

Sistemas de Comunicaciones Móviles. Principios básicos

Diego Méndez Romero

Universidad Carlos III de Madrid

Curso 2018-2019

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Índice

1 Principios fundamentales

- Introducción
- Capa física
- Efectos de canal

2 Diseño de sistema móvil

- Restricciones por cobertura
- Restricciones por interferencia
- Restricciones por tráfico

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Introducción

- Sistema de comunicaciones móviles
 - Transmisión de voz y datos (+ señalización)
 - Móviles \Rightarrow Movilidad de los terminales
 - Movilidad \Rightarrow Área de cobertura
 - Área de cobertura
 - Establecer
 - Mantener
 - Calidad
 - Dos sentidos de comunicación
 - Downlink (estación fija a terminal móvil)
 - Uplink (terminal móvil a estación fija)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

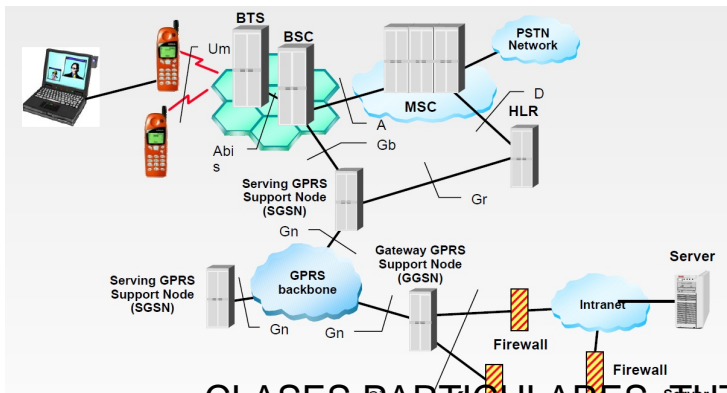
Composición

- Estaciones fijas
 - Estación base (BS)
 - Se controla desde una unidad de control
 - Son fuentes/destinatarias de tráfico
 - Envía información de señalización
 - Estación de control (CS)
 - Gobierna automáticamente el funcionamiento de otra estación radio
 - Estación repetidora (RS)
 - Retransmiten las señales recibidas (mayor cobertura)
- Estaciones móviles
 - Estación radioeléctrica prevista para su utilización en un vehículo en marcha o que efectúa paradas en puntos intermedios

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Ejemplo de una red GPRS



Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVIA WHATSAPP. 689 45
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Clasificación de sistemas móviles

- Acceso privado (PMR, *Private Mobile Radio*)
 - Área de cobertura limitada
 - Sin acceso a RTPC (PSTN)
 - Clientes
 - Empresas (uso en despachos)
 - Servicios públicos (policía, ambulancias, bomberos)
 - Ejemplo: Sistema TETRA (*Trans European Trunked Radio*) o walkie-talkies.
- Acceso Público
 - Gran cobertura
 - Conexión a RTPC (y resto de redes telefónicas) y/o Internet
 - Prestaciones similares (o superiores) a la telefonía fija e incorporación de nuevos servicios

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Clasificación de sistemas móviles

- Símplex
 - Utilizan la misma frecuencia para TX y RX, pero en diferentes instantes de tiempo
 - Ejemplo: PTT (Push to Talk)
- Half-dúplex
 - Uso de diferentes frecuencias para TX y RX (f_1 y f_2)
 - Estación base incorpora un duplexor → estación base funciona en dúplex (retransmite las comunicaciones que recibe) y los terminales móviles en símplex
 - No permitido el uso simultáneo
- Full-dúplex
 - Uso de diferentes frecuencias para TX y RX (f_1 y f_2)

Cartagena99

CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS MÓVILES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

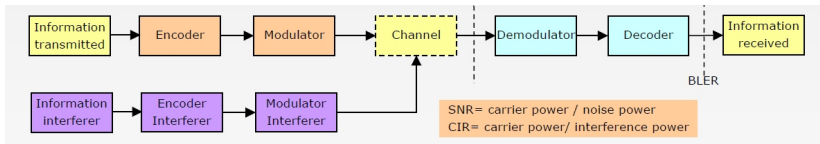
Introducción

- Estructura de la red
 - Red de acceso radio o interfaz aérea
 - Cómo se comparten los recursos radio entre móviles en el uplink
 - Cómo cada móvil puede distinguir su información en el downlink
 - Núcleo de red
 - Cómo se transmiten las comunicaciones entre diferentes redes de acceso
 - Cómo se interconectan distintos tipos de red
 - Móvil-Telefonía fija
 - Móvil-Internet

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Esquema general de comunicaciones

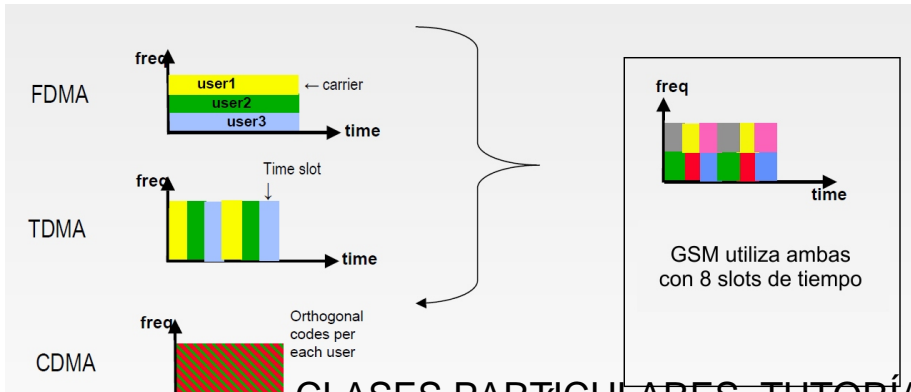


- Transmisor
 - MS (móvil) en Uplink
 - Estación en Downlink
- Receptor
 - Relación señal a ruido
 - Medir sensibilidad a ruido
- SNR
 - Relación portadora a ruido
- CIR
 - Relación portadora a interferencia

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Técnicas de acceso múltiple



Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVIA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Técnicas de acceso múltiple

- GSM
 - Utiliza múltiples frecuencias o portadoras
 - Utiliza 8 slots de tiempo en cada portadora
 - Asigna slots a usuario o estación base para establecer comunicación
- UMTS
 - Utiliza WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*)
 - Misma frecuencia y ancho de banda para todos
 - Técnica de espectro ensanchado
 - Basada en código ortogonales
- LTE
 - Utiliza SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Alteraciones del canal

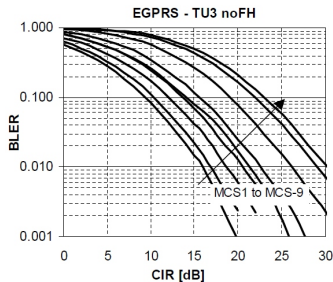
- Ruido
 - Fuentes externas
 - Del receptor
- Interferencias
 - Elementos
 - Móvil transmisor o receptor
 - Móvil interferente
 - Interferencia co-canal
 - Un sistema transmite en la frecuencia de otro sistema
 - Interferencia adyacente
 - Interferencia entre frecuencias próximas

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Medida de Calidad

- Bit Error Rate o Block Error Rate
 - Refleja la cantidad de errores de recepción de un sistema
 - Dependencias
 - Tipo de modulación
 - Esquema de codificación
 - Relación SNR
 - Relación CIR



Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Modulaciones

- Diferentes modulaciones según sistema de comunicaciones móviles
 - Varias modulaciones alternativas en algunos sistemas
 - Ejemplo: EDGE puede usar GMSK y 8PSK
 - GMSK robusto, pero baja tasa binaria (1 bit/símbolo)
 - 8PSK menos robusto, pero mayor tasa binaria (3 bits/símbolo)
 - *Link Adaptation*
 - Mecanismo de cambio de modulaciones y/o esquema de codificación con una misma tecnología

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Esquemas de Codificación

- Diferentes esquemas según sistema de comunicaciones móviles
- Diferente grado de protección frente a ruido
 - Mayor o menor redundancia
- Ejemplo: esquemas de modulación y codificación en EDGE

Esquema	Modulación	Tasa de bloques (bits)	R_b [kbps]
MCS-9	8-PSK	2x592	61.85
MCS-8	8-PSK	2x544	57.05
MCS-7	8-PSK	2x448	44.8
MCS-6	8-PSK	592	29.6
MCS-5	8-PSK	448	22.4
MCS-4	GMSK	352	17.6

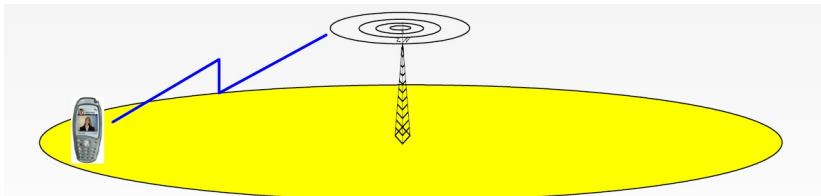
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Pathloss

- Pérdidas de trayecto (*pathloss*)

$$L_{\text{path}}[\text{db}] = 32 + 20\log(f[\text{MHz}]) + 20\log(d[\text{km}])$$

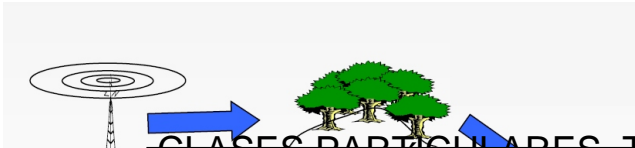


Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVIA WHATSAPP. 689 45
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Slow fading

- Pérdidas adicionales debidas a obstáculos en el camino de propagación
- También llamado *Shadowing* o *Shadow fading*
- Provoca variaciones en la media de la señal recibida
- Slow \Rightarrow Cambios en la media lentos en relación a la velocidad del terminal móvil
- Representado mediante una distribución log-normal

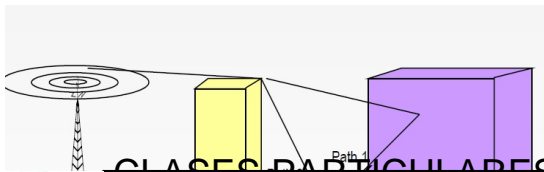


Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVIA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Fast fading

- También denominado *Multipath fading*
- Propagación radio implica múltiples trayectorias de una misma señal que pueden coincidir en un punto debido a reflexiones y refracciones
- Diferentes caminos provocan señales de diferente amplitud y diferente fase
- Combinación de esas señales genera distorsión, degradando la señal



Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Fast fading

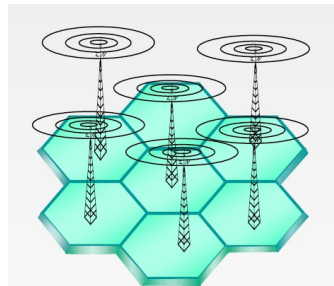
- La amplitud y la fase depende de:
 - Localización del terminal
 - Frecuencia utilizada
 - Tiempo (si terminal está en movimiento)
- Cambios rápidos en el nivel de señal recibido
- Dos casos:
 - Co-fase (suma constructiva)
 - Anti-fase (suma destructiva)
- Caídas en la potencia (*fading dips*) de la señal total cuando las distintas contribuciones se suman de forma regresiva → hasta 20 dB

Cartagena99

CLASES PARTICULARES Y TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Principios

- Red celular compuesta de celdas
 - Teóricamente
 - Celdas circulares
 - En la realidad
 - Celdas completamente irregulares ("amorfas")
 - ¿Qué se hace en la práctica?
 - Se suponen celdas regulares, generalmente hexagonales
 - BTS en el centro de cada celda (omnidireccional)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Cáculo del Link Budget

- Calcular la cobertura o rango celular en el Uplink y Downlink
- Intuición inicial del despliegue y dimensionado de equipos
- Dos opciones
 - Cobertura total → la mínima de ambas (generalmente, limita UL)
 - Diseñar para igualar ambas (controlando la potencia transmitida)
- Mínimo rendimiento en recepción
 - Establecido en normativa 3GPP
 - Valores de sensibilidad mínima en receptores (MS, Estación)
 - Especificados según banda de frecuencias, tipo de canal (urbano, rural), SNR
- Pérdidas

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Balance de potencias

- Ecuación general

$$S_{RX} \leq P_{RX} = P_{TX} - L_{TX} + G_{TX} - L_{PathLoss} - L_A + G_{RX} - L_{RX}$$

- P_{TX} Potencia transmitida
- L_{TX} Pérdidas en el sistema transmisor
- G_{TX} Ganancia de la antena de transmisión
- $L_{PathLoss}$ Pérdidas por propagación (modelo clásico o especializado)
- L_A Pérdidas adicionales (márgenes de seguridad, fading, etc)
- G_{RX} Ganancia de la antena receptora
- L_{RX} Pérdidas del sistema de recepción
- P_{RX} Potencia total recibida en el receptor
- S Sensibilidad

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Modelos de propagación

- Definición

- Relacionar las pérdidas de transmisión radio con la distancia, frecuencia y altura de la estación base

- Modelo clásico

$$L_{PathLoss}[db] = 32 + 20\log(f[MHz]) + 20\log(d[km])$$

- Modelo Vehicular Test

$$d[km] = 10^{R_{log}}$$
$$R_{log} = \frac{L_{PathLoss} - 80 - 21\log(f[MHz]) + 18\log(h_{bts})}{40(1 - 0,004h_{bts})}$$

Modelos de interferencia
Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVIA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Modelos de propagación

- Modelo Okumura-Hata

- Entornos urbanos

$$L_{PathLoss} = 69,55 + 26,6\log(f[MHz]) - 13,82\log(h_{bts}) - a(h_m) + (44,9 - 6,55\log(h_{bts})\log(d[km]))$$
$$a(h_{bts}) = \begin{cases} (1,1\log(f[MHz]) - 0,7)h_{bts} - (1,56\log(f[MHz]) - 0,8) & \text{Ciudad pequeña} \\ 8,29(\log(1,54h_{bts}))^2 - 1,1 & \text{Ciudad grande, } f \leq 200MHz \\ 3,2(\log(11,75h_{bts}))^2 - 4,97 & \text{Ciudad grande, } f \geq 400MHz \end{cases}$$

- Modelo Cost-231

- Más complejo todavía

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Cálculo de interferencias

● Interferencias

- Número elevado de usuarios
- Aumenta el número de estaciones base y de MS
- Aumenta la reutilización de frecuencias
- Múltiples sistemas interferentes
- Evaluado mediante C/I

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Cálculo de interferencias

- Relación C/I
 - C Potencia de la portadora
 - I Suma de potencias de sistemas interferentes
- Dos casos
 - Interferencia en DL
 - Receptor es MS, recibiendo de BTS
 - El resto de BTS pueden ser interferentes
 - Interferencia cocanal (misma frecuencia)
 - Interferencia en UL
 - Receptor es BTS, recibe de un MS
 - Otros MS en otras celdas pueden ser interferentes
 - Interferencia cocanal (misma frecuencia)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Cálculo de interferencias

- Distancia de Reuso
 - Distancia física mínima entre dos transmisores que utilizan la misma frecuencia para garantizar una determinada calidad
- Algoritmo de asignación de recursos
 - Frecuencia y potencia MS
 - Frecuencia y potencia de BTS
- Objetivo de diseño
 - Encontrar una asignación de recursos y distancia de reuso que permita garantizar una C/I

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Cálculo de interferencias

- Organización en clusters de k celdas
- Mismas N frecuencias utilizadas en todos los clusters
- Diferentes frecuencias en cada celda de un cluster
 - N/k frecuencias por celda



Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVIA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Cálculo de interferencias

- Factor de reuso k
 - Número de celdas por cluster
 - $k = ((i + j)^2) - ij$ con $i, j = 0, 1, 2, 3, \dots$
 - $k = 1, 3, 4, 7, 9, \dots$
- Distancia de reuso (caso hexagonal)
 - $D = \sqrt{3k}R$
- Compromiso capacidad y calidad
 - Reuso bajo ($k \downarrow$) \Rightarrow Alta interferencia, Alta capacidad, Baja cobertura
 - Reuso alto ($k \uparrow$) \Rightarrow Baja interferencia, Baja capacidad, Alta cobertura
- Plan celular simétrico
 - 6 interferentes

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Cálculo de interferencias

- Sectorización
 - Mejorar C/I
 - Reducir número de sistemas interferentes
 - Uso de antenas direccionales
 - Cada celda se divide en S sectores
 - $S = 3$, ángulo 120°
 - $S = 6$, ángulo 60°
 - Frecuencias asignadas a la celda se dividen entre sus sectores
 - Se reduce el número de interferentes de 6 a 2 (a distancia D)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Cálculo de interferencias

- Factor de propagación α
 - Caracteriza aproximadamente las pérdidas de propagación de un emisor para diferentes entornos
 - $P_R = P_T/d^\alpha$
- Potencia de portadora
 - Peor caso, MS situado en el borde de la región de cobertura (a distancia R)
 - $C = P_T/R^\alpha$
- Potencia interferente total (caso hexagonal)
 - Se asumen BTS interferentes a distancia D (reuso) del MS
 - $I = N_I P_T/D^\alpha$
 - N_I Número de sistemas interferentes a distancia D

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Número de terminales

- M terminales móviles en una celda
 - Tasa de llegadas (λ) con distribución Poisson
 - Tiempo de servicio ($1/\mu$) con distribución exponencial
 - Intensidad de tráfico ofrecido $I_O = \lambda/\mu$ Erlangs
- Densidad de terminales (w)
 - Número de terminales por unidad de área (ejemplo: $w = \text{usuarios}/\text{km}^2$)
- Relación
 - $M = wA$ siendo A el área de una celda
 - Caso hexagonal $A = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70

Análisis de tráfico

- Tráfico total de una celda
 - $I_T = MI_0$
- Número de canales
 - En general, número de frecuencias N_F por celda
 - En GSM, 8 canales por frecuencia, en total, $8N_F$
- Condición de diseño
 - Probabilidad de bloqueo P_B
 - Cola M/M/c/c \Rightarrow Erlang-B

Cartagena99

CLASES PARTICULARES TUTORÍAS
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP. 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SC
CALL OR WHATSAPP. 689 45 44 70