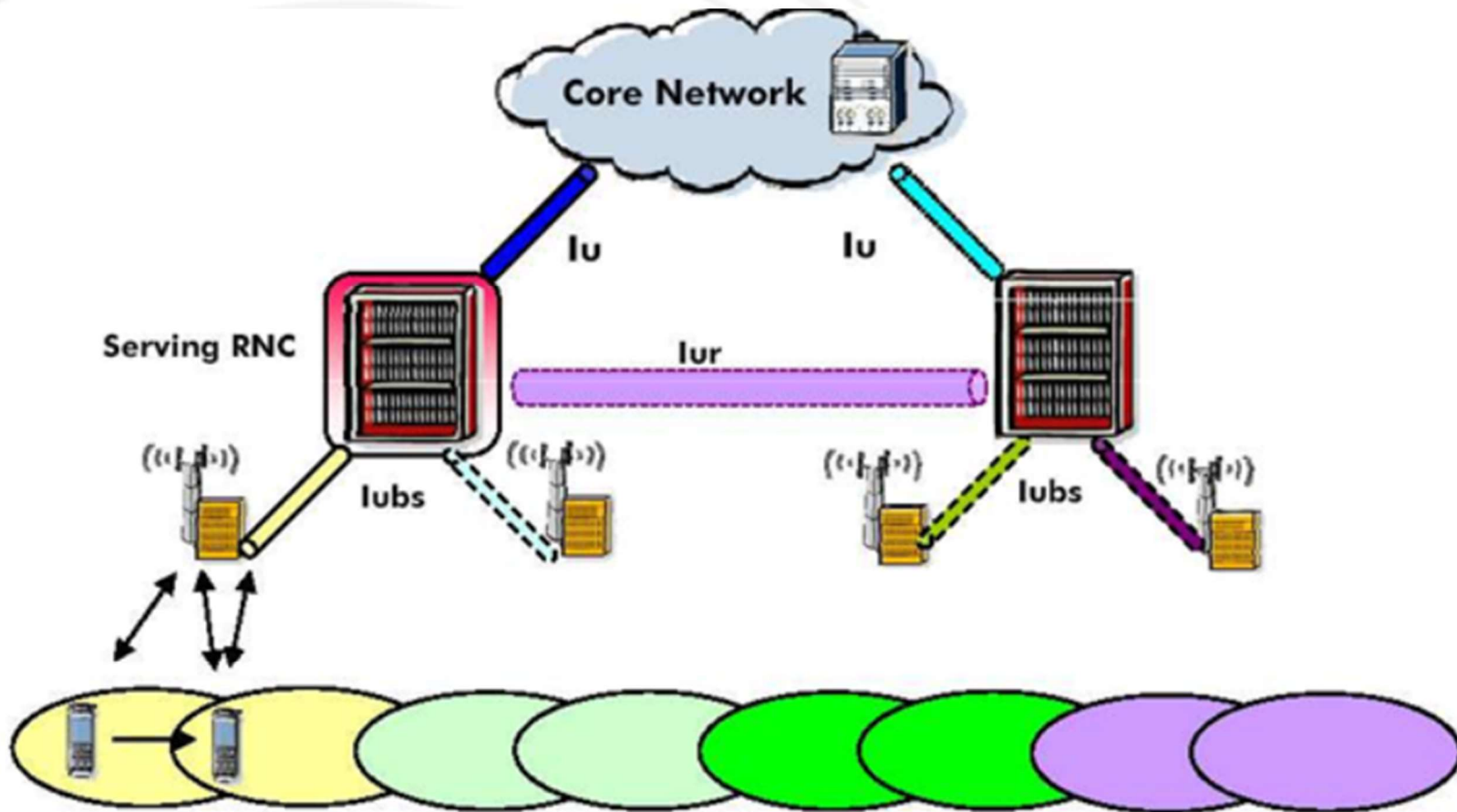




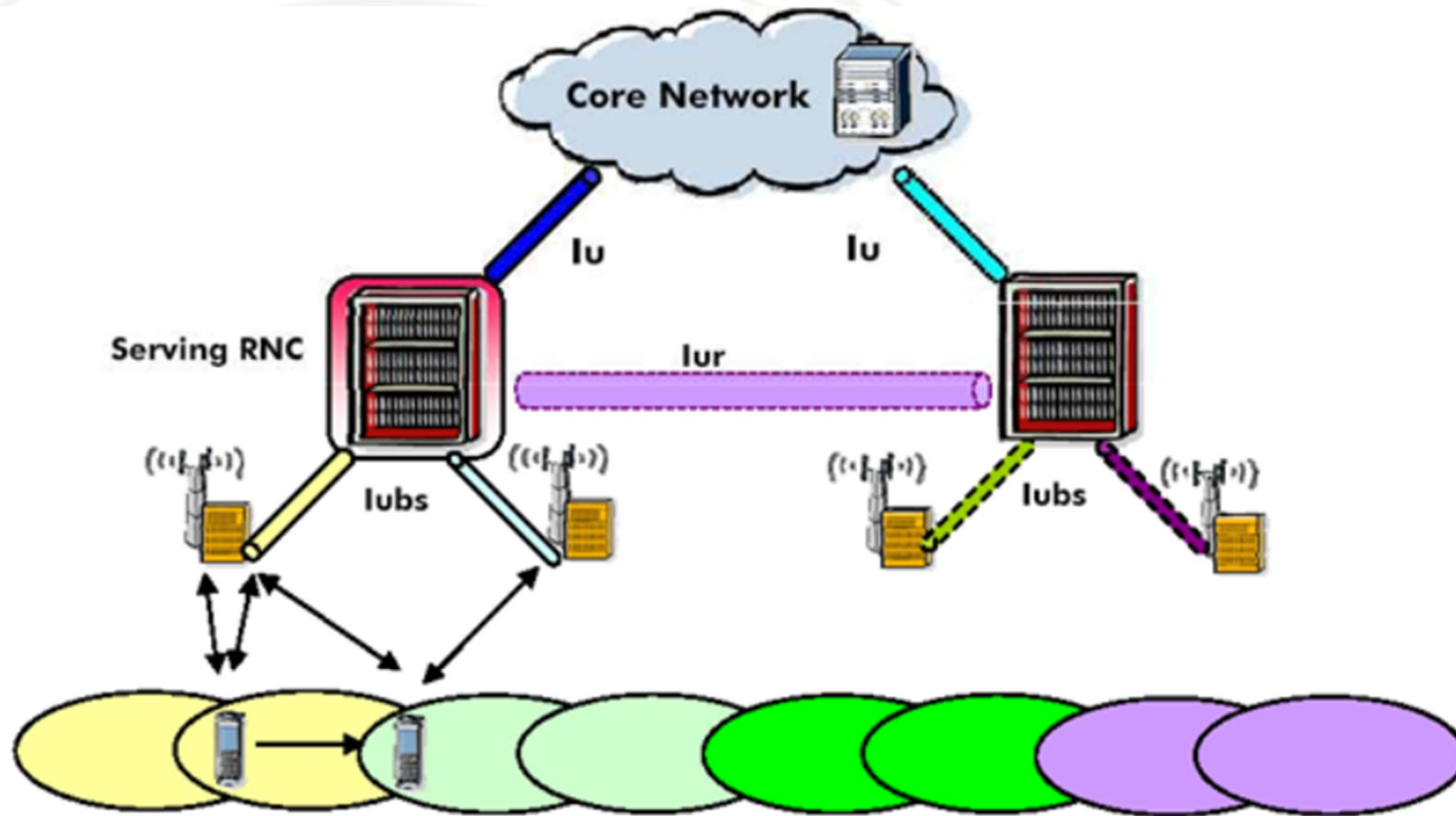
# HANDOVER

- ⌘ Cuando tenemos sistemas CDMA donde se utiliza una misma frecuencia en toda la red, tenemos los siguientes tipos de "handoff"
- ⌘ Hard Handoff: Handoff a otro canal o portadora
- ⌘ Soft Handoff: Cuando se va a hacer el cambio de una celda a la otra celda de distinta radio base, manteniendo 1 link con cada celda al mismo momento. Sirve para aumentar la cobertura de las celdas (macrodiversidad) pero también consume más recursos
- ⌘ Softer Handoff: Un softhandoff entre celdas de una misma radiobase

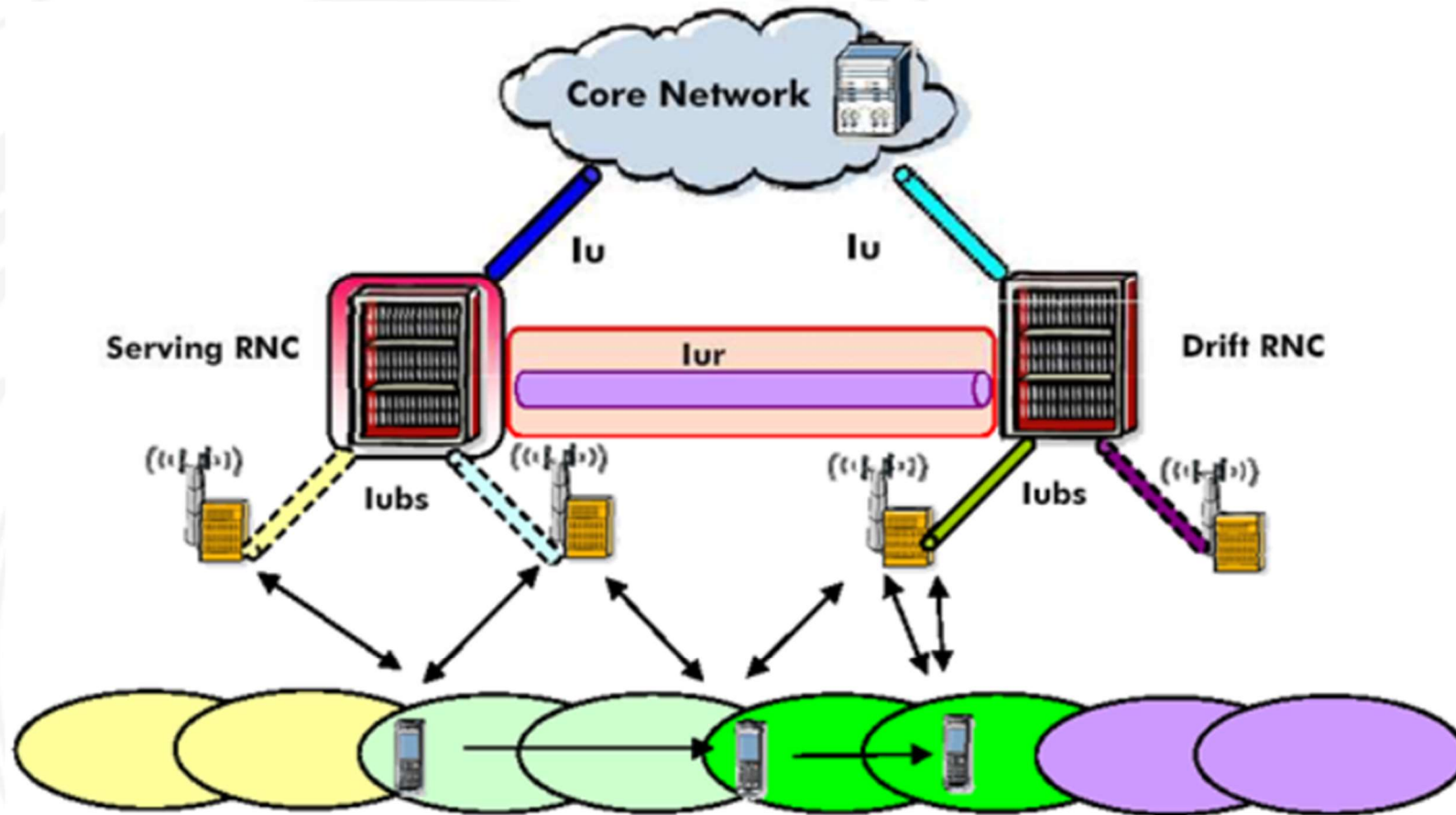
# SOFT y SOFTER HANDOVER en WCDMA



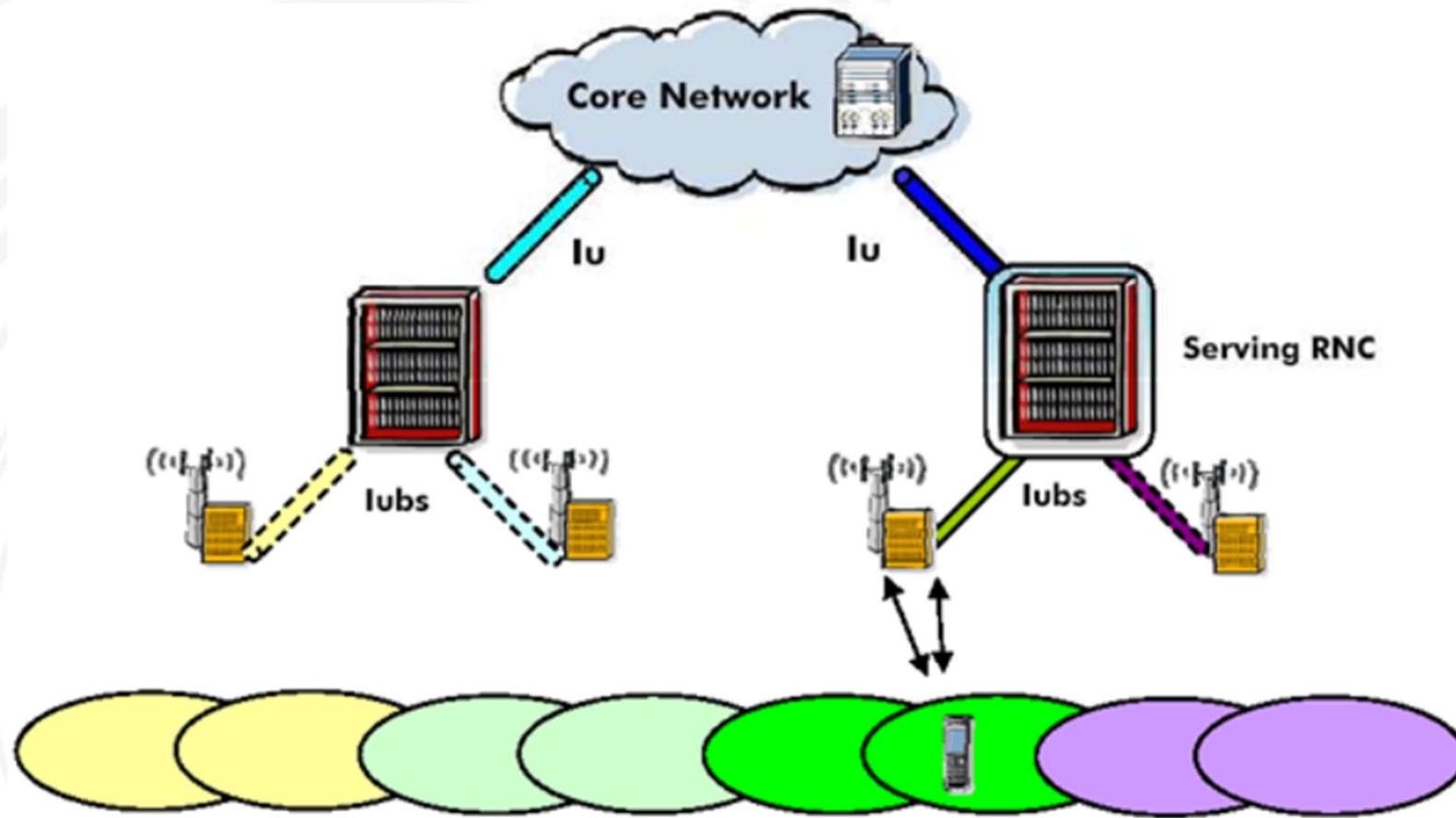
# SOFT y SOFTER HANDOVER en WCDMA



# SOFT y SOFTER HANDOVER en WCDMA



# SOFT y SOFTER HANDOVER en WCDMA



# PROPAGACION

- ⌘ **LOS:** Línea de Vista (Camino principal de mayor potencia de Rx)
- ⌘ **NLOS:** No hay línea de vista, propagación multicamino
- ⌘ Mecanismos de propagación:
  - ⌘ Reflexión: La señal se refleja en una superficie (atenuada). Modela reflexiones en el suelo y en paredes de los edificios
  - ⌘ **Difracción: Difracción de la señal en algún vértice.**  
**Explica la** transición de una zona iluminada, a otra de sombra detrás de la esquina de un edificio o debajo de un techo
  - ⌘ Scattering o Difusión: En una superficie “rugosa” se reflejan varias señales atenuadas en muchas direcciones, difunden la energía incidente en todas direcciones
  - ⌘ Shadowing: Atenuación muy grande de la señal por atravesar un obstáculo. Penetración en edificaciones o por vegetación
  - ⌘ Guía onda: “Modos” de propagación

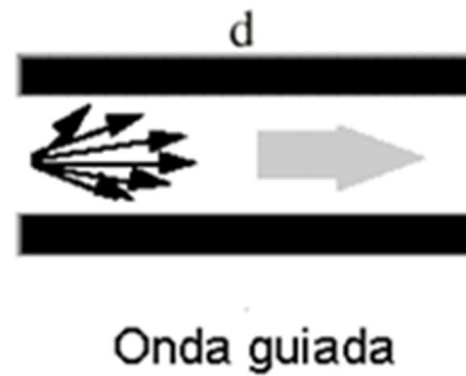
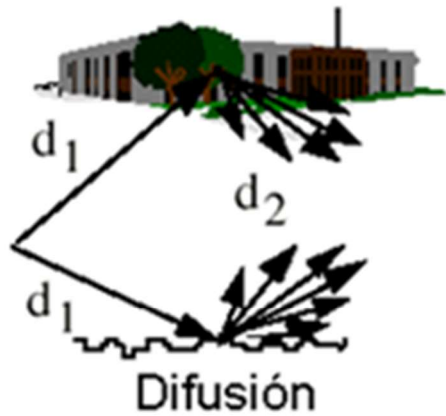


# Mecanismos de PROPAGACION

$$\frac{1}{d_1 + d_2}$$

$$\frac{d_1}{d_2(d_1 + d_2)}$$

$$d^{1.9}$$



$\frac{1}{d_1 d_2}$

$\frac{1}{d_1 d_2}$

$cte$

1

$cte$

$\log(d)$

$d_1 d_2$

# PROPAGACION

$\pi$   
 $\equiv$   
 $\pi$   
 $\lambda$





## ⌘ PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE

- ⌘ Es la pérdida mínima esperable en cualquier enlace entre dos puntos donde no existen obstáculos.
- ⌘ Todo modelo de propagación debe al menos predecir en cualquier caso una pérdida mayor a la de espacio libre

$$S = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2}$$

d

$$P_R = S \cdot A_R = S \cdot G_R \cdot d^2$$

$P_T, G_T$  $P_R, G_R$ 

# PROPAGACION

$$L = 10 \log_{10} \frac{P_T}{P_R} = 10 \log_{10} \left[ \frac{4 \pi d^2}{G_T G_R} \right] = L_0 + 10 \log_{10} \frac{1}{G_T G_R}$$

⚡ Considerando fuentes isotrópicas ( $G_T, G_R = 1$ ), la pérdida en el espacio libre  $L_0$  en dB, se calcula como:

$$L_0 = 32,44 + 20 \log_{10}(d / km) + 20 \log_{10}(f / Mhz)$$

# PROPAGACION

## ⌘ Propagación en entornos urbanos:

⌘ Variedad de mecanismos de propagación, entornos complejos, cambiantes, edificios, parques, calles, etc.

⌘ 3 tipos de modelos para modelar la propagación en entornos urbanos:

- Métodos empíricos (medidas de campo)
- Métodos semiempíricos (descriptores del entorno, con ajuste con medidas)
- Métodos Físicos (métodos de rayos)

⌘ Más conocidos y usados:

- Okumura – Hata: Curvas de medidas realizadas en la ciudad de Tokio y alrededores. Hata toma las curvas y las lleva a fórmulas

$$L_{CCIR} = 69,55 - 26,16 \log_{10}(f) - 13,82 \log_{10}(h_b) + [44,9 - 6,55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(d) + a_x$$

(  
*h*  
*m*  
)

# PROPAGACION

⌘ Donde:

**f** : frecuencia en Mhz,

**d** : distancia en km

**h<sub>b</sub>** altura de la estación base en m

**a<sub>m</sub> (h<sub>m</sub>)**: función de corrección por la altura del móvil, dependiendo del tipo de ciudad

En una ciudad mediana, el factor de corrección toma la forma:

$$a_m(h_m) = [0,7 + 1,1 \log_{10}(f)] h_m + 1,56 \log_{10}(f) - 0,8$$

Para una ciudad grande y para frecuencias menores a 200Mhz:

$$a_2(h_m) = 1,1 - 8,29 \log_{10}^2(1,54 h_m)$$

y para frecuencias mayores de 400 Mhz:

$$a_4(h_m) = 4,97 - 3,21 \log_{10}^2(1,75 h_m)$$

# PROPAGACION

⌘ También desarrolló fórmulas para áreas suburbanas y abiertas

⌘ El modelo para áreas suburbanas:

$$L = L_{CCIR} + L_{ps}$$

$$L_{ps} = 2 \log_{10}^2 \left( \frac{f}{28} \right) + 5,4$$

⌘ El modelo para áreas abiertas:

$$L = L_{CCIR} + L_{po}$$

$$L_{po} = 4,78 \log_{10}^2(f) + 18,33 \log_{10}(f) - 40 - 9,4$$

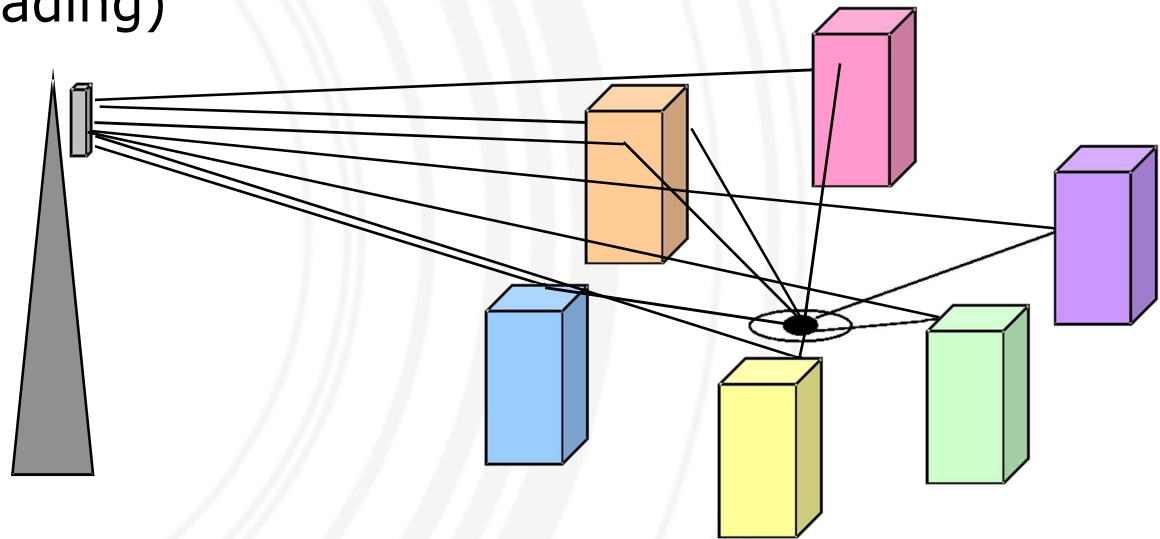
⌘ Otros de los modelos muy utilizados es el Hata-COST231 (1800 Mhz)

$$L_{bu} = 46,33 + 33,9 \log_{10}(f) + 13,82 \log_{10}(h_b) + [44,9 + 6,55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(d) + a_x(h_m) + c_m$$

**C<sub>m</sub>**: 0dB en ciudades medianas y zonas suburbanas con densidad de arbolado moderadas y 3 dB en grandes centros metropolitanos.

# CARACTERÍSTICAS de la SEÑAL

- ⌘ Multipath Fading (Desvanecimiento Multicamino):  
Varios caminos de propagación entre la radiobase y el móvil
- ⌘ Acción de los obstáculos en el camino de propagación  
(Long-term Fading)
- ⌘ **Efecto multicamino en la vecindad del móvil** (Short-term Fading)





# EFECTOS EN LA SEÑAL RECIBIDA

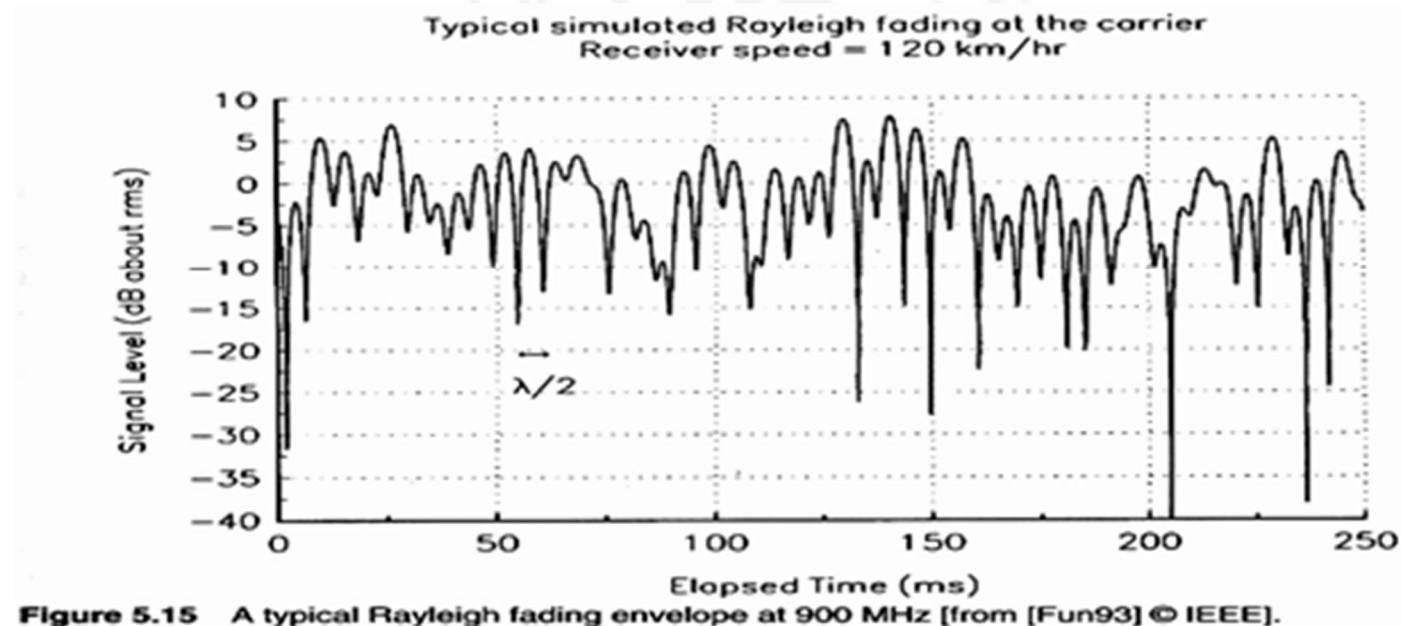
- ⌘ Pérdida de señal en el trayecto de propagación: pérdida dependiente del entorno (espacio libre LOS, modelos de propagación)
- ⌘ Desvanecimiento de Rayleigh: reflexiones y difracciones por objetos cercanos al móvil
- ⌘ Desvanecimiento de largo plazo (lognormal): provocado por objetos en el trayecto entre radio base y el móvil
- ⌘ Dispersión temporal: causa la Interferencia inter-simbólica
- ⌘ Corrimiento Doppler: variación de frecuencia que percibe el receptor cuando se acerca o aleja del emisor

# EFECTOS EN LA SEÑAL RECIBIDA

## ⌘ Desvanecimiento de Rayleigh:

En una propagación multicamino cuando los obstáculos en los que la señal refleja se encuentran cerca del receptor, decimos que estamos en un caso de desvanecimiento a corto plazo o de Rayleigh (Rayleigh fading).

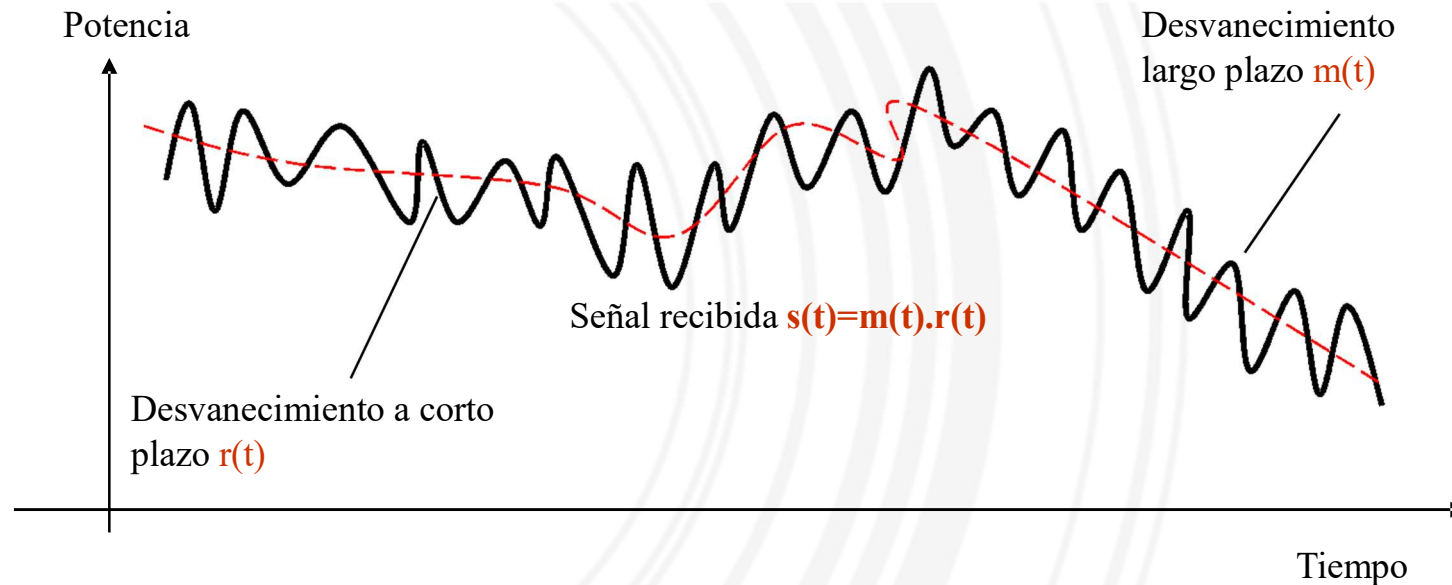
Se denomina de Rayleigh por la distribución que presenta la atenuación de la señal (en general relacionada con  $1/2$  longitud de onda de la señal **transmitida**)



# EFECTOS EN LA SEÑAL RECIBIDA

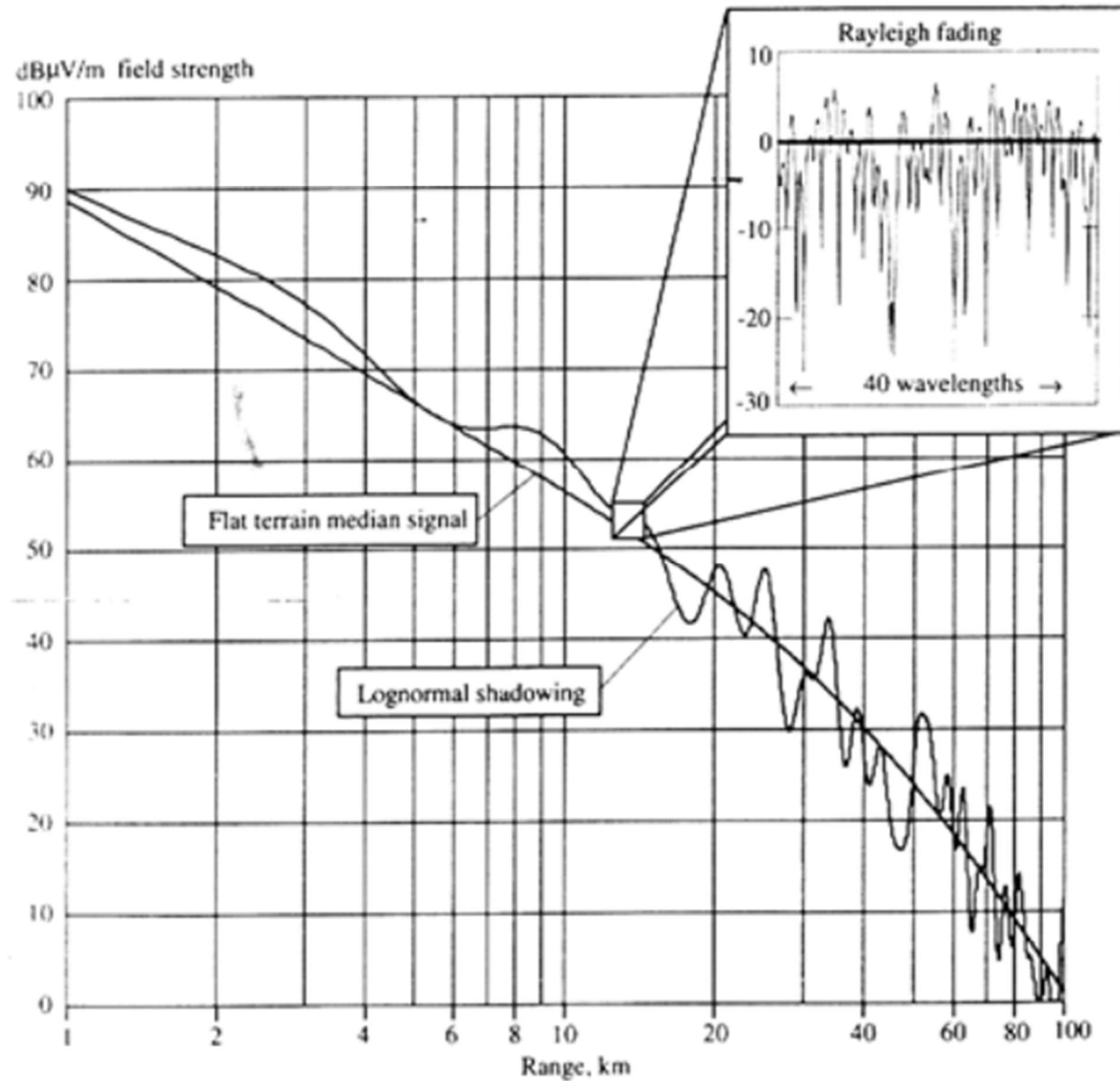
## ∞ Desvanecimiento de largo plazo (lognormal):

Es debido a la topografía del terreno entre el emisor y el receptor e implica una variación temporal de la señal. Si observamos la variación temporal de la señal en el aire el efecto del desvanecimiento de largo plazo es una variación en el nivel medio de la señal, mientras que el efecto del desvanecimiento de Rayleigh es una variación instantánea sobre ese nivel medio.



# CARACTERÍSTICAS de la SEÑAL

$$total = \frac{2}{R} + \frac{2}{LN}$$



# CARACTERÍSTICAS de la SEÑAL

## ⌘ Dispersión temporal:

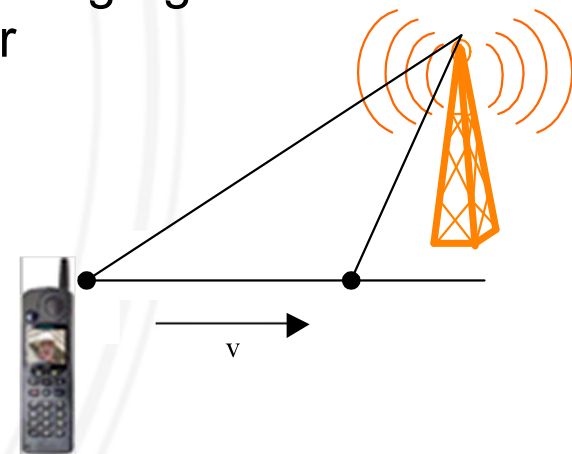
Se da por la reflexión de la señal en objetos lejanos al receptor, provocando variaciones de la señal en el tiempo. Causa interferencia intersimbólica, imposibilitando al receptor para realizar la correcta decodificación de la señal recibida

Ejemplo: 1 bit se trasmite cada  $3,7 \mu\text{s}$  en GSM, como la velocidad de Tx es  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , entonces 1 bit viaja aprox. 1 Km en un período de bit.

Si el camino directo es de 1Km y el camino indirecto es de 3Km. El 1er. bit del camino indirecto podría interferir con el 3er bit del camino directo en el receptor.

## ⌘ Corrimiento Doppler: Este efecto ocurre cuando agregamos movimiento relativo del receptor respecto al emisor

El corrimiento en frecuencia debido a este efecto se puede expresar como:



$\mu$   
 $\theta$   
 $\theta$   
 $\theta$   
 $\lambda$

$$= v \cos$$

A d B

# SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE RADIO

⌘ Codificación de canal: Es utilizado para detectar y corregir errores en un tren de recepción de datos. Agrega bits al mensaje , para que el mismo sea decodificado de forma correcta por el receptor. Mantiene un BER (Bit Error Rate) objetivo:

⌘ Bits transmitidos 1 1 0 1 0 0 0 1 1 0

⌘ Bits recibidos 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0

⌘ Errores 3/10=30% BER

⌘ Tasas de codificación adaptativas en el medio

⌘ AMR (Adaptative Multi Rate): la tasa de bits de codificación de canal y la tasa del codec de voz se adaptan para contrarrestar los problemas de RF

⌘ AMR tiene diferentes codecs que conjuntamente con la codificación de canal asociada se han optimizado para diferentes entornos de radio.

⌘ Dependiendo de las condiciones de (C/I), se elige la mejor tasa para aumentar la calidad de la voz



# SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE RADIO

⌘ Se usan 8 codecs, 6 en canales HR:

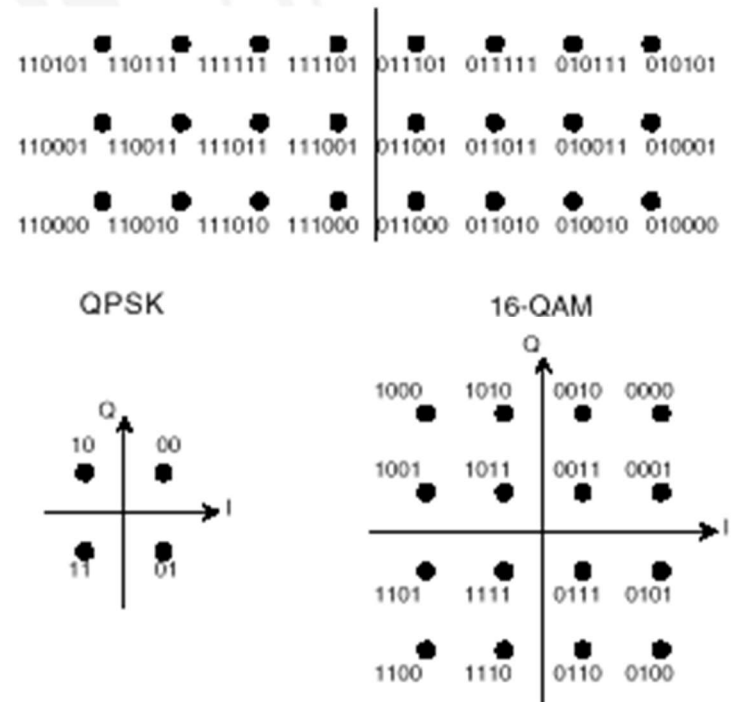
- 12,2 kbps, 10,2 kbps, 7,95 Kbps, 7,40 kbps, 6,70 kbps, 5,90 Kbps, 5,15 Kbps, 4,75 Kbps.
- Se utiliza un set predefinido de 4 codecs para cada tipo de canal FR o HR.
- **Para cada llamada se usa un set. Al set están asociados umbrales de (C/I) de decisión, lo que posibilita cambiar de codec (a uno consecutivo) por cada segundo de trama de voz**

⌘ Para el caso de tráfico de datos ocurre algo similar. Hay distintas codificaciones, según el (C/I) del enlace (GPRS se le denomina CS y en EDGE MCS)

| Coding | Bits de Información | Máx. Rate por TS (Kbps) | C/I (dB) |
|--------|---------------------|-------------------------|----------|
| CS-1   | 181                 | 9,05                    | 6        |
| CS-2   | 268                 | 13,4                    | 9        |
| CS-3   | 312                 | 15,6                    | 12       |
| CS-4   | 428                 | 21,4                    | 17       |

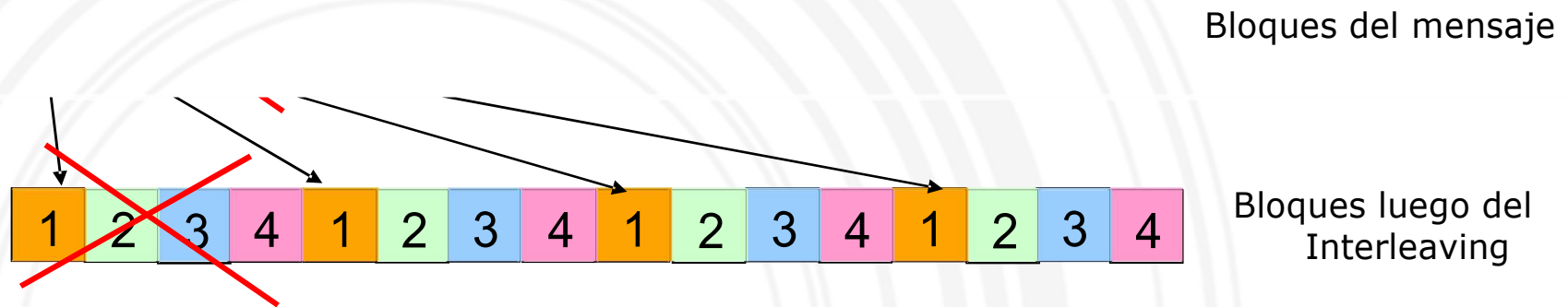
# SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE RADIO

- ⌘ Técnicas de modulación adaptativas
- ⌘ Los bits a transmitir se "mapean" en un punto de la constelación usada para modular
- ⌘ Cuanto más bits se mapeen en un símbolo, mayor tasa de **transmisión**
- ⌘ Cuanto más cantidad de puntos de la constelación más difícil de decodificar (necesito mejor estado del canal)
- ⌘ Generalmente son adaptativas en función del estado del canal de radio

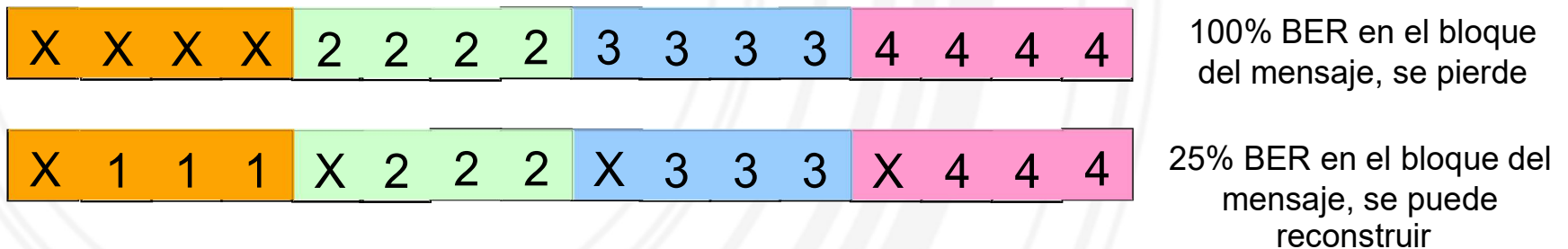


# SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE RADIO

⌘ Interleaving: Mezcla los bits a enviar de una misma palabra de forma que si hay alguna pérdida en ráfagas los datos no sean tan sensibles a error (matriz de Interleaving).



Si perdemos un bloque de 4 tenemos un BER de 25% en ambos casos



# SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE RADIO

## ⌘ Técnicas de Diversidad

### ⌘ **Espacial:** Uso de distintas antenas tanto en Tx como en Rx (MIMO)

*Ejemplo:* Si las antenas de Rx de una radiobase están físicamente separadas, la probabilidad que las 2 sean afectadas por fading es más baja. En 900 Mhz se obtiene una ganancia de 3 dB, con distancias de separación de 5 o 6 m. entre las antenas

### ⌘ **Polarización: Diferentes polarizaciones para separar 2 recepciones (+/-45).** Idem a la idea anterior pero la diversidad es por polarización

### ⌘ **Temporal:** Enviar la información en 2 intervalos de tiempo temporales distintos

### ⌘ **Frecuencia:** FHSS (salto de frecuencia a frecuencia durante una llamada) y DSSS (transmisión en un mismo ancho de banda, separados por códigos ortogonales). La energía de los móviles se distribuye en todo el espectro. Uniformizando la interferencia.

### ⌘ **Multiusuario:** despachador de usuarios según ciertos criterios como por ejemplo calidad de su comunicación

# SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE RADIO

## ⌘ Técnicas de espectro expandido:

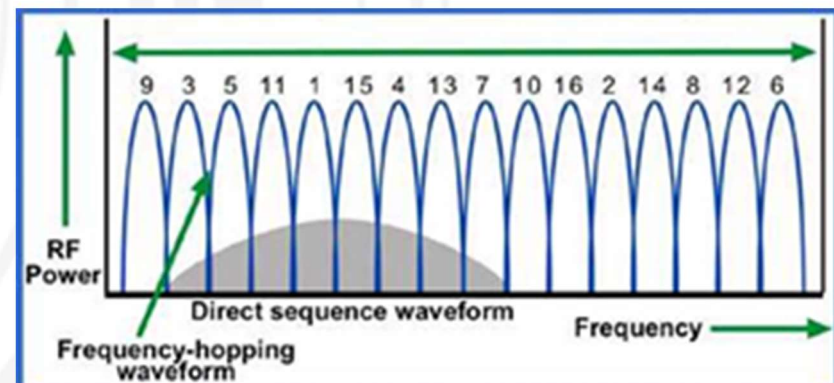
Permite la transmisión en varias frecuencias del espectro (se necesita más ancho de banda para una transmisión) pero el trasmisor distribuye la energía originalmente concentrada en una porción de espectro en todo el espectro disponible.

Las ventajas son:

- ⌘ Mejora la privacidad de las comunicaciones
- ⌘ **Baja la interferencia de banda angosta**
- ⌘ Aumenta la capacidad

⌘ FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum): el trasmisor salta entre frecuencias disponibles de acuerdo a un algoritmo especificado (aleatorio o planeado). Sincronización entre Tx y Rx

⌘ DSSS (Secuencia Directa): Usa todo el espectro, la información a transmitir la distribuye en todo el espectro logrando un mejor aprovechamiento del mismo



# SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE RADIO

⌘ Ecuación adaptativa para la dispersión: Hace uso de una secuencia de bits de entrenamiento conocida que envían tanto la radio base como el móvil para ver como está siendo afectada la trama por el canal de aire.

⌘ Time Advance: Es para solucionar el problema del solapamiento en la radio base de la recepción de 2 móviles. Se le comunica al móvil el tiempo en el que debe transmitir de acuerdo a su distancia a la radio base. En GSM se usan tiempos de bittimes, hasta 63. Este límite impone una cobertura máxima de las celdas GSM de 35 Km.

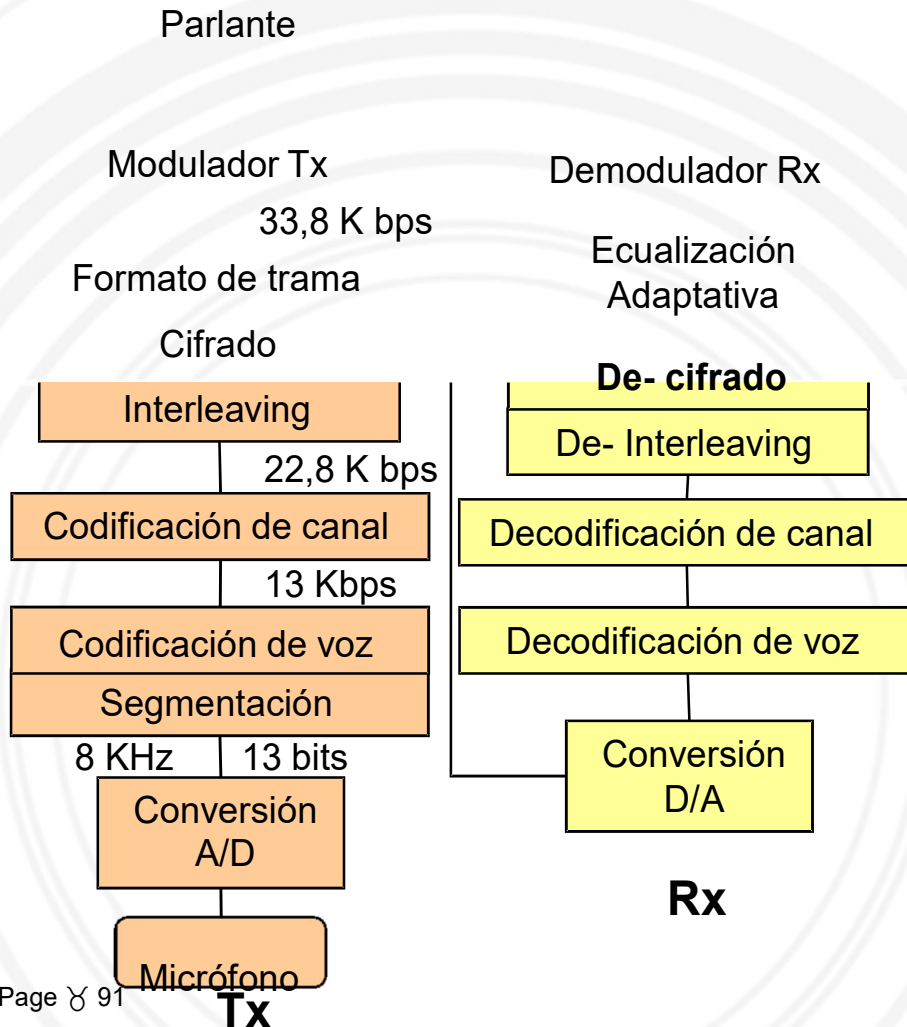
| TA  | From           | To             |
|-----|----------------|----------------|
| 0   | 0 $\mu$ s      | 3,69 $\mu$ s   |
| 1   | 3,69 $\mu$ s   | 7,38 $\mu$ s   |
| 2   | 7,38 $\mu$ s   | 11,07 $\mu$ s  |
| 3   | 11,07 $\mu$ s  | 14,76 $\mu$ s  |
| ... | ...            | ...            |
| 63  | 232,47 $\mu$ s | 236,16 $\mu$ s |

| TA Ring | Start   | End     |
|---------|---------|---------|
| 0       | 0       | 553,5m  |
| 1       | 553,5m  | 1107m   |
| 2       | 1107m   | 1660,5m |
| 3       | 1660,5m | 2214m   |
| ...     | ...     | ...     |
| 63      | 34,87km | 35,42km |

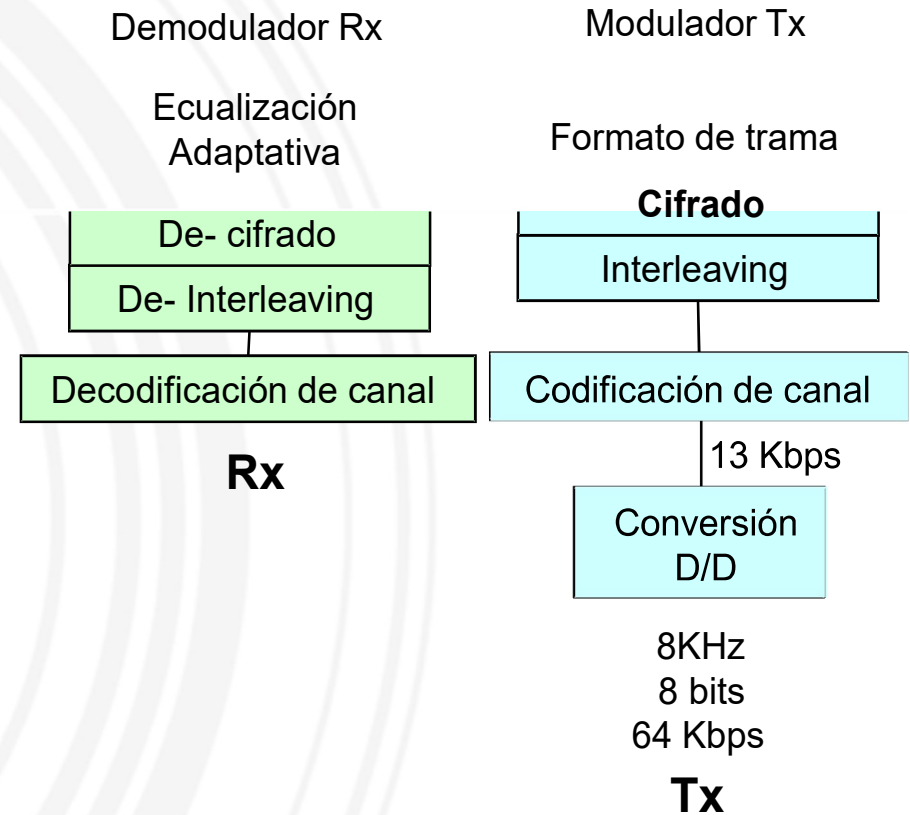


# ESTRUCTURA DE UE y RBS

## Terminal Móvil



## RBS GSM



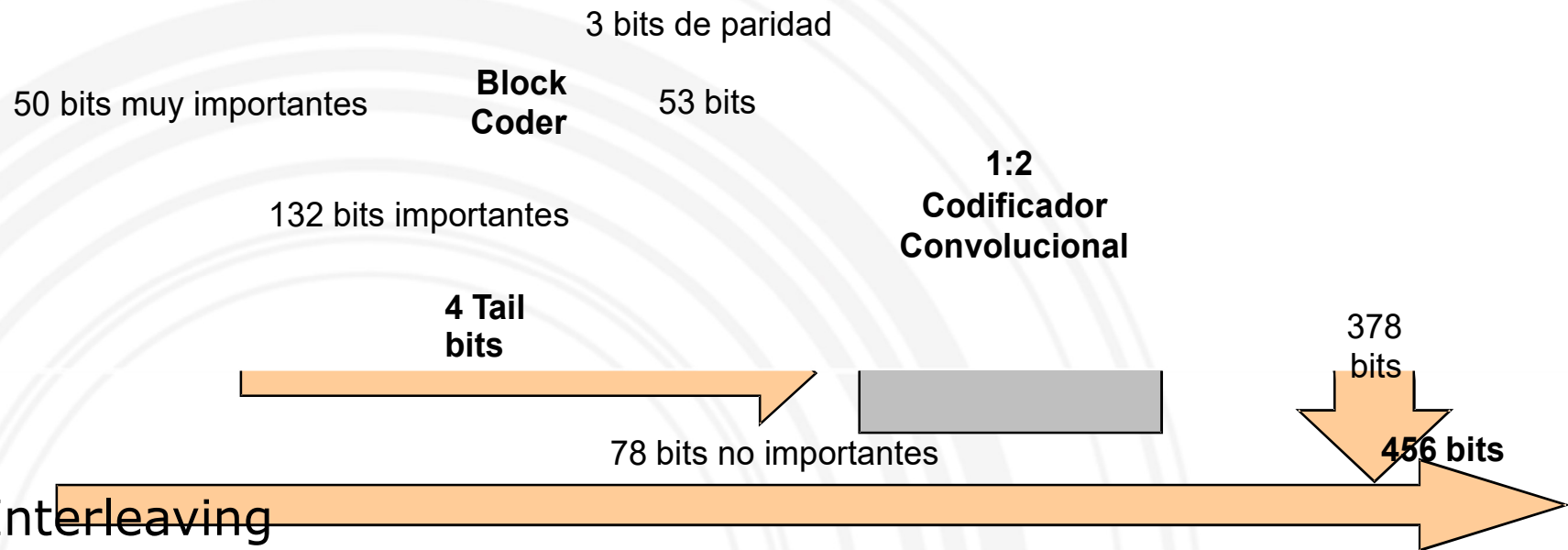
# ESTRUCTURA DE RBS y UE

- ✂ Conversión A/D: Conversión analógica – digital de la voz (PCM)
  - ✂ Muestreo: (Nyquist)  $F_s \geq 2W = 2 \times 3,4 \text{ KHz} = 6,8 \text{ KHz}$  (**8KHz**)
  - ✂ Cuantización: En GSM son usados 8192 niveles
  - ✂ Codificación: ( $2^{13} = 8192$ ) . Tenemos 13 bits por muestra (muestreo a 8 KHz y tengo 13 bits por muestra, la tasa de salida es de 104 Kbps)
- ✂ Segmentación y codificación de voz
  - ✂ **Los órganos del habla son aproximadamente constantes en una ventana** de 20 ms. Por lo que una muestra será representativa de 20 ms. de voz. Esto es similar a muestrear 50 veces por segundo
  - ✂ En vez de usar 13 bits por muestra GSM usa 260 bits, esto da una tasa por canal de 50 muestras/seg x 260 bits/muestra = 13 Kbps (HR: 6,5 Kbps)
- ✂ Codificación de canal
  - ✂ En esta etapa entran 260 bits y salen 456 bits codificados
  - ✂ Los 260 bits se dividen según su importancia relativa en:



# ESTRUCTURA DE RBS y UE

- 3 Bloques: 50 bits muy importantes, 132 importantes y 78 no tan importantes



Interleaving

- Dos niveles de Interleaving:

1. 456 bits se dividen en 8 bloques de 57 bits

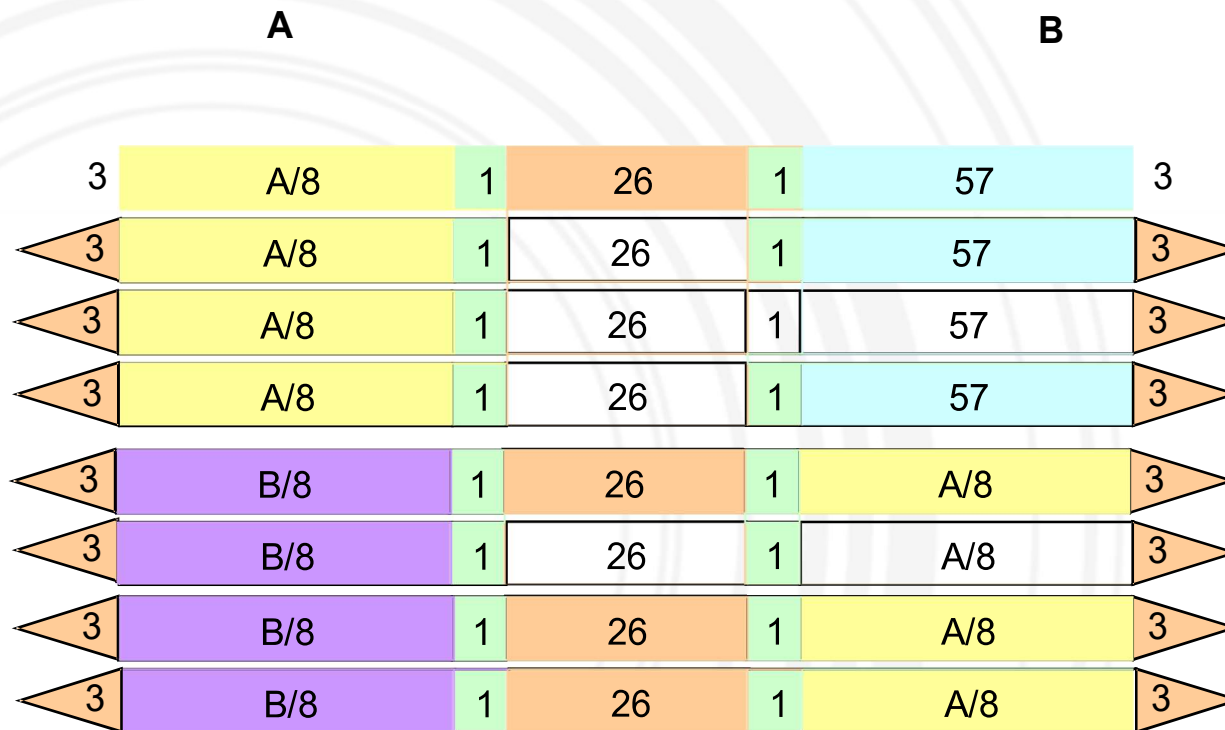
Burst Normal – 2 bloques de 57 bits ( $2/8 = 25\%$  BER)





# ESTRUCTURA DE RBS y UE

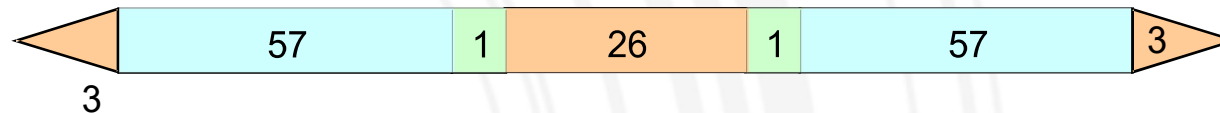
- En vez de mandar los 2 bloques de la misma muestra de 20ms intercala entre 2 muestras: ( $1/8=12.5\%$  BER)



# ESTRUCTURA DE RBS y UE

- ⌘ Cifrado/criptación:
  - ⌘ Algoritmo de cifrado de GSM A5. No agrega bits al burst, pero lo cifra de modo que nadie pueda interpretar la información enviada.
- ⌘ Formato de ráfaga:
  - ⌘ 26 bits de secuencia de entrenamiento
  - ⌘ 2 flag bits y 6 tail bits

**Total de 34 bits extra (en 20 ms)      456 bits, agrega  $34 \times 4 = 136$  bits)**



- ✂ Un TS en GSM 0,577 ms por lo que puede transportar (156,25 bits, 148 de burst y 8,25 de guard period)
- ✂  $(592 \text{ bits}) / (148 \text{ bits/burst}) = 4 \text{ burst} = 4 \times 156,25 \text{ bits} = 625 \text{ bits}$
- ✂ Tasa de transmisión es de 270,9 Kbps  $(156,25/0,577)$

✂ Modulación: GMSK

## CANALES LÓGICOS MAS IMPORTANTES

- ✂ Canal de control – BCCH: Sentido DL – PMP – El móvil identifica la radio base y se sincroniza con la misma ( $f_0$ , TS0). Tiene información de la red y de la radio base en particular
- ✂ Canal de Paging – PCH: Sentido DL – PMP – Avisa al móvil que tiene una llamada o SMS entrante. Contiene la identidad del móvil al que la red desea contactar

**Canal de acceso a la red – RACH: Sentido UL – PTP – El móvil accesa** la red para hacer una llamada, mandar un SMS o hacer un update de localización

- ⌘ Canal de control dedicado – SDCCH: Sentido UL/DL – PTP – Es un canal utilizado para la señalización del establecimiento de la llamada y también para envío de SMS
- ⌘ Canales de tráfico – TCH, PDCH: Sentido UL/DL – PTP – Es un canal para el tráfico de datos PDTCH (EDGE/GPRS) o de llamadas de voz TCH

The background features a series of light gray concentric arcs in the upper half. A horizontal bar with a gradient from orange to yellow is positioned in the lower half. The text is centered in the upper half, overlaid on the arcs.

# **4. PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN**

# OBJETIVOS de PLANIFICACION

- ⌘ Conexione de voz y datos móvil (pasaje sin  
s entre cortes- handover)  
celdas



- ⌘ Concentrador el aire
- ⌘ Comunicaciones personales
- ⌘ Calidad de telefonía fija
- ⌘ Capacidad razonable en el área de cobertura demandada

---

## **VENTAJAS & DESVENTAJAS**

### **VENTAJAS**

- ⌘ Rápido despliegue (Time To Market)

- ⌘ Menor mantenimiento que las redes de planta externa
- ⌘ Facilidad de acomodar el despliegue según la demanda

## **DESVENTAJAS**

- ⌘ Acceso múltiple
- ⌘ Handover
- ⌘ Espectro finito
- ⌘ Variabilidad del enlace de radio (incertidumbre en la calidad del mismo)

# ADMINISTRACION DE RECURSOS

⌘ Espectro ⌘ Potencia

⌘ Costo infraestructura  
de

⌘ Costo de

⌘ Para cada usuario es necesario:

⌘ Una radio base servidora (cobertura)

⌘ Un "canal" de tráfico

⌘ Potencia de Tx

# PROCESO DE PLANIFICACION

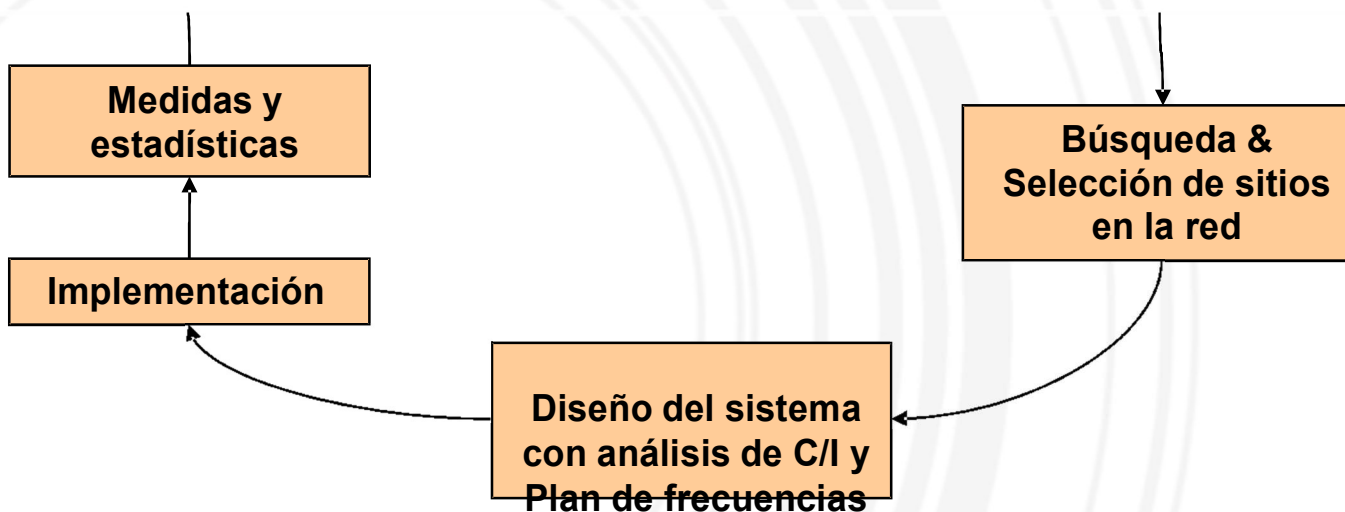
**Crecimiento de la Red**

**Requerimientos de Capacidad, Cobertura y Calidad de la red**

**Planificación Inicial**

**Optimización de sitios y parámetros**

**Pre-Planificación  
Plan de Cobertura & Capacidad**



# PROCESO DE PLANIFICACION

## ⌘ Planificación Inicial

- ⌘ Cálculos de Link Budget

- ⌘ Cobertura, planificación por capacidad de los sitios optimizando el uso del espectro disponible

- ⌘ Planificación y configuración de Parámetros (vecindades)

## ⌘ Planificación por capacidad (crecimiento de la red)

- ⌘ Manejo de tráfico (Direct Retry, HCS – Estructura jerárquica de celdas)

- ⌘ Instalación de celdas micro por tráfico, sectorización

- ⌘ Cell split

- ⌘ Frequency Hopping

# NIVELES DE SEÑAL

⌘ Nivel requerido de señal :  $SS_{req} = MS_{sens} + RF_{marg} + IF_{marg} + BL$

$MS_{sens}$  : Sensibilidad del móvil

$RF_{marg}$  : Margen de Rayleigh fading

$IF_{marg}$  : Margen de interferencia

**$BL$  : Body Loss**

⌘ Nivel de diseño de señal:

$$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o)} \quad \text{MS outdoor}$$

$$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o)} + CPL \quad \text{MS incar}$$

$$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o+i)} + BPL_{mean} \quad \text{MS indoor}$$

$LNF_{marg(o)}$  : Margen lognormal de fading outdoor

$LNF_{marg(o+i)}$  : Margen lognormal de fading outdoor + indoor

$CPL$  : Pérdida de penetración incar

$BPL_{mean}$  : Pérdida de penetración indoor media

# NIVELES DE SEÑAL

## ⌘ Márgenes:

- ⌘ El Margen de fading de modo de simplificar se tomará independiente del entorno (velocidad de móviles) y de la existencia de FH.

$$\text{Margen de Rayleigh fading : } RF_{\text{marg}} = 3 \text{ dB}$$

- ⌘ Para el caso del fading log-normal se basa en simulaciones y depende del tipo de entorno y del área de cobertura

|                               | Cobertura % |      |     |     |      |
|-------------------------------|-------------|------|-----|-----|------|
| $\sigma_{\text{LNF}}$<br>[dB] | 75          | 85   | 90  | 95  | 98   |
| 6                             | -3,7        | -1,2 | 0,5 | 3   | 5,5  |
| 8                             | -3,4        | -0,2 | 1,8 | 4,9 | 8,1  |
| 10                            | -3,1        | 0,7  | 3,2 | 6,8 | 10,7 |
| 12                            | -3,1        | 1,3  | 4,2 | 8,4 | 13,1 |
| 14                            | -3,2        | 1,8  | 5,1 | 9,9 | 15,3 |

# NIVELES DE SEÑAL

- ⌘ El Margen de interferencia depende del factor de reuso de frecuencias en la red, de la carga de la misma y del porcentaje del área de cobertura. Hay mecanismos para reducir la interferencia como DTX, FH, etc. En general se utiliza:

$$\text{Margen de interferencia : } IF_{marg} = 2 \text{ dB}$$

- ⌘ Body loss, es la pérdida por la cercanía al cuerpo humano, es más baja para frecuencias más altas

|  |
|--|
| Body Loss: $BL = 5 \text{ dB}$ (900 Mhz) |
|--|

|  |
|--|
| Body Loss: $BL = 3 \text{ dB}$ (1800/1900 Mhz) |
|--|

- ⌘ Pérdida por penetración en los autos:

|  |
|--|
| Pérdida de penetración inicar : $CPL = 6 \text{ dB}$ |
|--|



# NIVELES DE DISEÑO

⌘ Nivel requerido de señal para GSM 900 Mhz:

$$SS_{req} = MS_{sens} + RF_{marg} + IF_{marg} + BL = 104 + 3 + 2 + 5 = 94 \text{ dBm}$$

⌘ Nivel de diseño de señal para GSM 900 Mhz:

⌘ **Outdoor - Incar**

|  |            |
|--|------------|
| $SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o)}$       | MS outdoor |
| $SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o)} + CPL$ | MS incar   |

| Tipo de Area | $\sigma_{LNF(o)}$ [dB] |
|--------------|------------------------|
| Urbano denso | 10                     |
| Urbano       | 8                      |
| Suburbano    | 6                      |
| Rural        | 6                      |

# NIVELES DE DISEÑO

| Tipo de Area                                   | Cobertura [%] | $SS_{req}$ [dBm] | $LNF_{marg} (o)$ [dB] | $SS_{design}$ outdoor [dBm] | $SS_{design}$ in-car [dBm] |
|--|---------------|------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Urbana densa<br>$\sigma_{LNF} (o) = 10$ dB     | 75            | -94              | -3,1                  | -97,1                       | -91,1                      |
|  | 85            | -94              | 0,7                   | -93,3                       | -87,3                      |
|  | 90            | -94              | 3,2                   | -90,8                       | -84,8                      |
|  | 95            | -94              | 6,8                   | <b>-87,2</b>                | <b>-81,2</b>               |
|  | 98            | -94              | 10,7                  | -83,3                       | -77,3                      |
| Urbana<br>$\sigma_{LNF} (o) = 8$ dB            | 75            | -94              | -3,4                  | -97,4                       | -91,4                      |
|  | 85            | -94              | -0,2                  | -94,2                       | -88,2                      |
|  | 90            | -94              | 1,8                   | -92,2                       | -86,2                      |
|  | 95            | -94              | 4,9                   | <b>-89,1</b>                | <b>-83,1</b>               |
|  | 98            | -94              | 8,1                   | -85,9                       | -79,9                      |
| Suburbana + Rural<br>$\sigma_{LNF} (o) = 6$ dB | 75            | -94              | -3,7                  | -97,7                       | -91,7                      |
|  | 85            | -94              | -1,2                  | -95,2                       | -89,2                      |
|  | 90            | -94              | 0,5                   | -93,5                       | -87,5                      |
|  | 95            | -94              | 3                     | <b>-91</b>                  | <b>-85</b>                 |
|  | 98            | -94              | 5,5                   | -88,5                       | -82,5                      |

# NIVELES DE DISEÑO

♯ Indoor:  $SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o+i)} + BPL_{mean}$  MS indoor

$$LNF(o+i) = \sqrt{LNF(o)^2 + LNF(i)^2}$$

| Tipo de Area | BPL <sub>mea</sub> <sub>n</sub> [dB] | σ <sub>LNF(o)</sub> [dB] | σ <sub>LNF(i)</sub> [dB] | LNF <sub>(p+i)</sub> [dB] |
|--------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Urbano denso | 18                                   | 10                       | 9                        | 14                        |
| Urbano       | 18                                   | 8                        | 9                        | 12                        |
| Suburbano    | 12                                   | 6                        | 8                        | 10                        |

| Tipo de Area                                  | Coertura [%] | SS <sub>req</sub> [dBm] | LNF <sub>marg(o+i)</sub> [dB] | BPL <sub>mea</sub> <sub>n</sub> [dB] | SS <sub>design</sub> indoor [dBm] |
|---|--------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Urbana densa<br>σ <sub>LNF(o+i)</sub> = 14 dB | 75           | -94                     | -3,2                          | 18                                   | -79,2                             |
|   | 85           | -94                     | 1,8                           | 18                                   | -74,2                             |
|   | 90           | -94                     | 5,1                           | 18                                   | -70,9                             |
|   | 95           | -94                     | 9,9                           | 18                                   | <b>-66,1</b>                      |
|   | 98           | -94                     | 15,3                          | 18                                   | -60,7                             |
| Urbana<br>σ <sub>LNF(o+i)</sub> = 12 dB       | 75           | -94                     | -3,1                          | 18                                   | -79,1                             |
|   | 85           | -94                     | 1,3                           | 18                                   | -74,7                             |
|   | 90           | -94                     | 4,2                           | 18                                   | -71,8                             |
|   | 95           | -94                     | 8,4                           | 18                                   | <b>-67,6</b>                      |
|   | 98           | -94                     | 13,1                          | 18                                   | -62,9                             |
| Suburbana<br>σ <sub>LNF(o+i)</sub> = 10 dB    | 75           | -94                     | -3,1                          | 12                                   | -85,1                             |
|   | 85           | -94                     | 0,7                           | 12                                   | -81,3                             |
|   | 90           | -94                     | 3,2                           | 12                                   | -78,8                             |
|   | 95           | -94                     | 6,8                           | 12                                   | <b>-75,2</b>                      |
|   | 98           | -94                     | 10,7                          | 12                                   | -71,3                             |

# NIVELES DE DISEÑO

✂ Para un sistema GSM 900 Mhz y un 95 % del área de cobertura tenemos los siguientes niveles de diseño para cada entorno

✂ Para entornos urbanos densos:

MS outdoor: - 87,2 dBm

MS in-car: - 81,2 dBm

MS indoor:- 66,1 dBm

✂ **Para entornos urbanos:**

MS outdoor: -89,1 dBm

MS in-car: -83,1 dBm

MS indoor: -67,6 dBm

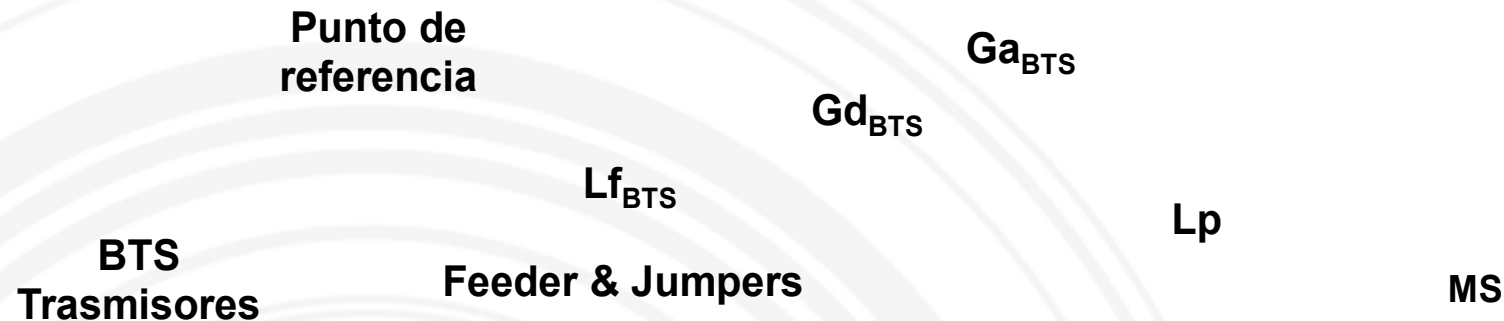
✂ Para entornos suburbanos - rurales:

MS outdoor: -91 dBm

MS in-car: -85 dBm

MS indoor:-75,2 dBm

# CALCULO de LINK BUDGET



$$DL: P_{inMS} = P_{outBTS} Lf_{BTS} + Ga_{BTS} Lp$$

$$UL: P_{inBTS} = P_{outMS} Lp Ga_{BTS} + Gd_{BTS} Lf_{BTS}$$

asumiendo que  $Lp_{UL} = Lp_{DL}$ , tenemos :

$$P_{outBTS} = P_{outMS} + Gd_{BTS} + P_{inMS} P_{inBTS}$$

# CALCULO de LINK BUDGET

⌘ El sistema está balanceado cuando

$$P_{in MS} \quad MS_{sens} = P_{in BTS} \quad BTS_{sens} \Rightarrow P_{in MS} = P_{in BTS} \quad (MS_{sens} \quad BTS_{sens})$$

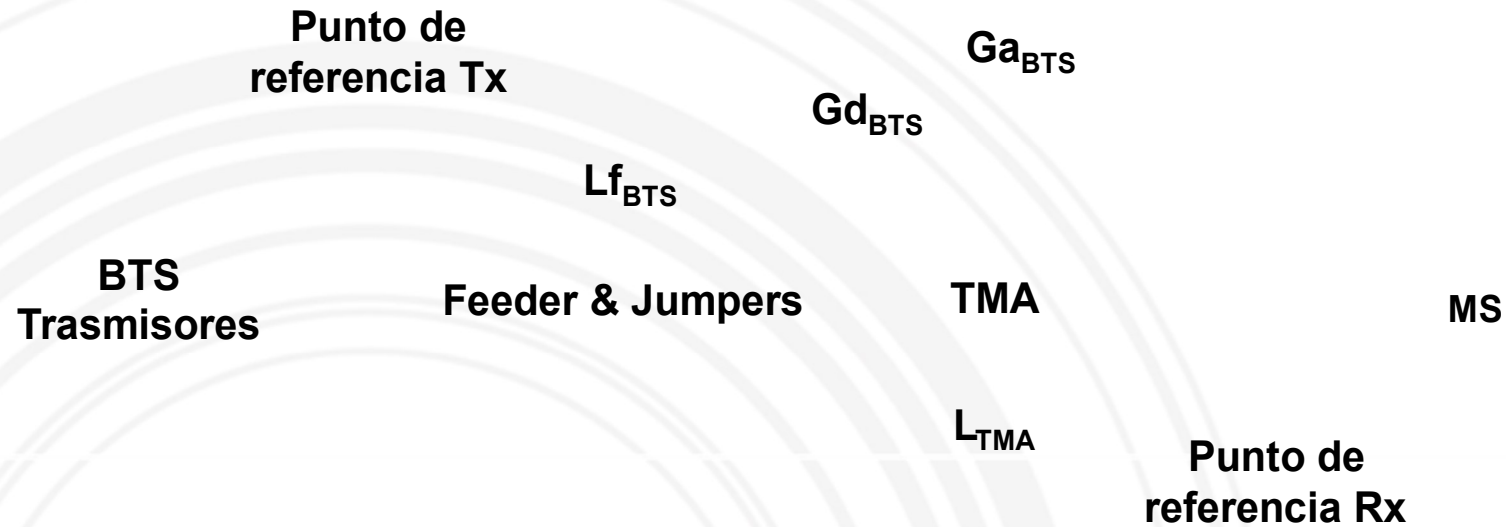
$$P_{outBTSbal} = P_{outMS} + Gd_{BTS} + MS_{sens} \quad BTS_{sens}$$

$$EIRP = P_{outBTSbal} \quad Lf_{BTS} + Ga_{BTS}$$

⌘ **Ejemplo:** MS clase 4 tiene Pout= 33 dBm, si la ganancia por diversidad de antenas en la radiobase es de 3,5 dB y la sensibilidad del móvil y la radiobase -104 y -110 respectivamente. Cual es la potencia que deben de tener mis radiobases para que el sistema esté balanceado?

⌘ **Respuesta : 42,5 dBm**

# CALCULO de LINK BUDGET con TMA



$$DL: P_{inMS} = P_{outBTS} L_{f_{BTS}} + Ga_{BTS} L_{TMA} L_p$$

$$UL: P_{inBTS} = P_{outMS} L_p + Ga_{BTS} + Gd_{BTS}$$

$$P_{outBTS} = P_{outMS} + Gd_{BTS} + L_{TMA} + L_{f_{BTS}} + P_{inMS} P_{inBTS}$$



$$P_{outBTSbal} = P_{outMS} + Gd_{BTS} + Lf_{BTS} + MS_{sens} \quad BTS_{sens}$$



# CALCULO de LINK BUDGET

## ⌘ Utilidad del Link Budget:

- ⌘ Cálculo de la potencia a Tx de la radiobase para que el sistema quede balanceado
- ⌘ Estudio de los factores que influyen en la pérdida de señal desde la radio base al móvil y viceversa (utilidad o no de TMAs)
- ⌘ Pérdida máxima permitida, calculada como:

$$L_{path\ max} = EIRP_{bal} - SS_{design}$$

- ⌘ Como la pérdida de camino es función de la distancia (modelos de propagación) podemos calcular el radio máximo de la celda

$$L_{path\ max} = f(d_{m\acute{a}x})$$

# PLANIFICACION POR COBERTURA y CAPACIDAD

## ⌘ Datos a considerar:

- ⌘ Tecnología celular empleada
- ⌘ Servicio a brindar (voz, datos)
- ⌘ Área a cubrir
- ⌘ Cantidad de clientes en el área (densidad de clientes)
- ⌘ Espectro disponible por el operador (número de canales)
- ⌘ Patrón de re uso de frecuencias
- ⌘ Tráfico demandado (tráfico por usuario)
- ⌘ Probabilidad de bloqueo (2%)
- ⌘ C/I de diseño

# PLANIFICACION POR COBERTURA y CAPACIDAD

## ⌘ Ejemplo:

Dada un área de 4x4 Km., en la cual se encuentran uniformemente distribuidos 5000 usuarios con equipos móviles AMPS que realizan llamadas de voz, calcular el radio de la celda, si:

- ⌘ El operador dispone de 28 canales de frecuencia en total
- ⌘ El sistema permite un cluster de 7 celdas
- ⌘ La probabilidad de bloqueo de diseño es de 2%
- ⌘ El tráfico por usuario en la hora pico es de llamada con una duración de 3 minutos.

**Fórmula de utilidad:**  $E^{-1} B$  (circuitos=3; probabilidad de bloqueo=0.02) = 0,5 Erl

# OPTIMIZACIÓN – MEDIDAS y KPIs

⌘ Drive tests





# OPTIMIZACIÓN – MEDIDAS y KPIs



# KPIs: Key Performance Indicators

- ⌘ ITU-T describió un modelo general para Quality-of-Service para ser utilizado en redes de telecomunicaciones, desde una perspectiva del usuario final.
- ⌘ Las tres principales categorías de indicadores de performance son:
  - ⌘ Accesibility
  - ⌘ Retainability
  - ⌘ Integrity

# Accessibility

- ⌘ La capacidad de obtener el servicio con tolerancias especificadas y bajo otras condiciones dadas, cuando lo requiere el usuario.

Es un porcentaje de los intentos de acceso exitosos realizados por el usuario final

- ⌘ **Las fallas de establecimiento de conexión pueden ser llamadas** bloqueadas por falta de recursos en las redes en algún nivel.

Por ejemplo en la red de transmisión, por falta de potencia, problemas del radio enlace, fallas en la señalización, entre otras muchas posibles causas

# Retainability

- ⌘ La probabilidad que el servicio, una vez obtenido, pueda continuar brindándose bajo condiciones y duración temporal determinadas
- ⌘ Es el porcentaje de los establecimientos de conexiones exitosos que son mantenidos durante toda la llamada (sesión) y son **finalizados por el usuario**
- ⌘ El KPI estándar para retainability es la tasa de llamadas caídas (Dropped Call Rate)  
A nivel de celda es definido como el número de llamadas caídas en la celda dividido por el número total de llamadas terminadas (por el usuario o caídas)





# Integrity

- ⌘ El grado de calidad con la cual el servicio es prestado.  
Una vez obtenido, la integridad del servicio representa la calidad de experiencia percibida por el usuario durante la llamada o la sesión
- ⌘ Es complicado de medir desde el punto de vista del sistema (medidas en las RBS y los UE)
- ⌘ Como indicador de integridad de servicios para CS se utiliza BLER
- ⌘ En el caso de PS además del BLER se usa el throughput como indicador de calidad del servicio

# CONTROL DE PARAMETROS DE DISEÑO

⌘ **Cobertura:** porcentaje de la zona cubierta (Z%) o perimetral (L%) en un porcentaje de tiempo (T%)

⌘ **Tráfico:** Probabilidad de bloqueo (congestión). Dimensionamiento de canales necesarios en el sistema

⌘ **Calidad de fidelidad de señal:**

⌘ **Métodos objetivos:**

- **Sistemas analógicos:**

- Índice de inteligibilidad: función del índice de nitidez (IN)
- SINAD relacionada con MOS y se puede dar en Volt, dBμ o dBm

$$SINAD = \frac{Señal + Ruido + Distorción}{Ruido + Distorción} = \frac{S + N + D}{N + D}$$

- Sistemas digitales: BER (Bit error rate o BLER)

⌘ **Métodos subjetivos:**

Nota media de opinión - MOS (Mean Opinion Score)

# **INGENIERIA DE ACCESO CELULAR**

## **Redes de Acceso**

Ing. Natalia Pignataro  
Ing. José Acuña

