



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FI DE CARRERA

TÍTOL:

SOFTWARE DE SIMULACIÓN MEDIANTE MATLAB DE SISTEMAS DE
COMUNICACIÓN MÓVILES ENFOCADO A LA DOCÉNCIA

AUTOR:

MARIA MONTSERRAT PONCE LEÓN

TITULACIÓ:

INGENIERIA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIONES, ESPECIALIDAD SISTEMAS
ELECTRONICOS

DIRECTOR:

RAMON GUZMAN SOLA

DEPARTAMENT: 739

PROJECTE FI DE CARRERA

RESUM (màxim 50 línies)

Este proyecto se basa en la futura asignatura obligatoria en el Grado de Sistemas Electrónicos, Comunicaciones Móviles. Primero obtendremos conocimientos de los temas que se va a implantar y lo estudiaremos.

Segundo aprenderemos a programar con GUIDE uno de los software del potente programa de MATLAB.

Y por último, y la parte más complicada, es poder realizar un simulador, que tenga en cuenta toda la materia docente y puedan utilizar futuros estudiantes para prácticas o incluso para resolver ejercicios. Por ello, este proyecto se hace con el fin de que el futuro docente, tenga todo el material necesario para realizar dicha asignatura y además un simulador con el cual los alumnos puedan utilizar.

Paraules clau (màxim 10):

CIR	CDMA	BTS	GUIDE/GUI
GSM	Pb	Ph	Pm

Software de simulación mediante MATLAB de sistemas de comunicación móvil enfocado a la docencia



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Índice

1.	Introducción	7
1.1.	Objetivos.....	7
1.2.	Justificación del P.F.C	7
2.	Teoría de las Comunicaciones Móviles	8
2.1.	Historia de radiocomunicaciones entre estaciones.	8
2.1.1.	Introducción a las ondas electromagnéticas.	8
2.1.2.	Descripción de una estación base.....	9
2.2.	Propagación	10
2.2.1.	Señal recibida en el terminal móvil.....	10
2.2.2.	Zona de cobertura.....	10
2.2.3.	Calidad de enlace (Probabilidad de error).....	10
2.2.4.	Modelo tierra plana	11
2.3.	Relación atenuación con la distancia	12
2.4.	Modelo EGLI.....	12
2.5.	Modelo Okumura-Hata	12
2.5.1.	Descripción.....	12
2.5.2.	Desarrollo	13
2.6.	Límites de la zona de cobertura per asegurar que un tanto por ciento de ubicaciones se reciben correctamente	14
2.7.	Gestión de potencias	14
2.8.	Desvanecimientos lentos.....	15
2.9.	Desvanecimientos rápidos	17
2.10.	Concepto de entrelazado	17
2.11.	Técnica de ingeniería radio	18
2.11.1.	Fiabilidad de un canal Rayleigh.....	18
2.11.2.	Técnica de diversidad.....	20
2.11.3.	Probabilidad de error con diversidad	20
2.12.	Sistemas celulares	21
2.12.1.	Sistemas pre-celulares	21

2.12.2. Sistemas celulares	21
2.12.3. Dimensión celulares	22
2.13. Handover (Traspaso de canal al cambiar de célula)	22
2.13.1. Cálculo de CIR	22
2.13.2. Relación entre CIR i K	23
2.13.3. Sectorización	23
2.13.4. Eficiencia de un sistema celular	24
2.13.5. Tipos de célula	25
2.13.6. Funciones de un sistema celular	25
2.13.7. Tiempo de tránsito en una célula.....	26
2.13.8. Probabilidad de handover.....	26
2.13.9. Modelo de flujo	26
2.13.10. Tráfico ofrecido.....	27
2.13.11. Probabilidad de bloqueo (Erlang-B)	29
2.13.12. Priorización del handover.....	29
2.13.13. Probabilidad de interrupción	30
2.14. GSM.....	31
2.14.1. Bandas de frecuencia GSM	31
2.14.2. Clases de potencia	31
2.14.3. Modulación.....	31
2.15. CDMA	31
2.15.1. Transmisor CDMA.....	31
2.15.2. Control de potencia.....	32
2.15.2.1. Presencia de Fading Lento	32
2.15.2.2. Presencia de Fading Rápido	32
2.15.3. Codificación del canal	32
2.15.4. Propagación multi camino.....	33
2.15.5. Receptor Rake	33
2.15.6. Soft Handover	34
2.15.7. Reuso completo de frecuencias	34
2.15.8. Gestión de potencias.....	34
2.15.9. Cálculo de EbNoobjetivo	35
2.15.10. Control de admisión	35

3.	Simulador de sistema de comunicaciones móviles.	36
3.1.	El entorno de desarrollo de interfaces del usuario, GUIDE	36
3.1.1.	Iconos de la pantalla GUIDE	37
3.1.2.	Flujo de operaciones de dadas de una GUIDE.....	40
3.2.	Funciones de MATLAB para GUIDE.	41
3.2.1.	Handles.....	41
3.2.2.	Funciones get y set	41
3.2.3.	Mensajes por pantalla.....	42
3.3.	Entono de MATLAB para la creación de ejecutables.	42
4.	Estructura del simulador.....	43
4.1.	Portada	44
4.2.	Temas 1 y 2.....	46
4.3.	Tema 3	48
4.4.	Tema 4	50
4.5.	Tema 5	52
5.	Resolución de ejercicios teóricos.	44
6.	Conclusiones y posibles mejoras	69
7.	Bibliografía.....	70

1. Introducción

1.1. Objetivos

El objetivo de este proyecto es realizar un simulador de una base de comunicaciones móviles, con el fin de solucionar problemas de la asignatura de teoría Comunicaciones Móviles (COMO).

Para el diseño del simulador primero se realiza un estudio de los diferentes temas que se imparten en esta asignatura.

Seguidamente obtendremos conocimientos de Matlab i GUIDE, para así después poder realizar un simulador gráfico, que nos permite realizar una de las herramientas de Matlab con mayor potencia en interfaces gráficas.

1.2. Justificación del P.F.C

Debido al gran desarrollo que hay hoy en día con la telefonía móvil, he creído que con proyecto es una buena manera de mostrar y entender su funcionamiento.

Además, este proyecto tiene una orientación a la docencia, ya que el simulador creado está basado en cómo se impartirá la futura asignatura de Comunicaciones Móviles, separando esta partición para las necesidades de cada tema docente.

Este simulador está pensado para poder ser utilizado en la parte práctica de la asignatura, solucionar problemas, proporcionar datos a la estación base y obtener los resultados. Además, los alumnos podrán solucionar los ejercicios proporcionados en clase y podrán obtener unos resultados más visuales (gráficas).

Por todos estos aspectos y el gran interés que tenía en esta asignatura, este proyecto se basa en crear un simulador con finalidad de tener una herramienta docente complementaria para que los alumnos puedan alcanzar más conocimientos.

2. Teoría de las Comunicaciones Móviles

2.1. Historia de radiocomunicaciones entre estaciones.

2.1.1. Introducción a las ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas fueron descritas por primera vez por James Clerk Maxwell. Pero fue Heinrich Rudolf Hertz entre 1886 y 1888 que validó el experimento de la teoría de Maxwell.

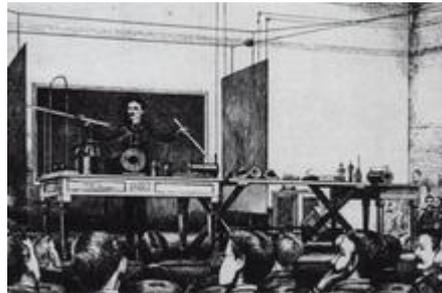


Figura 2.1.1. Heinrich Rudolf Hertz

La radiación electromagnética, o ondas electromagnéticas, son ondas que se propagaban el espacio con un componente eléctrico y un campo magnético. Estos dos componentes oscilan en líneas rectas respecto ellos y respecto a la dirección de propagación, y están en fase entre ellos. La radiación electromagnética en diferentes tipos según la frecuencia de la onda (en orden creciente de frecuencia): ondas de radio, microondas, rayos T, radiación infrarroja, luz visible, radiación ultravioleta, rayos X y radiación gamma.

La radiación electromagnética lleva energía y momento lineal que pueden ser transmitidos cuando interactúa con la materia.

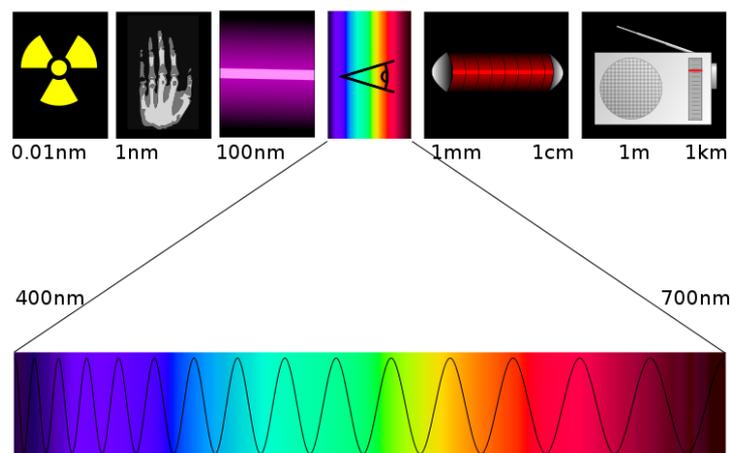


Figura 2.1.1.2. Espectro visible

2.1.2. Descripción de una estación base.

Cuando vamos por la ciudad seguramente ha visto una gran cantidad de torres inalámbricas para todos los lugares. Se pueden ver en los techos de las casas y los edificios, así como en terrenos.

Hay muchos servicios que utilizan estas torres como emisoras de radio, estaciones de televisión, estaciones de taxis y estaciones base móvil. Con frecuencia la gente llama antena en la torre con el que es incorrecto. Las antenas son elementos que transmiten y reciben señales de radiofrecuencia, y como hemos dicho antes las antenas se instalan en las torres.

Las estaciones base móvil, conocidas como BTS (Base Transceiver Station), se pueden identificar a gran distancia por las antenas en forma rectangular, de color blanco o gris, instaladas en la cima de la torre. En algunas ocasiones las Antenas se pueden instalar en estructuras, como por ejemplo en paredes de edificios.

Los elementos principales de una BTS son:

Antenas, Torre, Equipos de comunicación o radio base, enlace con la central de telefonía y planta eléctrica.

En general en una BTS se instalan varias antenas de transmisión y recepción. Para obtener la mejor relación ganancia de la señal y cobertura, se divide el área de acción en sectores que son atendidos por antenas separadas. Por ejemplo, una BTS para cubrir un área de 360 ° dividiéndola en tres sectores de 120 °. Se instalan antenas separadas para cada sector y así transmitir y recibir señales. Si observamos la torre de la mayoría de las BTS se podrá observar que hay antenas instaladas en varias direcciones.

En algunas configura utiliza una sola antena para cada sector mientras que en otros puede haber dos o más (diversidad de espacio).

Las BTS modernas equipadas con un sistema de GPS para sincronizar las señales y emitir información de localización. Estas antenas (GPS) son pequeñas y tienen una protección en forma de cúpula. Se puede ver instalada a poca altura de la torre o en alguna estructura. Para su buen funcionamiento se observará a una distancia mínima con respecto a cualquier objeto.

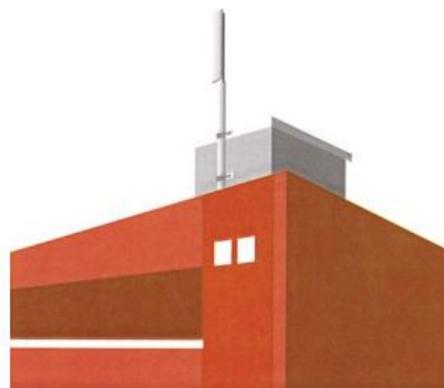


Figura 2.1.2. Estación base móvil

2.2. Propagación

2.2.1. Señal recibida en el terminal móvil

La señal recibida en un terminal móvil dependerá de:

- Las pérdidas de propagación debidas a la distancia entre antenas.
- Desvanecimientos debidos por obstáculos.
- Múltiples reflexiones de objetos cercanos
- Desplazamientos de la frecuencia portadora de la señal debida al movimiento de la señal.

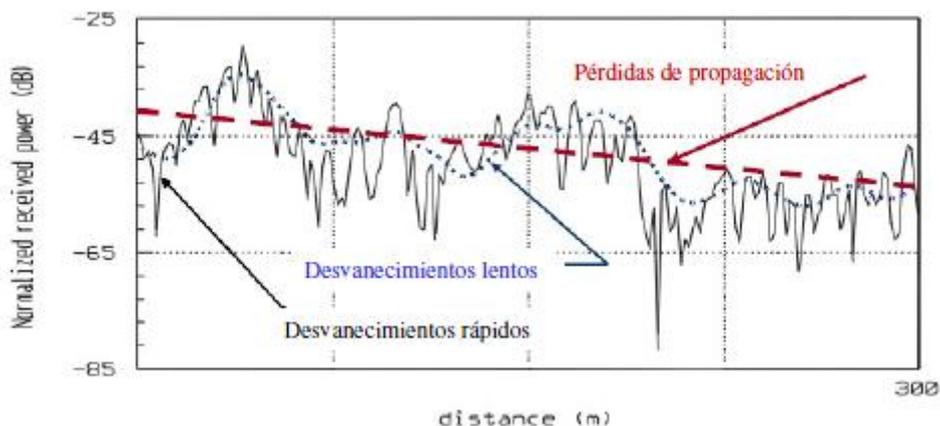


Figura 2.2.1. Modelos de propagación

2.2.2. Zona de cobertura

La zona de cobertura viene determinada por:

- La ley de disminución de potencia.
- Desvanecimientos Lentos.

2.2.3. Calidad de enlace (Probabilidad de error)

La calidad de enlace viene determinada por los desvanecimientos rápidos (pdf Rayleigh/Rice). La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x|\sigma) = \frac{x \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right)}{\sigma^2} \quad [2.1]$$

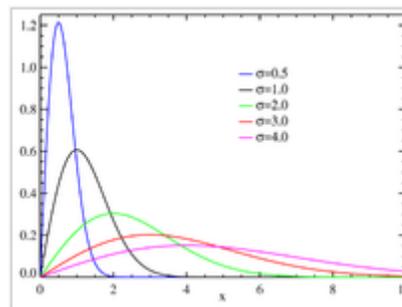


Figura 2.2.3. Desvanecimientos rápidos

Más adelante en el apartado 2.9. Resumiremos los desvanecimientos rápidos. Y en el apartado 2.11.1. Detallaremos la fiabilidad de un canal Rayleigh, cuando hablemos de las técnicas de ingeniería radio.

2.2.4. Modelo tierra plana

Modelo aplicable en distancias cortas en las que se puedan despreciar la curvatura de la Tierra.

Para $f < 150\text{MHz}$, alturas de antenas reducidas y polarización vertical hay que tener en cuenta la onda de la superficie que se predominante para $f < 10\text{MHz}$.

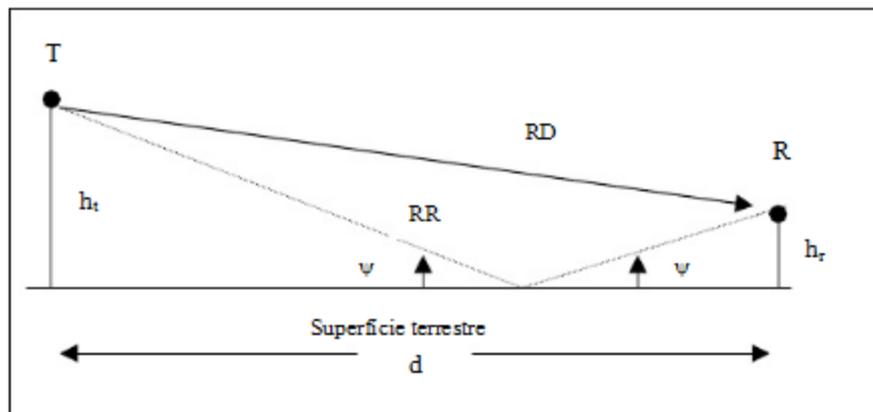


Figura 2.2.4. Modelo de tierra plana

- En espacio libre:

$$P_r = P_t * G_t * G_r * \left(\frac{h_1 * h_2}{d^2}\right)^2 \quad [2.2]$$

- Tierra plana:

$$P_r = P_t * G_t * G_r * \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad [2.3]$$

- Distancia entre células co-canal:

$$D = R\sqrt{3K} \quad [2.4]$$

La atenuación en tierra plana es proporcional a d^4 i no depende de f .

NOTA: Al doblar la altura de la antena representa 6dB de incremento en la potencia de la señal recibida.

$$L = \frac{C^2}{4\pi d f^2} \quad [2.5]$$

2.3. Relación atenuación con la distancia

La distancia de la zona de cobertura depende de varios factores muy importante, uno de ellos es la atenuación, que según en el entorno que te encuentres esta atenuación será diferente:

- Urbano $\alpha = 5$
- Suburbano $\alpha = 4$
- Rural $\alpha = 3$
- Espacio libre $\alpha = 2$
- Mar mejor entorno de propagación.

2.4. Modelo EGLI

El modelo Egli es un modelo del terreno para la propagación de radiofrecuencia. Este modelo, que se introdujo por primera vez por John Egli 1957 en uno de sus artículos, fue derivada de datos del mundo real en UHF y VHF transmisiones de televisión en varias ciudades grandes. Se predice que la pérdida en el trayecto total de un enlace punto a punto. Normalmente se utiliza para el exterior de la línea de transmisión de la vista, este modelo proporciona la pérdida de trayectoria como una sola cantidad.

$$P_R = P_T \cdot G_T \cdot G_R \cdot \left(\frac{h_1 \cdot h_2}{d^2}\right) \cdot \left(\frac{40}{f(\text{Mhz})}\right)^2 \quad [2.6]$$

2.5. Modelo Okumura-Hata

2.5.1. Descripción

A partir de una extensa campaña de medidas llevada a cabo en Tokio, en el rango de 100MHz a 1920 MHz, Okumura publicará un de los modelos más utilizados para la predicción de la pérdida de propagación en áreas urbanas. El principal resultado del trabajo de Okumura fue un conjunto de curvas que proporcionan el nivel de atenuación media relativa al espacio libre, en función de la frecuencia, la distancia entre transmisor y receptor, la altura de las antenas de la estación base y la estación móvil, además de diversos factores de corrección específicos para diferentes tipos de trayecto. Este modelo está considerado entre los más simples y mejores en términos de su precisión en el

cálculo de las pérdidas en el trayecto y se ha convertido en la planificación de sistemas móviles en Japón.

Con el objetivo de hacer que este método fuera más fácil de aplicar, Hata estableció una serie de relaciones numéricas que describen el método gráfico propuesto por Okumura. Estas expresiones de carácter empírico, son conocidas bajo el nombre de modelo de Okumura-Hata, también llamado modelo de Hata.

El principal resultado que proporciona el modelo es el valor medio de la pérdida básica de propagación, en función de la frecuencia, la distancia, y las alturas de las antenas de la estación base y el móvil. Aunque este no incluye ninguno de los factores de corrección por tipo de trayecto, los que sí están en el modelo de Okumura, las ecuaciones propuestas por Hata tienen un importante valor práctico.

El modelo de Okumura-Hata está restringido por los siguientes límites:

- f : 150 a 1500 MHz
- h_b : 30 a 200 m
- h_m : 1 a 10 m
- d : 1 a 20 km

2.5.2. Desarrollo

El modelo de Okumura-Hata expresa la pérdida básica de propagación, L_p , de la siguiente manera:

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d) \quad [2.7]$$

Donde $a(h_m)$ es un factor de corrección que depende de la altura del móvil i que se calcula de la siguiente manera:

- Para áreas urbanas
 - a) Para ciudades pequeñas o medianas
$$a(h_m) = (1.1 \log(f) - 0.7) h_m - (1.56 \log(f) - 0.8) \quad [2.8]$$
 - b) Para ciudades grandes ($f < 200$ MHz)
$$a(h_m) = 8.29 (\log 1.54 h_m)^2 - 1.1 \quad [2.9]$$
 - c) Para ciudades grandes ($f > 400$ MHz)
$$a(h_m) = 3.2 (\log 11.75 h_m)^2 - 4.97 \quad [2.10]$$

- Para áreas suburbanas
$$L_p = L_p(\text{urban}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 \quad [2.11]$$

- Para áreas rurales

$$L_p = L_p(\text{urban}) - 4.78 \log(f)^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \quad [2.12]$$

De manera general, este método de cálculo proporciona buenos resultados en entornos urbanos y suburbanos, pero no así en áreas rurales, ya que no tiene en cuenta la ondulación del terreno ni los efectos derivados del grado de urbanización a lo largo del trayecto.

2.6. Límites de la zona de cobertura per asegurar que un tanto por ciento de ubicaciones se reciben correctamente

Hay unos límites de zona de cobertura para asegurar un tanto por ciento de ubicaciones que se reciben correctamente.

Maneras de calcular este tanto por ciento:

$$P(P \geq P_u) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{P_u - P_m}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad [2.13]$$

$$P(P \geq P_u) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{P_u - P_m}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad [2.14]$$

Como podemos observar este valor se consigue mediante la función error y algunos datos del sistema, como por ejemplo la potencia umbral, la potencia media y la desviación.

2.7. Gestión de potencias

$$P_u(\text{dBm}) = P_n + \text{SNR} \quad [2.15]$$

Sistema limitado por interferencias $\gamma_o \cong \text{SNR}$

$$P_u(\text{dBm}) = P_n + \gamma_o \quad [2.16]$$

$$P_n(\text{dBm}) = KT_oFB \quad [2.18]$$

$$P_m = P_T + G_T + G_R + L \quad [2.19]$$

$$P_I(\text{dBm}) = P_m(\text{dBm}) - \text{CIR}(\text{dB}) \quad [2.20]$$

En tierra plana:

$$P_m(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_T(\text{dBm}) + G_R(\text{dBm}) + 20 \log(h_b h_m) - 40 \log(d(m)) \quad [2.21]$$

P_u : Potencia útil

P_n : Potencia de ruido

SNR: Relación señal ruido

2.8. Desvanecimientos lentos

A partir de los modelos de pérdidas por propagación es posible determinar cuál es el valor esperado de la potencia en función de la distancia, frecuencia, tipo de terreno, etc. En cambio, si un terminal móvil describe una circunferencia alrededor de una antena omnidireccional, el valor medio de la potencia varía en función de los diferentes perfiles a medida que cambia su posición.

Esta variación es la que denominamos como desvanecimiento lento y se produce por la ondulación del terreno y la interposición de objetos entre antenas. Si representamos el nivel medio de la potencia recibida, P_r , en el móvil de la *figura 2.8.1*. girando alrededor de la antena, se puede observar que la señal sufre una variación en su nivel de potencia en función del perfil del terreno que existe para cada posición, tal y como se demuestra en la *figura 2.8.2*. Esta variación se produce en torno al nivel medio de la potencia, P que nos proporcionan los modelos de propagación.

Cuando el movimiento del terminal móvil se oculta detrás de una montaña o entra en el valle las condiciones de propagación son adversas y el nivel de potencia sufre una atenuación adicional. Por el contrario pueden darse condiciones de visibilidad entre antenas, especialmente favorables que redunden en un mayor nivel de señal recibida.

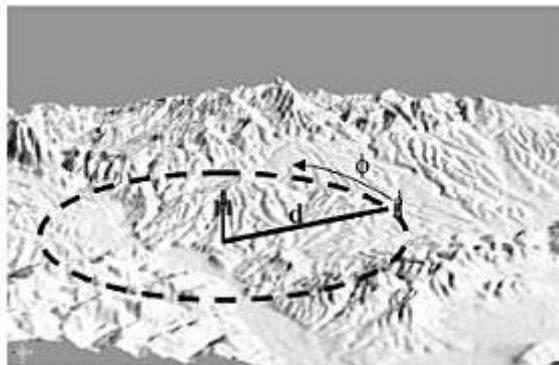


Fig.2.8.1 Terminal móvil girando alrededor de una antena omnidireccional

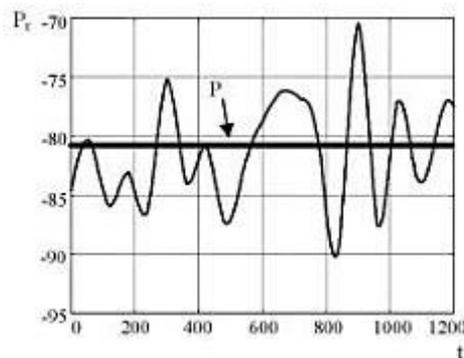


Fig.2.8.2 Nivel de potencia recibida y nivel de potencia predicho.

A partir de numerosas medidas ha establecido un modelo estadístico de distribuciones que representa la función de densidad y de probabilidad de potencia de los desvanecimientos lentos basada en la función log-nominal:

$$f(Pr) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(Pr - P)^2}{2\sigma^2}\right) \quad [2.22]$$

Donde P es el valor medio de la potencia y σ es la desviación estándar. Ambos valores están expresados en unidades logarítmicas. El valor de P será predicho por el modelo de pérdidas de propagación del siguiente apartado y el valor de σ está determinado por el entorno de propagación. Valores típicos están entre 6 y 12dB. En entornos con muchos edificios o recinto muy montañosas, los valores de la desviación están más próximos a 6dB en terrenos con una variación suave de perfil, como por ejemplo un transmisor situado sobre una montaña con valles en todo a su alrededor.

Por otra parte, es necesario caracterizar la velocidad de variación del nivel de la señal. Esta cambia a medida que el terminal se desplaza. Además, el nivel de la potencia de la señal no varía de forma instantánea, dado que un terminal no se oculta detrás de una montaña de forma instantánea, sino que existe una correlación temporal entre los valores de potencia. Claramente, la velocidad de variación del nivel de señal depende de la velocidad a la que se desplaza el terminal móvil, pero en cualquier caso se trata de variaciones relativamente lentas en la medida que están originados por objetos del entorno de tamaño considerable. El valor de la correlación temporal depende nuevamente del tipo de entorno y la velocidad de desplazamiento del terminal móvil. Generalmente se adopta una función de correlación temporal exponencial:

$$R(\tau) = e^{-\alpha\tau} \quad [2.23]$$

El valor de α modula la mayor y la menor variabilidad de la señal y depende de la velocidad del terminal y del tipo de terreno. A mayor velocidad, la señal varía de forma más rápida y por tanto el valor de α también es mayor. De forma similar, en terrenos abruptos las variaciones de la señal son más rápidas.

2.9. Desvanecimientos rápidos

En un entorno de comunicaciones móviles, la señal recibida en un determinado instante y lugar es la resultante de la suma de todas las trayectorias provocadas por las reflexiones del frente de onda en los objetos cercanos en dirección a la antena receptora. Cada uno de los rebotes incide con una amplitud y fase diferente, que depende del coeficiente de retroactividad y con un retraso diferente. Pero, si los objetos están muy cerca de la antena receptora la diferencia entre los diferentes retrasos es prácticamente despreciable comparada con la duración del símbolo de la señal digital. Sin embargo, al transmitir la señal modulada, es decir, multiplicada por una portadora, el efecto de retrasos es diferente e implica que la señal incide en la antena con fase totalmente diferente.

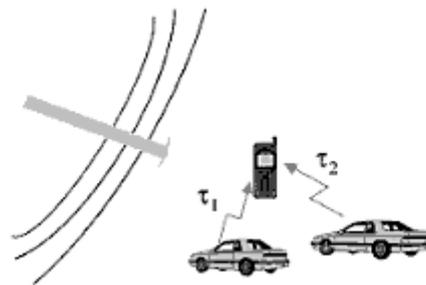


Figura 2.9. Móvil y desvanecimientos rápidos

2.10. Concepto de entrelazado

El entrelazado es una técnica para proteger la información frente a los errores de ráfagas. Estos errores ocasionales afectan a varios bits seguidos, e invalidan las propiedades correctoras de error de los códigos que se emplean en la transmisión de datos. Al emplear técnicas de entrelazado, los errores de ráfagas se ven distribuidos entre varias palabras, facilitando la labor correctora del código empleado.

Así que básicamente lo que hará es romper influencia de ráfagas de errores y reordenar la información antes de enviarla.

$$M_{filas} T_b \geq T_c \quad [2.24]$$

$$2M_{filas} N_{columnas} T_b \geq T_{retardo} \quad [2.25]$$

Con M_{filas} y $N_{columnas}$ y para la dimensión de la matriz $= M_{filas} \times N_{columnas}$

2.11. Técnica de ingeniería radio

2.11.1. Fiabilidad de un canal Rayleigh

En un entorno de comunicaciones móviles las variaciones rápidas de la envolvente se caracterizan típicamente con una distribución de tipo Rayleigh. Puesto que la señal útil varía a lo largo del tiempo, llegados a este punto, es importante distinguir entre la relación señal ruido instantánea y la relación señal ruido media. En efecto, si se pretende garantizar en sentido estricto que la relación señal a ruido instantánea supere el umbral de calidad, ello supone que en cada instante debe lograrse.

$$\gamma_i = \frac{S(t)}{P_N} \geq \gamma \quad [2.26]$$

$$S(t) \geq \gamma P_N \quad [2.27]$$

Caracterizando las fluctuaciones rápidas de la señal con una estadística Rayleigh en cuanto a su envolvente, la potencia tiene una distribución exponencial:

$$f_s(S) = \frac{1}{S} \exp\left[-\frac{S}{S}\right] \quad s > 0$$

Entonces,

$$\text{Prob}\{S(t) \geq \gamma P_N\} = \int_{\gamma P_N}^{\infty} \frac{1}{S} \exp\left[-\frac{S}{S}\right] dS = \exp\left[-\frac{\gamma P_N}{S}\right] \quad [2.28]$$

Para asegurar que se cumple el requisitos de calidad instantáneamente con probabilidad tendente a la unidad se requiere la recepción de una potencia media, S , tendente a infinito, lo cual obviamente no es factible ni deseable.

Consecuentemente, la condición de calidad suele plantearse en términos medios, de forma que se exige que:

$$\frac{\bar{S}}{P_N} \geq \gamma \quad [2.29]$$

$$\bar{S} \geq \gamma P_N \quad [2.30]$$

Siendo así, la relación señal ruido más interferencia estaría por debajo del umbral de forma instantánea con probabilidad

$$\text{Prob}\{S(t) \geq \gamma P_N\} = \int_0^{\gamma P_N} \frac{1}{\gamma P_N} \exp\left[-\frac{S}{\gamma P_N}\right] dS = 1 - \exp[-1] = 0.63 \quad [2.40]$$

En este 63% de casos en que el nivel de señal instantánea queda por debajo del umbral necesario se produce una degradación de las presentaciones, lo que da lugar a una menor fiabilidad en la detección de la información.

La fiabilidad de la comunicación es también variante en el tiempo, ya que en los períodos en que la señal se encuentre afectada por un fuerte desvanecimiento la tendencia será a decidir numerosos símbolos de manera errónea. En los períodos de recuperación del nivel de señal será más frecuente tomar decisiones acertadas. Así pues, la manera más razonable de cuantificar las prestaciones en la transmisión por canal Rayleigh es definiendo una tasa de error media, que en definitiva es la que se

observa si el período de duración de la transmisión es suficientemente largo. El cálculo de la probabilidad de error al bit media puede evaluarse a través de un ejercicio de probabilidad de que se dé dicho valor de la envolvente (o equivalentemente de la relación señal ruido). Esto es,

$$\bar{P}_b = \int_0^{\infty} P_b(\gamma|\gamma = \gamma_s) f_{\gamma}(\gamma_s) dt_s \quad [2.41]$$

Con

$$P_b(\gamma|\gamma = \gamma_s) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_s}) \quad [2.42]$$

$$f(\gamma_s) = \frac{1}{\gamma_o} \exp\left[-\frac{\gamma_s}{\gamma_o}\right] \quad \gamma_s > 0$$

Y γ_o la relación señal ruido media.

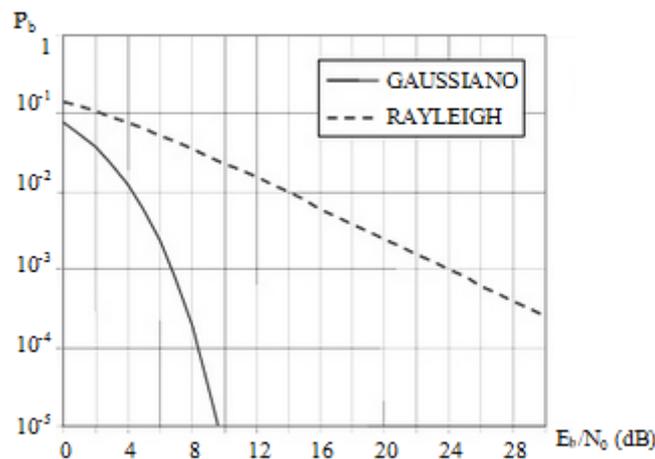
Cuando se considera un valor fijo (condicionado) de la envolvente, la probabilidad de error que se encuentra es la derivada en el apartado 5.1, ya que precisamente se tiene un nivel de señal constante afectado por ruido. Entonces,

Para el caso de modulación QPSK se obtiene

$$\bar{P}_b \approx \frac{1}{2\gamma_o} \quad [2.43]$$

Las prestaciones obtenidas en el canal Rayleigh se muestran en la *figura 2.11.1*, donde se toma como referencia la tasa de error en un canal gaussiano. Obviamente, se manifiesta la poca fiabilidad de la transmisión de la información en un entorno móvil frente a un canal gaussiano, con la elevada tasa media de error natural que exhibe el canal Rayleigh.

Según la tasa de error, necesitará un incremento de E_b/N_o , lo que refleja la dificultad de conseguir una transmisión fiable en un canal móvil. No obstante, no debe olvidarse que las prestaciones finalmente obtenidas dependerán de las técnicas de ingeniería adoptadas, que permitirán reducir E_b/N_o , necesaria para una cierta tasa de error.



2.11.1. Canal Rayleigh

2.11.2. Técnica de diversidad

Hay tres tipos de técnicas:

- **Combinación por conmutación**
 - Una conmutación entre antenas cuando la señal está por debajo de un umbral.
 - Errores de detección (transitorios amplitud y fase).
 - Incertidumbre al conmutar.
- **Combinación por selección**
 - El número de receptores es igual al orden de la diversidad.
 - Se monitoriza continuamente la SNR de cada receptor.
 - Se elige la antena con mejor SNR.
 - Origina errores de detección.
- **Combinación MRC**
 - Se suman de forma ponderada y en fase las señales recibidas.
 - Coeficiente de ponderación depende de la SNR en cada rama.
 - No hay transitorios.

2.11.3. Probabilidad de error con diversidad

La probabilidad de error con diversidad, modifica la estadística del canal:

- Combinación por selección

$$\begin{aligned} \text{Prob}(\gamma_i \leq \gamma_s) &= 1 - e^{-\frac{\gamma_s}{\gamma_o}} \\ (P_M(\gamma_s)) &= \left(1 - e^{-\frac{\gamma_s}{\gamma_o}}\right)^M \end{aligned} \quad [2.44]$$

Para QPSK (M=2):

$$P_{bs}(\gamma_o) = \frac{3}{2\gamma_o^2} \quad [2.45]$$

$$\gamma_i = \frac{r_i^2}{2} \cdot \frac{1}{N}$$

- Combinación MRC

Para QPSK (M=2):

$$P_{bs}(\gamma_o) = \frac{3}{4\gamma_o^2} \quad [2.46]$$

Es una aproximación asintótica.

2.12. Sistemas celulares

2.12.1. Sistemas pre-celulares

Características del sistema pre-celulares

- Gran zona de cobertura: potencias elevadas
- Reinicio de llamadas al cambiar de célula
- Limitado el número de usuarios activos.

$$n = \frac{N}{S} \cdot \frac{1}{B_t} = \frac{B_t}{B_r} \cdot \frac{1}{S} \left(\frac{\text{radiocanales}}{\text{HzKm}^2} \right) \quad [3.1]$$

Problemas de los sistemas pre-celulares:

- Tienen baja capacidad.
- Elevada probabilidad de bloqueo (Pb).
- Pobre eficiencia espectral.

2.12.2. Sistemas celulares

Característica del sistema celular

- Sistemas basados en la reutilización de frecuencias en celdas lejanas para no interferirse.
- Cobertura dividida en células hexagonales (baja potencia).
- Agrupación de células en clúster celulares (grupos de célula).

Reuso de frecuencias en sistemas celulares

- En un clúster se utilizan todos los radiocanales.
- Usuarios de distintos clúster usan simultáneamente el mismo radiocanal para aumentar eficiencia.
- Diseña para reducir la interferencia co-canal.

Eficiencia celular:

$$n = \frac{N}{S} \cdot \frac{1}{B_t} \cdot \frac{N_c}{S} = n \frac{N_c}{K} \left(\frac{\text{radiocanales}}{\text{HzKm}^2} \right) \quad [3.2]$$

K: Factor de reuso

N_c : Número de celdas que se utilizan para cubrir la zona de cobertura de área S

2.12.3. Dimensión celulares

$$\text{canales/celda} = \frac{\text{total}}{k} = \frac{\text{canal}}{\text{celda}}$$

$$\text{recursos} = \left(\frac{\text{canal}}{\text{celda}} \cdot \frac{TS}{\text{celda}} \right) - 1_{\text{señal}} = \text{canales}$$

$$m = \frac{B_T/B_C}{k} \left(\frac{\text{canales}}{\text{célula}} \right) \quad [3.3]$$

Para usar las tablas de $Erlang_b$

$$P_b = Erlang_b(\rho_{total}, m_{total}) = E(2\%, m = 4) \left(\frac{Erlang_b}{cell} \right) \quad [3.4]$$

Recordar que ρ_{total} se expresa en $\frac{Erlang_b}{cell}$

2.13. Handover (Traspaso de canal al cambiar de célula)

El handover es el proceso de transferir una llamada en curso entre dos células cuando el móvil se desplaza o cuando la calidad del enlace con la BTS actual baja, la comunicación pasa o a una nueva célula o a otro canal de la misma BTS.

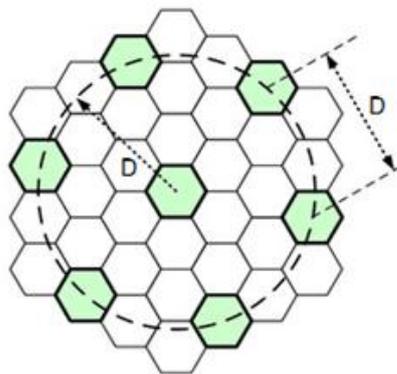
Características:

Sin problemas para el usuario → incremento de señalización.

Consume tiempo.

2.13.1. Cálculo de CIR

- La interferencia es el factor que en mayor medida limita el rendimiento de los sistemas celulares.
- Hay varias fuentes de interferencia, pero la más relevante es la denominada co-canal.
- Es consecuencia del reuso de frecuencias (K): hay células que trabajan en el mismo conjunto de canales.
- No se puede reducir incrementando la potencia de transmisión (también se incrementaría la de las BTS interferentes).
- Depende de la distancia de reuso D. *figura 2.13.1.* (A la que se encuentran las células interferentes entre las localizaciones de las estaciones base).



2.13.1. Distancia de reuso

Manera de calcular la CIR:

$$CIR = \frac{P_u}{P_l} = \frac{\frac{\beta}{R^\alpha}}{\frac{\beta}{(D-R)^\alpha}} = \frac{\left(\frac{1}{R}\right)^\alpha}{\left(\frac{1}{D-R}\right)^\alpha} \quad [3.5]$$

$$\frac{C}{I} = \left(\frac{D}{R} - 1\right)^\alpha \quad [3.6]$$

6 posibles fuentes de interferencia

$$CIR = \frac{1}{6} \left(\frac{D}{R} - 1\right)^\alpha \quad [3.7]$$

2.13.2. Relación entre CIR i K

Como hemos mencionado en el apartado anterior, la CIR es consecuencia del factor de reuso:

$$CIR = \frac{1}{6} \left(\frac{D}{R} - 1\right)^\alpha = \frac{1}{6} (\sqrt{3K} - 1)^\alpha \quad [3.8]$$

2.13.3. Sectorización

Esta técnica se emplea desde los primeros despliegues de sistemas de telefonía celular. Consiste en emplear antenas directivas en lugar de omnidireccionales, con lo que se consigue reducir la CIR.

Este método presenta ciertas desventajas:

- Se necesita un número mayor de antenas por estación base.
- Al reducir el tamaño 'real' de las células, incrementa el número de handovers
- Al reducirse el número de recursos por célula, disminuye la eficiencia (desde el punto de vista de los operadores)

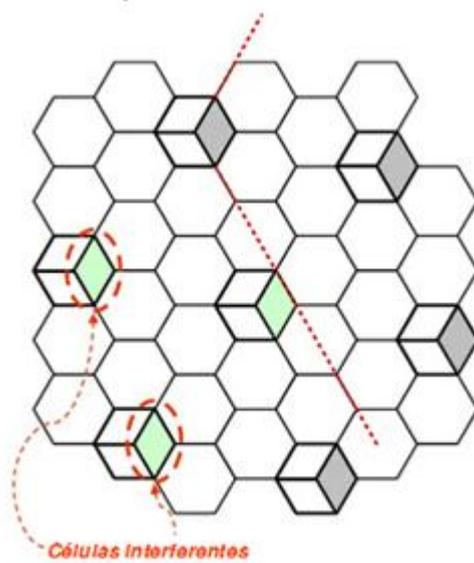
Cambio de sector → handover

- Para tierra plana $\alpha = 4$
- Para okumura-hata tenemos que encontrar la α pero normalmente siempre es $\alpha = 3,18$

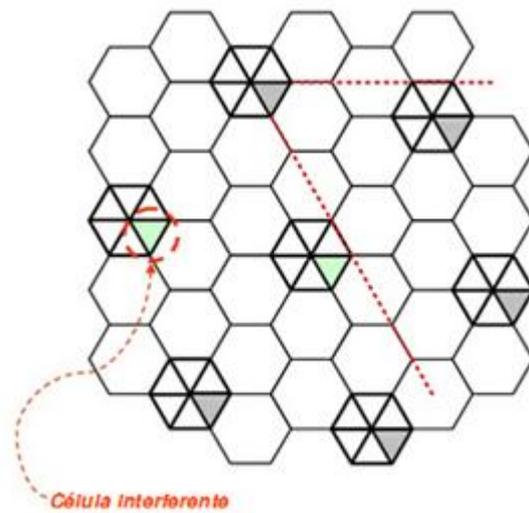
$$d^\alpha = 10 \log(d^\alpha) = 10\alpha \log(d) \quad [3.9]$$

- Antenas omnidireccionales $n=6$, figura 2.13.2.
- Antenas sectoriales 120° , $n=2$ para tráfico alto., figura 2.13.1.
- Antenas sectoriales de 60° $n=1$

$$K = \frac{1}{3} (1 + (nCIR)^{\frac{1}{\alpha}})^2 \quad [3.10]$$



2.13.1. Sectorización a 120°



2.13.3.2. Sectorización a 60°

2.13.4. Eficiencia de un sistema celular

La idea siempre es de tratar de mejorar el comportamiento de los sistemas móviles celulares, por ejemplo para una superficie (S) y un ancho de banda total (B_T):

- Si el tamaño de la célula es bajo, el de handover será mayor.
- Ancho de banda radiocanal bajo.
- Factor de reuso bajo, sectorizar handover (alto), disminuir la CIR (modulaciones digitales)

$$n_c = \frac{1}{\pi R^2} \frac{1}{B_r} \frac{1}{K} \quad [3.11]$$

2.13.5. Tipos de célula

Hay diferentes tipos de células:

- Macro célula
 - Radio entre 1,5 y 20 km
 - Zonas de baja densidad (rurales)
- Minicélula
 - Radio entre 0,5 y 1,5km
 - Zona de densidad media (núcleos urbanos de importancia media)
- Micro célula
 - Radios de 0,2 a 0,5 km
 - Zona de densidad alta (núcleos urbanos)
- Picocélula
 - Radios < 250
 - Zonas interiores con gran densidad (aeropuertos, etc.)

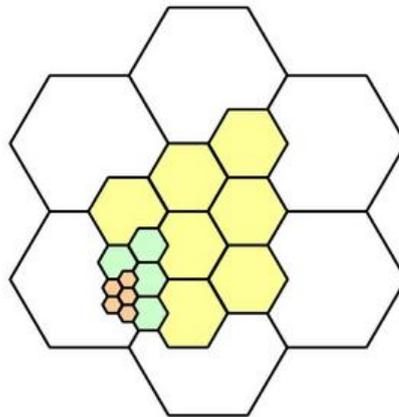


Figura 2.13.5. Diferentes células

2.13.6. Funciones de un sistema celular

Las diferentes funciones de un sistema son:

- Enganche
- Acceso
- Monitorización
- Traspaso
- Control de potencia
- Avance temporal
- Búsqueda

2.13.7. Tiempo de tránsito en una célula

Definimos el tiempo de tránsito en una célula como la variable aleatoria.

$$f_{tmc}(t) = \frac{u(t) - u(t - m)}{2\alpha T_m} + \frac{\alpha T_m}{2t^2} \cdot u(t - \alpha T_m) \quad [3.12]$$

Factor de movilidad

$$\alpha = \frac{2R}{v_{max} T_m} \quad [3.13]$$

T_m duración media de una llamada (exponencial)

$$f_{td}(t) = \frac{1}{T_m} e^{-\frac{t}{T_m}} \quad [3.14]$$

2.13.8. Probabilidad de handover

La probabilidad de handover es la probabilidad de que una llamada en curso en una célula continúe en una célula vecina.

Sabiendo el factor de movilidad de los usuarios. Con la siguiente ecuación podremos obtener dicha probabilidad:

$$t_{mc} = va \left[0, \frac{2R}{v} \right]$$

$$P_h = \int_0^{\infty} \Pr[t_d > t_{mc}] f_{tmc}(t) dt \quad [3.15]$$

$$P_h = \frac{1}{\alpha} (1 - e^{-\alpha}) \quad [3.16]$$

Donde α es el factor de movilidad.

$$\alpha = \frac{2R}{v T_m} \quad [3.17]$$

P_h : Probabilidad de que una llamada en curso en una célula siga en una célula vecina.

P_{ba} : Probabilidad de bloqueo de llamada nueva.

2.13.9. Modelo de flujo

Para una situación de equilibrio, resulta que la tasa de usuarios móviles que abandonan y llegan a una célula por unidad de tiempo de handover coincide y valen λ_h .

Siendo λ la tasa de llegada de nuevas llamadas y por unidad de tiempo a la célula en cuestión, se verifica:

$$\lambda \cdot (1 - P_{ba}) \cdot P_h + \lambda_h \cdot (1 - P_{bh}) \cdot P_h = \lambda_h \quad [3.18]$$

Carga de canal en estático y en movimiento tendrían que ser iguales.

Ecuación equilibrio.

$$\frac{\lambda_h}{\lambda} = \frac{a(1 - P_{ba}) \cdot P_h}{(1 - P_{bh}) \cdot P_h} \cong \bar{n}_h \quad [3.19]$$

$$\lambda_a = \frac{N_{moviles} \cdot Q}{3600} \quad [3.20]$$

Ocupación del canal con movilidad y sin movilidad tiene que ser iguales.

$$\rho = (\lambda + \lambda_h) \cdot T_m \cdot (1 - P_h)$$

$$\rho = \lambda \cdot T_m \quad [3.21]$$

2.13.10. Tráfico ofrecido

El tráfico ofrecido es un concepto teórico y se utiliza sólo para propósitos de planificación teórica. Sólo el tráfico cursado es medida en la práctica y depende de la capacidad de la res o sistema. Desde el punto de vista económico, la capacidad de la red siempre será menor que el tráfico ofrecido, esto es debido al carácter aleatorio de las comunicaciones lo que produce en condiciones normales de funcionamiento sólo un porcentaje de los usuarios de la red solicitan recursos a la misma.

El tráfico ofrecido depende de dos factores importantes:

1- La tasa de llegada de sesiones de comunicaciones, Q_u .

2- La duración promedio de cada sesión, T_m .

Esto se explica por igual para llamadas de voz o para aplicaciones de datos.

Podemos observar que si:

Intensidad total tráfico célula

$$\rho = (\lambda + \lambda_h) \cdot T_m \cdot (1 - P_h) \quad [3.22]$$

El tráfico total ofrecido coincide con el caso del estático

$$\lambda = N_u \cdot \frac{Q}{3600} \quad [3.23]$$

$$\lambda_{total} = \frac{\lambda}{1 - P_h} \quad [3.24]$$

$$\rho_{total} = \lambda \cdot T_m = \frac{N_{moviles} \cdot T_m}{3600} \text{ (Erlangs)} \quad [3.25]$$

El cálculo de tráfico en telecomunicaciones, también conocido como teletráfico, es un compromiso entre la cantidad de recursos disponibles pero no utilizados por los usuarios, y la misma cantidad de recursos cuando todos los usuarios los soliciten, manteniendo al mínimo la cantidad de sesiones perdidas.

La estimación de la cantidad de recursos no tiene una solución única ya que depende del planificar y el grado del servicio que este dispuesto a ofrecer a los clientes.

Erlang: Unidad de intensidad de tráfico, cuyo símbolo es E. Un erlang es la intensidad de tráfico en un conjunto de órganos, cuando sólo uno de está ocupado de manera continua. Cuando el tráfico es de un (1) erlang significa que el elemento de red está totalmente ocupado durante el tiempo de medición, normalmente una hora.

A pesar de que el erlang es la unidad de tráfico más usada, existen otras unidades de tráfico.

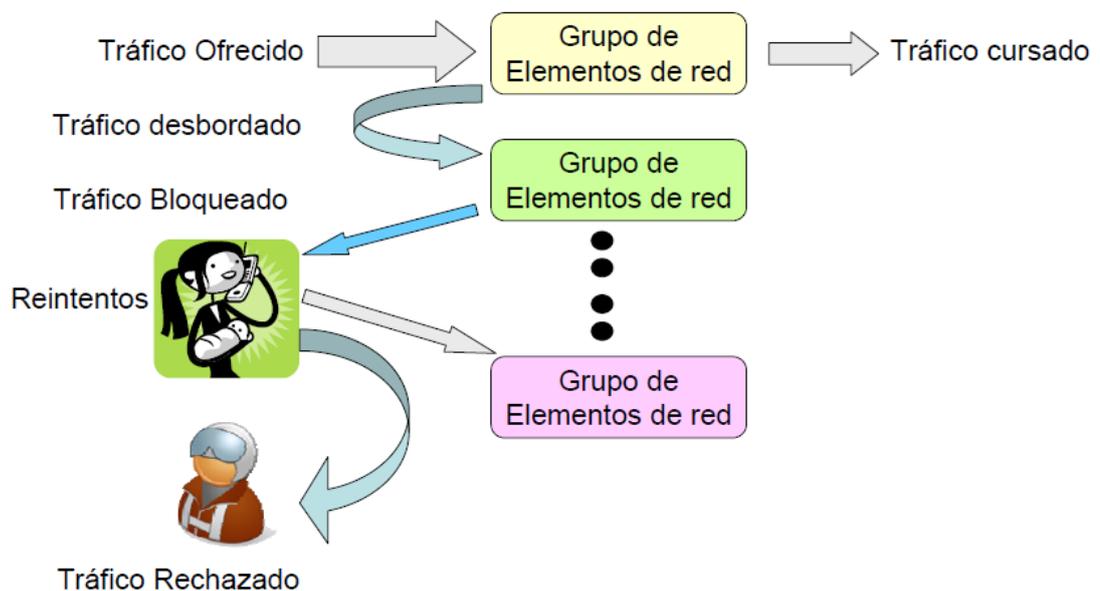


Figura 2.13.10. Funcionamiento del tráfico ofrecido

Cuando un elemento se ocupa, las próximas llamadas son desbordadas a otros elementos, se produce entonces el tráfico desbordado. Cuando todos los elementos están ocupados, las siguientes llamadas se bloquean. Una cierta cantidad de las llamadas bloqueadas son reintentadas, las que no lo sean se consideran como rechazadas.

Dependiendo del modelo de tráfico que usemos se puede o no considerar reintento, si no aplica el reintento entonces todas las llamadas bloqueadas se convierten en rechazadas o perdidas.

2.13.11. Probabilidad de bloqueo (Erlang-B)

Conociendo el tráfico y la cantidad de líneas disponible, este modelo calcula la probabilidad de bloqueo (P_b) de que una llamada en su primer intento sea bloqueada y está basado de la siguiente manera:

- La cantidad de usuarios es muy grande.
- Las llamadas llegan en forma aleatoria de acuerdo a una distribución de Poisson.
- Las llamadas se atienden según el orden de llegada.
- Las llamadas bloqueadas se pierden.
- El tiempo de duración de las llamadas siguen una distribución exponencial.

Y de acuerdo con estas frases, en nuestro simulador seguimos las siguientes fórmulas:

$$P_b = Erlang_b[\rho_t, numdeTS(canales)]_{tablas} \rightarrow numdeTS(canales)$$

Leo el valor de alguna tabla

$$radiocanales/celda = \left[\frac{TS_{celda} + 1}{radiocanales/celda} \right] = \frac{radiocanales}{cell}$$

$$\frac{radiocanales}{cell} \cdot K \left(\frac{cell}{cluster} \right)$$

En GSM hay 8 radiocanales

$$P_b = P_{ba} = P_{bh} = \frac{(\rho_{total})^m}{m! \sum_{n=0}^m \frac{(\rho_{total})^n}{n!}} \quad [3.26]$$

2.13.12. Priorización del handover

$$\rho = \rho_a + \rho_h(\text{Erlangs})$$

Donde $N_u = N_{moviles}$ Tenemmos la expresión

$$\rho = \frac{1}{3600} \cdot N_{moviles} \cdot T_m \quad [3.27]$$

Para antenas omnidireccionales

$$\rho = \pi R^2 \frac{D_u \cdot \lambda_n \cdot T_m}{3600} \quad [3.28]$$

Para una sectorización de 120 grados

$$\rho = \frac{\pi R^2}{3} \cdot \frac{D_u \cdot \lambda_n \cdot T_m}{3600} \quad [3.29]$$

Handover usuarios

$$P_{bh} = \frac{(\rho_h)^{S_h}}{S_h! \sum_{n=0}^{S_h} h \frac{(\rho_h)^n}{n!}} \quad [3.30]$$

Handover usuarios nuevos

$$P_{ba} = \frac{(\rho_a)^{S_a}}{S_a! \sum_{n=0}^{S_a} h \frac{(\rho_a)^n}{n!}} \quad [3.31]$$

Ya que S_a son servidores de llamadas nuevas y S_h servidor de llamadas handovers.

$$\rho_h = \lambda_h \cdot E(T_h) = \lambda_h \cdot T_m \quad [3.32]$$

$$\rho_a = \lambda \cdot E(T_h) = \lambda \cdot T_m \quad [3.33]$$

2.13.13. Probabilidad de interrupción

Probabilidad que una llamada no se pueda finalizar debido a falta de canales, la calcularemos de la siguiente manera:

$$P_{drop} = \frac{P_h \cdot P_{bh}}{1 - (1 - P_{bh}) \cdot P_{bh}} \quad [3.34]$$

Como sacar la P_h si se tiene P_{drop}

$$P_h = \frac{P_{drop}}{P_{drop} \cdot (1 - P_{bh}) + P_{bh}} \quad [3.35]$$

Grado de servicio

$$Gos = P_b + 10 \cdot P_{drop}$$

$$P_{drop} = \frac{P_h P_{bh}}{1 - (1 - P_{bh}) \cdot P_h} \cong \frac{P_h}{1 - P_h} \cdot P_{bh} \quad [3.36]$$

2.14. GSM

2.14.1. Bandas de frecuencia GSM

- Enlace ascendente (MT-BS) 890-915MHz.
- Enlace descendente (BS-MT) 935-960MHz.
- Sistema dúplex espaciado entre canales 45 MHz (FDD).
- Ancho de banda de radiocanal 200kHz.
- 125 radiocanales bidireccionales disponibles (FDMA).
- Cada radiocanal 8 usuarios simultáneos (TDMA).
- Canales de 0 a 124 mediante ARFCN.
- Canal banda de guarda entre GSM y otros sistemas.

2.14.2. Clases de potencia

- Para móvil (33dBm, 2W) y para BS (43 dBm, 20W).
 - Mínima potencia estación móvil 20mW (13dBm).
 - Ajuste BS-MT en pasos de 2 dB.
 - Control de potencia para tener MT igual.

2.14.3. Modulación

- Es una MSK con pre-distorsión de los simbolos para tener buenas propiedades espectrales.
- El edge usa una 8-PSK.
- GMSK usa el GSM, y se asimila a una QPSK, como la MSK si no dicen lo contrario o lo especifican.

2.15. CDMA

- El CDMA es una forma de acceso múltiple más distribuida en relación al TDMA.
- Inmunidad y diversidad inherentes frente a las interferencias.
- Plan de reuso de frecuencias más sencillo y flexible. Soporta un reuso universal (cluser de tamaño 1).
- Mayor capacidad que TDMA y FDMA.
- Mayor flexibilidad para acomodar servicios de naturaleza estadística distinta.

2.15.1. Transmisor CDMA

- CDMA por saltos en frecuencia (FFH-CDMA, SFH-CDMA)
- CDMA por secuencia directa (DS-CDMA)

2.15.2. Control de potencia

2.15.2.1. Presencia de Fading Lento

Los sistemas CDMA deben combatir el efecto cerca-lejos y el fading lento con un Control de Potencia Medio.

Nótese que las pérdidas de propagación (incluyendo el fading lento) varían con el movimiento.

2.15.2.2. Presencia de Fading Rápido

Con n usuarios del mismo tipo transmitiendo al mismo tiempo en el enlace ascendente de una célula aislada con Control de Potencia Medio y despreciando el ruido térmico se tiene que:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{PT_b}{\frac{(n-1)p}{1/T_c}} = \frac{G_p}{n-1} \rightarrow n \cong \frac{G_p}{\frac{E_b}{N_o}} \quad [4.1]$$

En presencia de desvanecimientos Rayleigh la E_b/N_o requerida es muy elevada para una determinada tasa de error y el número de usuarios muy reducido necesitamos Control de Potencia Instantánea.

- La base cuando recibe una potencia distinta de la deseada vía F2 le comunica al móvil vía F1 que aumente o disminuya su potencia en $\Delta dB (\approx 0.5dB)$.
- Se requiere actualizaciones regularmente de modo que en los intervalos de tiempo el canal no varíe apreciablemente.

En el sistema Qualcomm se actualiza la potencia cada 1ms, lo que requiere 1Kb/s de señalización. Esta estrategia funciona para velocidades del orden de hasta unos 30-40Km/h. Disminuir el intervalo de actualización requiere más carga de señalización lo que puede ser ineficiente.

Para variaciones muy rápidas el control instantáneo de potencia deja de funcionar correctamente, pero entonces empieza a funcionar muy satisfactoriamente la combinación entrelazado más codificación.

2.15.3. Codificación del canal

- La codificación permite ganar G_c dB en la protección frente al ruido e interferencias.
- El efecto conjunto de la codificación y entrelazado compensa de modo satisfactorio el efecto negativo de la ausencia de un control de potencia efectivo para velocidades medio-elevadas.
- El entrelazado elimina las ráfagas de errores y los códigos correctos, que no consumen banda CDMA, mejoran ostensiblemente los errores producidos por los desvanecimientos Rayleigh.

2.15.4. Propagación multi camino

La propagación multicamino origina fading Rayleigh (Ecos de proximidad) y Distorsión de canal (Ecos lejanos)

- **Ecos de proximidad-Fading Rayleigh.**
Se combate con el control instantáneo de potencia y codificación más entrelazado. En la práctica tal control solo es posible a velocidades lentas del móvil. La codificación más entrelazado actúa convenientemente a velocidades altas del móvil.
- **Ecos Lejanos-Distorsión de canal.**
En CDMA los ECOS lejanos no solo no originan problemas sino que se pueden combinar constructivamente mediante un receptor RAKE. Sea la señal recibida: $r(t) = s(t) \cdot c(t) + ps(t - \tau) \cdot c(t - \tau)$.
Si $c(t)$ y $c(t - \tau)$ están incorreladas, se puede separar las dos componentes correlando $r(t)$ con $c(t)$ y $c(t - \tau)$. Una vez separadas ambas señales se pueden combinar constructivamente. El receptor capaz de realizar esta operación se denomina RAKE.

2.15.5. Receptor Rake

- El receptor alinea las dos componentes con $c(t)$
- Suma Constructiva de los dos Ecos.

$$\sigma_n^2 = \frac{N_o}{T_b} [|\rho^2| + 1] \quad [4.2]$$

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{[|\rho^2| + 1]^2}{2\sigma_n^2}} \quad [4.3]$$

$$\gamma_1 = \frac{|p^2| \cdot T_b}{2N_o} \quad [4.4]$$

$$\gamma_2 = \frac{T_b}{2N_o} \quad [4.5]$$

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\gamma_1 + \gamma_2} \quad [4.6]$$

$$\frac{E_b}{N_o} = \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_1 + \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_2 \quad [4.7]$$

La realización práctica de un receptor RAKE puede ser compleja si el número de ramas es grande. En la práctica este número viene limitado por consideraciones de Hardware. El sistema QUALCOMM por ejemplo utiliza sólo tres ramas. En tal caso estas ramas son las correspondientes a un mayor nivel. Este sistema trabaja con una velocidad de chip 1.228 Mc/s que para una longitud de la respuesta impulsional de entre 5 y 10 microsegundos, implica un valor de L alrededor de entre 6 y 12 aproximadamente.

2.15.6. Soft Handover

En CDMA tenemos soft handover, que se puede realizar gracias al receptor rake.

- Antes: Las tres ramas están concentradas a la Base vieja.
- Durante: Primero dos ramas a Base la vieja y una a la nueva y luego una a la vieja y dos a la nueva.
- Después: Las tres ramas están conectadas a la base nueva.

2.15.7. Reuso completo de frecuencias

- Caso TDMA: cluster para evitar interferencia cocanal
- Caso CDMA: soporta reuso completo de frecuencias
- En CDMA no hay planificación frecuencial Interferencia intercelular, típicamente 60 por ciento de la intracelular.

$$f = \frac{I_{inter}}{I_{intra}} \approx 0,6$$

2.15.8. Gestión de potencias

La relación E_b/N_o del enlace ascendente se formula como:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_j = \frac{W}{R_j} \cdot \frac{P_j}{P_{tot} - P_j} \quad [4.7]$$

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_j \cdot R_j}} \cdot P_{tot} \quad [4.8]$$

$$n_{ul} = 1 - \frac{P_n}{P_{tot}} \quad [4.9]$$

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_j \cdot R_j}} \cdot \frac{P_n}{1 - n_{ul}} \quad [4.10]$$

Desde el punto de vista del transmisor:

$$P_{Tj} = L_j \cdot \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_j \cdot R_j}} \cdot \frac{P_n}{1 - n_{ul}} \quad [4.11]$$

2.15.9. Cálculo de $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ objetivo

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d = \frac{\frac{W}{R_b} \cdot \frac{P_T}{L_p}}{I + P_n} \quad [4.12]$$

Y para la atenuación del movimiento

$$d(km) = d_0 + vt \quad [4.13]$$

2.15.10. Control de admisión

Control de admisión basado en la medida del factor de carga, un nuevo usuario no es admitido si:

$$n_{ul} + \Delta n_{ul} \geq n_{umbral} \quad [4.14]$$

Donde n_{ul} es el factor de carga antes de la admisión y Δn_{ul} es el incremento de factor de carga que originaría un nuevo usuario y que trata de estimar.

El factor de carga puede medirse físicamente:

$$n_{ul} = 1 - \frac{P_n}{P_{Tot}} \quad [4.15]$$

Alternativamente, el factor de carga puede estimarse estadísticamente:

$$n_{ul} = (1 + f) \sum_{j=1}^N v_j \left(1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j R_j}\right) \quad [4.16]$$

Cuando no hablan de relación potencia intercelular-intracelular:

$$n_{ul} = (1 + f) \sum_{j=1}^N \left(\frac{\alpha_i}{W}\right) \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j R_j}} \quad [4.17]$$

3. Simulador de sistema de comunicaciones móviles.

3.1. El entorno de desarrollo de interfaces del usuario, GUIDE

Como su nombre nos indica, Graphical User Interface Development Environment, (GUIDE), es el entorno de desarrollo de interfaces gráficas de usuario que dispone Matlab, es una herramienta similar a Microsoft Visual Studio.

Para poder iniciar una Guide se tiene que ir a a ventana de comandos de Matlab i ejecutar la comanda “guide” o también desde la barra principal de Matlab, figura 1.

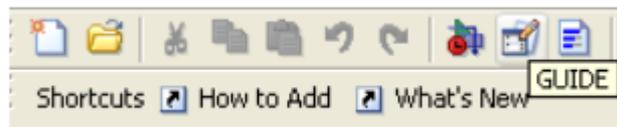


Figura 3.2. Icono para crear una GUIDE

Ejecutando de una de estas dos maneras, podemos acceder a la Guide, que se muestra en la figura 3.2.1. Esta pantalla muestra un inicio rápido de Guide en la cual se tiene que abrir una nueva figura (Blank GUIDE).

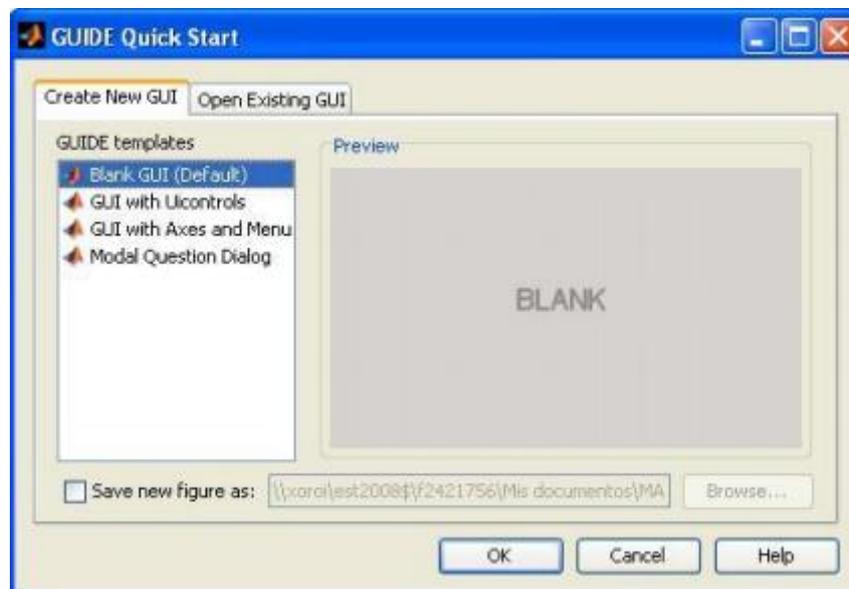


Figura 3.2.1. Inicio rápido de GUIDE

La figura 3.2.2 muestra la pantalla inicial de Guide con el archivo abierto con el nombre “untitled.fig”. La cuadrícula gris es el tamaño de la interface que posteriormente se vera en la pantalla.

Aquí es donde pondremos los pulsadores, editores, text o ejes, que aparecen en la barra lateral izquierda de la pantalla. Una vez guardamos la pantalla en la que estamos trabajando, aparecerán dos archivos, la figura de la interface (nombre.fig) y el archivo M-file (nombre.m) correspondiente al código generado por todos los componentes introducidos en la interface y la programación de las funciones, en el entorno llamadas Callbacks que se le adjudican. El archivo .m y .fig, tendrán el mismo nombre.

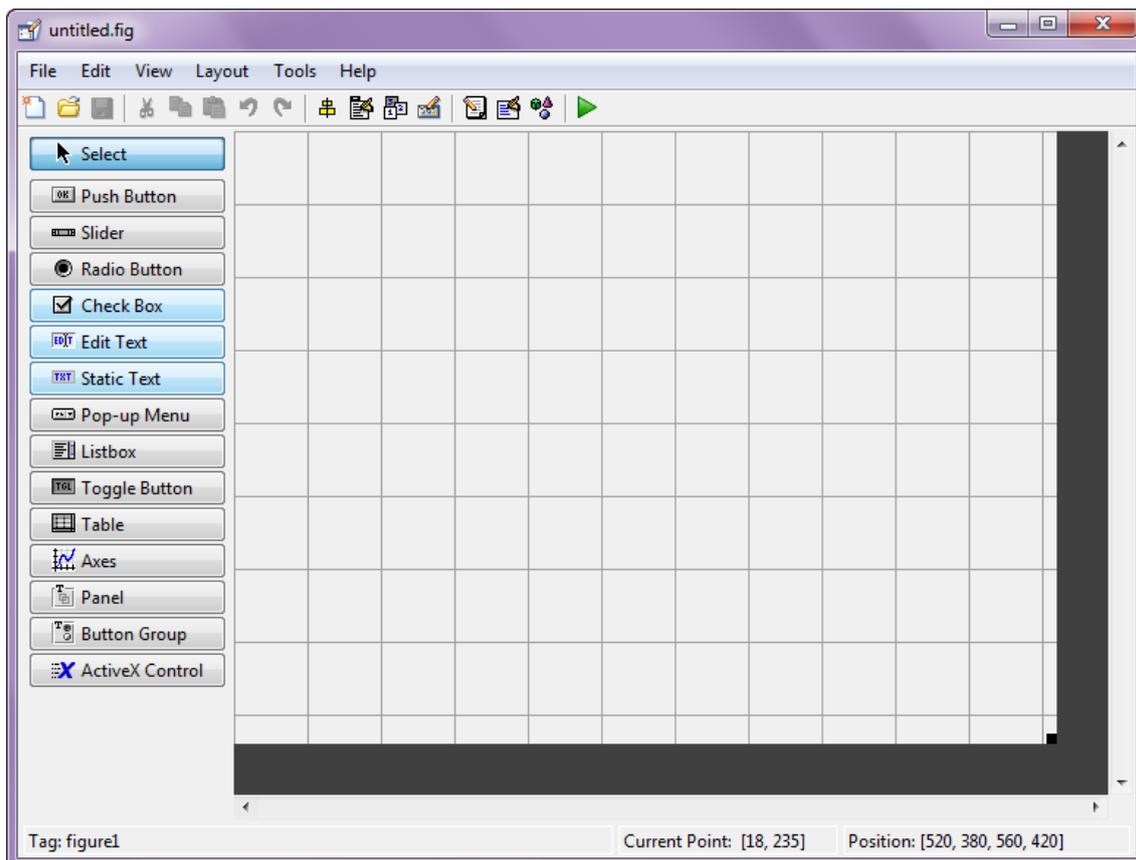


Figura 3.2.2. Pantalla inicial de GUIDE

3.1.1. Iconos de la pantalla GUIDE

La barra de edición de la Guide tiene las opciones típicas que todos los programas disponen: Abrir una nueva figura, abrir una ya existente, copiar, guardar, pegar, etc.

La barra de componentes de la guide muestran todos los componentes que se pueden usar a la hora de hacer una interface de usuario.

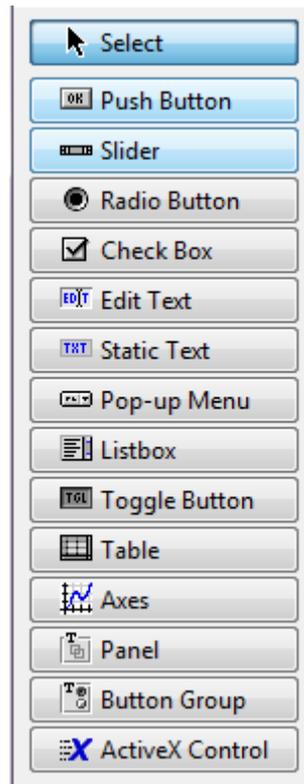


Figura 3.2.3. Iconos de la pantalla GUIDE

- Push Button: Tiene la función principal de ejecutar una acción cuando se le clica encima. Se puede utilizar como permiso para llevar a cabo una acción, para abrir una ventana de guardar documentos, etc.
- Slider: Permite seleccionar un valor dentro de un rango moviendo la barra.
- Radio Button: Permite seleccionar la opción deseada con un clic.
- Check Box: Similar a la anterior, permite al usuario hacer selecciones múltiples de un conjunto de opciones.
- Edit text: Sirve para introducir una cadena de entrada, bien sea caracteres o números.
- Static text: Muestra en la pantalla el valor del String.
- Pop up Menu: Es un menú que se despliega para tal de poder seleccionar una de las opciones que aparezcan.

- List box: Sirve para mostrar dadas en forma de lista por pantalla.
- Toggle Button: tiene un funcionamiento binario del estilo de un interruptor. Ejecuta la instrucción que se le adjudica cuando se pasa una vez cambiando su estado de “no pulsado” a “pulsado” Cuando se le vuelve a dar cambia de “pulsado” a “no pulsado” y ejecuta la misma comanda.
- Table: Permite tener una tabla del mismo estilo de Excel.
- Axes: Inserta dentro de la pantalla de la interface gráfica una área para poder representar imagenes, gráficas, etc.
- Panel y Button Group: Sirven para agrupar Radio Button, Check Box, Push Button, etc.
- ActiveX Control: Por dentro de la pantalla de la interface un control ActiveX.

Una vez tengamos nuestro diseño hecho, podemos ayudar a estructurarlo mejor con las herramientas de la barra que nos proporciona GUIDE, en la barra superior encontraremos los siguientes botones:



Figura 3.2.4.Herramientas de la pantalla GUIDE

- Align Object: Sirve para alinear los componentes de la interface pudiendo ordenarlo verticalmente o horizontalmente con una separación determinada.
- Menu Editor: Aquí se pueden crear los menús de la interface, como el menú “Abrir”, “Guardar” o “Ajustar” que la mayoría de programas tienen.
- Tab Order Editor: Si hace falta cambiar el orden de los button de un panel, seleccionando este icono se puede hacer.
- M-file editor: Abre el editor de archivos .m.
- Property Inspector: Con este icono se puede editar las propiedades de un componente, como el color, la mida, cambiar el nombre del componente, etc.

- Run Figure: Permite simular la interface tal i como quedaría finalmente.
- Toolbar Editor: Se puede crear una barra de herramientas con las opciones de Zoom in, Zoom out, Imprimir, Abrir, Guardar, etc.
- Object Browser: es donde podemos modificar todos los componentes que existen en la pantalla de la interface, pudiendo seleccionarlos y editarlos desde allí mismo.

3.1.2. Flujo de operaciones de dadas de una GUIDE.

En una interface, el control sobre las operaciones a realizar depende del usuario, mientras que el código programado está predeterminado. Eso es como el botón de pulsar llamado “ejecutar”, el usuario desea que la interface se disponga a ejecutar el código programado y una vez ejecutado vuelve al estado de espera.

En la siguiente imagen se observa cómo se interactúa en nuestra interface con los diferentes componentes (edit text, text, push button, etc), según el código programado. Cuando se acaba de ejecutar este código, el control del flujo vuelve a estar en inicial para tal de seguir utilizando la GUI, este ciclo se repite mientras no se salga de la GUI.

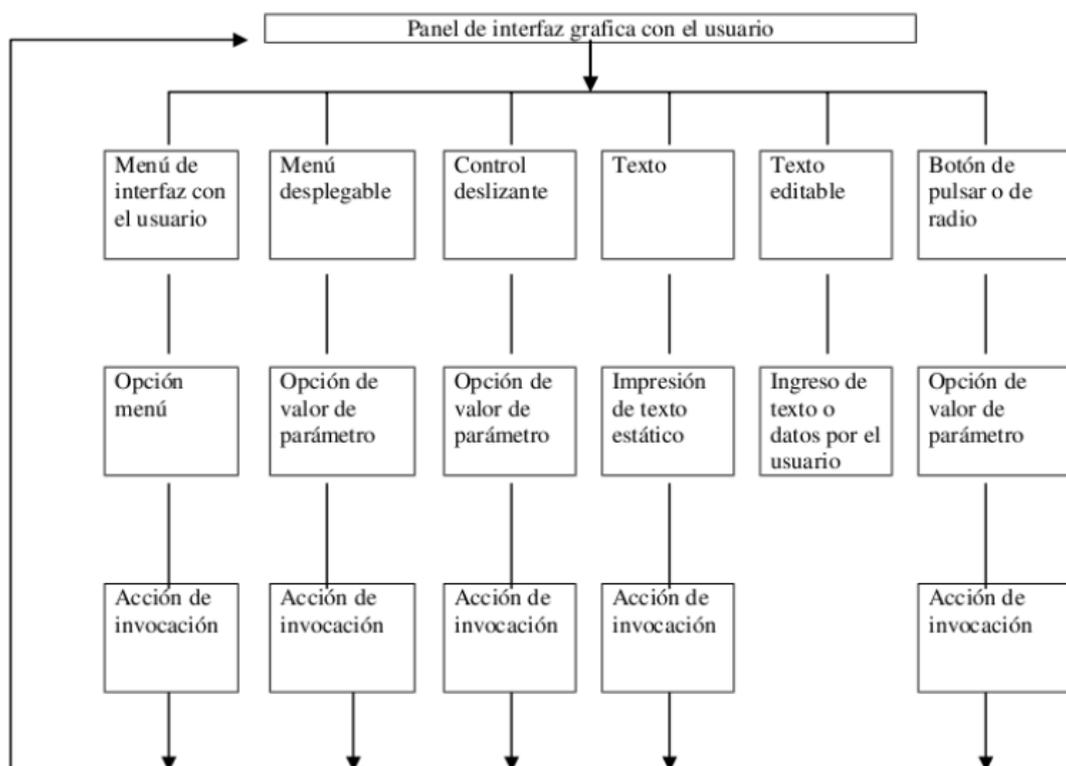


Figura 3.2.5. Flujo de operaciones

3.2. Funciones de MATLAB para GUIDE.

En este punto de explican un poco las funciones básicas necesarias para la creación de nuestra interface.

Las nociones básicas de Matlab se han de tener para llegar a este punto y poder crear una GUIDE. Cosa que ya hemos hecho y si hay alguna duda siempre se puede consultar los enlaces proporcionados en la bibliografía.

3.2.1. Handles

La traducción de esta función a español, es manejar. La definición es muy encertada dado que sirve para poder manipular todos los datos introducidos por el usuario en una handle.

Para poder tener bien almacenada las dadas en handle, hace falta que se guarde el valor proporcionado en su respectiva función o callback, sino la guardamos, esa variable no la podremos usar posteriormente. Se hace mediante la instrucción:

guidata(hObject,handles)

Para poder acceder a ese valor almacenado solo hace falta poner el nombre de handles.el nombre de la variable, como en una estructura.

3.2.2. Funciones get y set

Estas dos funciones (get y set) sirven para obtener o asignar valores a los componentes, respectivamente.

A la función get, hace falta especificarle el handle de la cual ha de coger el valor de la dada con el string proporcionado.

De la misma manera la función set hace falta decir donde se quiere colocar el dato y en que parámetro (handle) y la dada que se quiere poner:

get(handle.origen,'paràmetro')
set(handle.destino,'parametro', dada)

Un componente de Matlab tiene muchos campos y dadas, como ahora el String, Value o Enable. En el caso de String es el campo del que se coge el dato introducido por el usuario o donde se pone el dato que se quiere mostrar por pantalla, como por ejemplo un edit text. Evidentemente en este campo no se le puede poner un dato numérico porque como el nombre indica es un String. Entonces hace falta cambiarle el formato numérico a string, o viceversa, según escriba o coja el dato, con las funciones:

dada_string = num2str(dada_numèrica);
dada_numerica = str2num(dada_string);

3.2.3. Mensajes por pantalla

Un aspecto importante de una interface es la información que desde el programa se le puede dar al usuario en forma de guía, aviso o existencia de errores tanto en las acciones internas como en acciones que ha llevado a cabo el usuario. Los mensajes que se pueden mostrar por la pantalla son:

```
warndlg('Mensaje de aviso', 'Aviso');  
errordlg('Mensaje de error', 'Error');  
helpdlg('Mensaje de ayuda', 'Ayuda');  
msgbox('Mensaje', 'Mensaje');  
questdlg('Mensaje pregunta', 'Pregunta');
```

El campo de la izquierda es el mensaje que muestra por la pantalla y el de la derecha es el encabezamiento de la ventana del mensaje.

3.3. Entorno de MATLAB para la creación de ejecutables.

El entorno matemático y de programación de Matlab tiene muchas herramientas tanto para la resolución como para la simulación aplicada a todas las ramas de la ingeniería.

Para crear una interface gráfica de usuario esta la herramienta GUIDE y para crear el ejecutable o librerías compartida de C Deplottool.

El potencial de Matlab se puede utilizar incluso si no tienes instalado el Matlab, mediante la instalación del Runtime.

Todo i que Matlab tiene un gran potencial, para llegar a poder hacer un ejecutable hace falta que el ordenador tenga instalado un compilador de C. En el proyecto explicaremos los primeros pasos de la programación y creación de la interface con el entorno de Matlab, útil para facilitar a usuario la interacción con la aplicación de Comunicaciones Móviles.

4. Estructura del simulador

Una vez hemos aprendido todos los conocimientos necesarios para realizar interfaces mediante GUIDE de Matlab, podremos desarrollar nuestra interface, que realizara la función de un software de Comunicaciones Móviles, asignatura cursada en EPSEVG, donde hemos obtenido conocimientos de las comunicaciones móviles y donde nos hemos encargado de hacer un resumen de dicha asignatura en este PFC, que son los conocimientos básicos que hemos de tener para llevar a cabo la GUIDE, simulador de una base de comunicación.

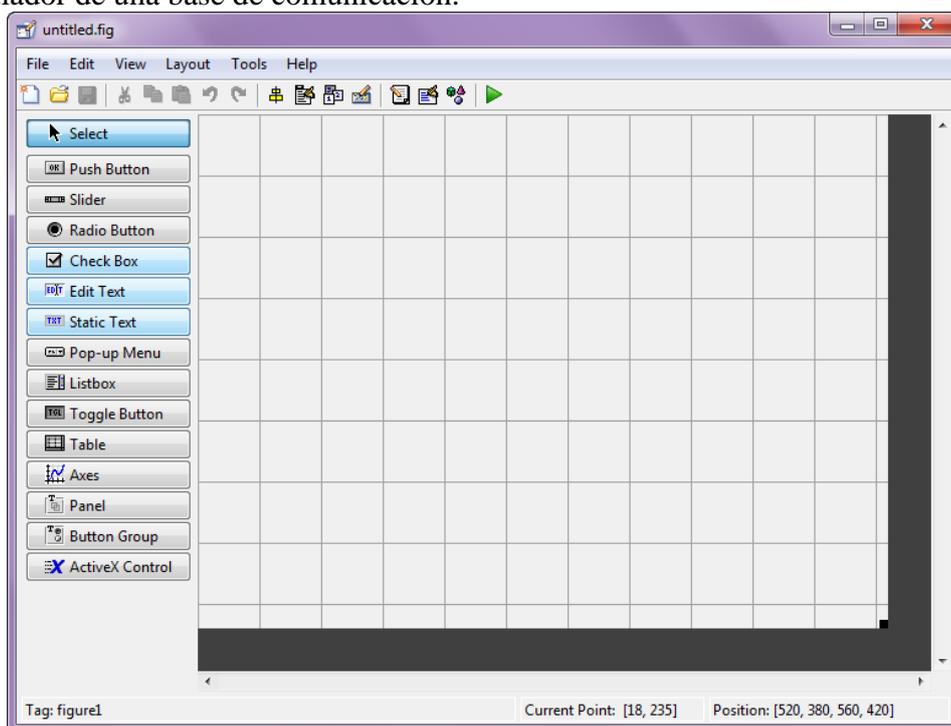


Figura 4. Pantalla inicial de GUIDE

Como ya habíamos mencionado con anterioridad, este simulador está basado en la docencia, con lo cual, para que sea más cómodo de utilizar hemos dividido el simulador en varias funciones, según los temas dedicados en la asignatura y repartidos como tal. En los siguientes apartados explicaremos detenidamente la estructura interna del programa. Si se quiere el código de todo el programa se podrá encontrar en el CD adjunto.

Primeramente el lector ha de saber que el programa se ha hecho en cinco archivos .m, si contamos con la portada, pero finalmente con la función develop de MATLAB hemos creado un único ejecutable, disponible para todos los PC. La cual cosa todas las funciones integradas estarán en un mismo .exe.

El lector también ha de saber que muchas funciones y variables introducidas en el programa son expresiones catalanas. Finalmente se ha de saber que el programa se ha hecho a partir de cinco interfaces gráficas creadas anteriormente dentro del entorno GUIDE (comando que se introduce en la ventana de comandos para que aparezca dicho entorno), lugar donde se crean las GUI. El programa está formado por diferentes funciones, por eso lo que se va hacer posteriormente es una breve explicación de cada función.

4.1. Portada

En la siguiente *figura 4.1* mostraremos la portada de nuestro simulador, donde se han programado cuatro push button, para cuando cliquemos en los diferentes botones se ejecuten interfaces diferentes, según con el tema docente de la asignatura.

Ahora detallaremos la estructura de cada pantalla del simulador:



4.1. Portada del simulador

La primera función que observamos es la `varargout` y la introduce directamente MATLAB cuando se crea una GUI, el contenido lo pone directamente MATLAB a la hora de crear interfaces.

La función `PORTADA_OpeningFcn` también la crea automáticamente cuando creamos una GUI, en este caso el programa se llama `PORTADA` cosa que obtenga ese nombre. Esta función es la que ejecuta automáticamente cuando se inicializa el programa. Aquí se pueden inicializar algunas variables antes de comenzar a trabajar con el programa.

Cada botón que podemos observar en esta GUI se ha creado una función nueva en el fichero `.m`, por ejemplo cuando le damos a calcular radio de cobertura, tenemos la función `radio`. En el caso de la portada al haber únicamente cuatro botones, no se le ha llamado de ninguna manera especial, únicamente están para llamar a las demás funciones (interfaces), más adelante veremos que cada función tiene el mismo nombre que el botón, `edit`, `text`, etc.

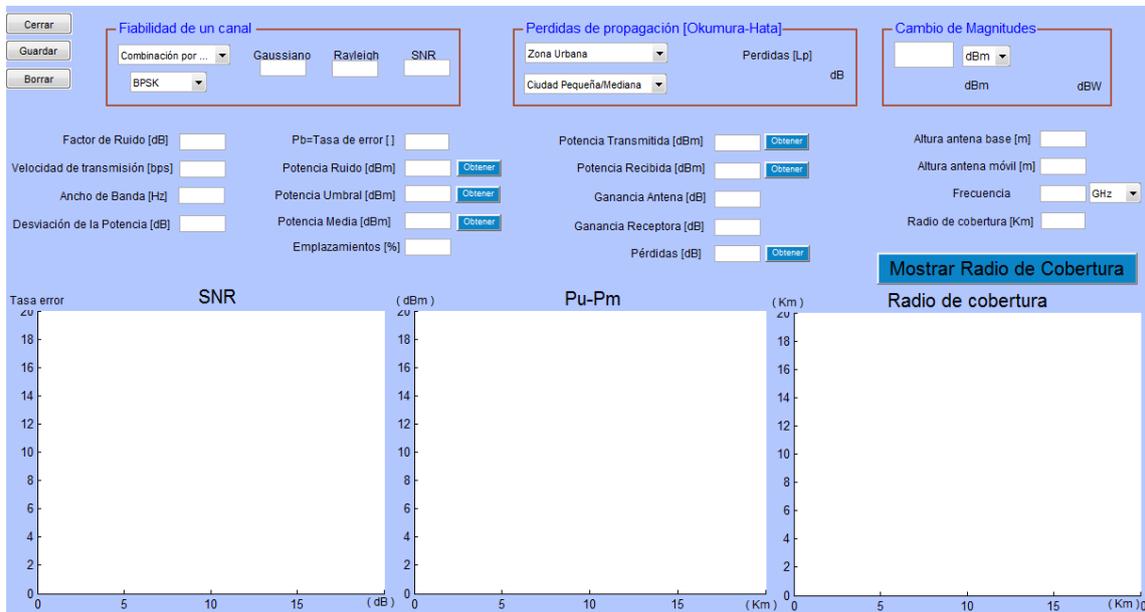
Seguidamente observaremos una tabla con las funciones creadas a partir de la interface GUI, indicando la función de cada función y que representan dentro del programa o entorno GUI.

Nombre de la Función	Significado	Tipo (GUIDE)
Cerrar	Botón para cerrar la interface.	Pushbotton
Radio	Botón para llamar a la interface del tema 1 y 2.	Pushbotton
Llamada	Botón para llamar a la interface del tema 3.	Pushbotton
Pushbotton2	Botón para llamar a la interface del tema 4.	Pushbotton
Pushbotton4	Botón para llamar a la interface del tema 5.	Pushbotton

Los pushbotton dentro de la interface GUIDE son para realizar algún tipo de acción, por eso llevan integrado los Callbacks. En los callbaks se introducen un cierto código, el cual se ejecuta cuando entras en acción dentro de ese objeto.

4.2. Temas 1 y 2

En este apartado realizaremos también una breve explicación de cómo se estructura, veremos que los cuatro temas son muy similares, únicamente era para llevar un orden y no hacer un simulador confuso, sino más bien, estructurado como se muestra en la *figura 4.2*.



4.2. Simulador tema 1 y 2

La primera función que observamos es la `varargout` y la introduce directamente MATLAB cuando se crea una GUI, el contenido lo pone directamente MATLAB a la hora de crear interfaces.

La función `tema1_3_OpeningFcn` también la crea automáticamente cuando creamos una GUI, en este caso el programa se llama `tema1_3` cosa que obtenga ese nombre. Esta función es la que ejecuta automáticamente cuando se inicializa el programa. Aquí se pueden inicializar algunas variables antes de comenzar a trabajar con el programa.

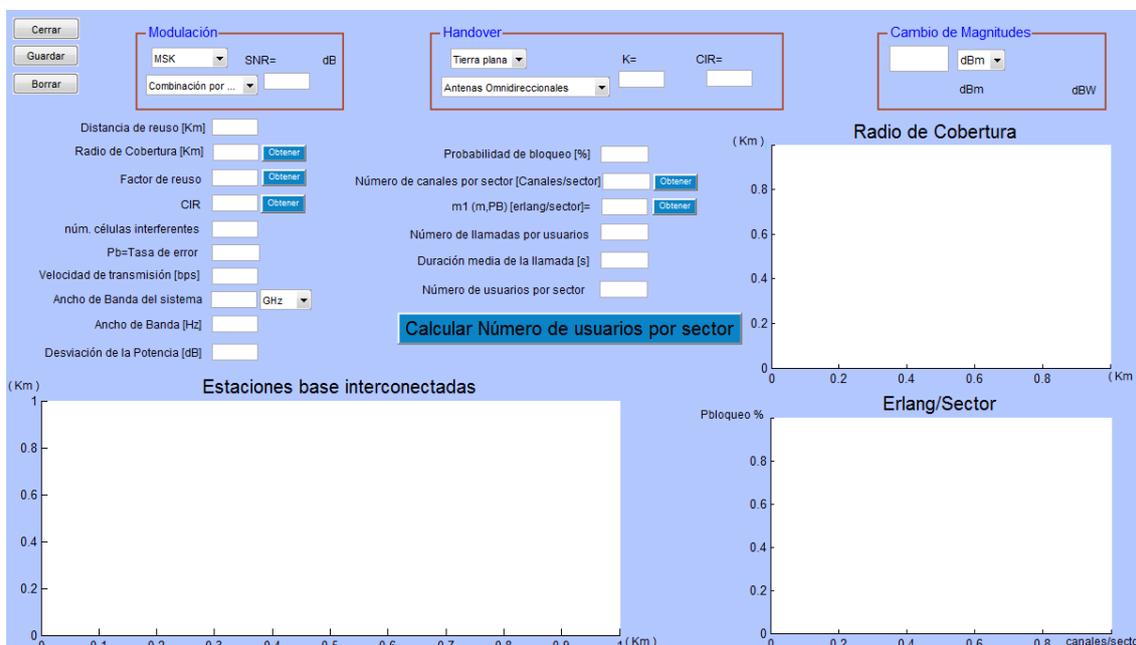
Seguidamente observaremos una tabla con las funciones creadas a partir de la interface GUI, indicando la función de cada función y que representan dentro del programa o entorno GUI.

Nombre de la Función	Significado	Tipo (GUIDE)
Borrar	Botón que sirve para borrar los texts que no se pueden modificar	Pushbotton
BW	Ancho de Banda	Edit
Calcular	Botón que calcula el radio	Pushbotton
Cerrar	Botón para cerrar la GUI	Pushbotton
Ciudad	Selección de la ciudad en que te encuentras	Popupmenu

Combinación	Selección de la combinación	Popupmenu
Desviación	Desviación de Potencia	Edit
Emplazamiento	Emplazamientos	Edit
Factor_de_ruido	Factor de ruido	Edit
Frec.	Frecuencia	Edit
Gantena	Ganancia antena	Edit
Gaus	SNR en gaussiano	Edit
Greceptora	Ganancia receptora	Edit
Guardar	Botón para guardar las imagenes	Pushbotton
Hb	Altura base	Edit
Hm	Altura móvil	Edit
Lp_perdues	Botón para calcular las perdidas	Pushbotton
Magnitud	Valor que deseamos cambiarle la unidad	Edit
Pb	Tasa de error	Edit
Perdues	Perdidas	Edit
Pm	Potencia media	Edit
Popupmenu1	Selección del cambio de magnitud	Popupmenu
Potencia_rebuda	Botón para calcular la potencia recibida	Pushbotton
Potencia_ruido	Potencia ruido	Edit
Prebuda	Potencia recibida	Edit
Ptransmesa	Potencia transmitida	Edit
Pttrans	Botón que calcula la potencia transmitida	Pushbotton
Pu	Potencia umbral	Edit
Push_media	Botón para calcular la potencia media.	Pushbotton
Push_ruido	Botón para calcular la potencia de ruido.	Pushbotton
Push_umbral	Botón para calcular la potencia umbral.	Pushbotton
Radi	Radio	Edit
Ray	SNR en Rayleigh	Edit
Rayleigh	Selección de la Modulación	Popupmenu
Rb	Velocidad de transmisión	Edit
SNR	Relación señal ruido	Edit
Valor_frec	Selección de las unidades de frecuencia	Popupmenu
Zona	Selección de la zona	Popupmenu

4.3. Tema 3

Como hemos dicho anteriormente, los simuladores serán similares, podemos observar la *figura 4.3* es parecida a la *figura 4.2* ya vista y a la *figura 4.4* la que veremos mas adelante.



4.3. Simulador tema 3

La primera función que observamos es la `varargout` y la introduce directamente MATLAB cuando se crea una GUI, el contenido lo pone directamente MATLAB a la hora de crear interfaces.

La función `tema1_2_OpeningFcn` también la crea automáticamente cuando creamos una GUI, en este caso el programa se llama `tema1_2` cosa que obtenga ese nombre. Esta función es la que ejecuta automáticamente cuando se inicializa el programa. Aquí se pueden inicializar algunas variables antes de comenzar a trabajar con el programa.

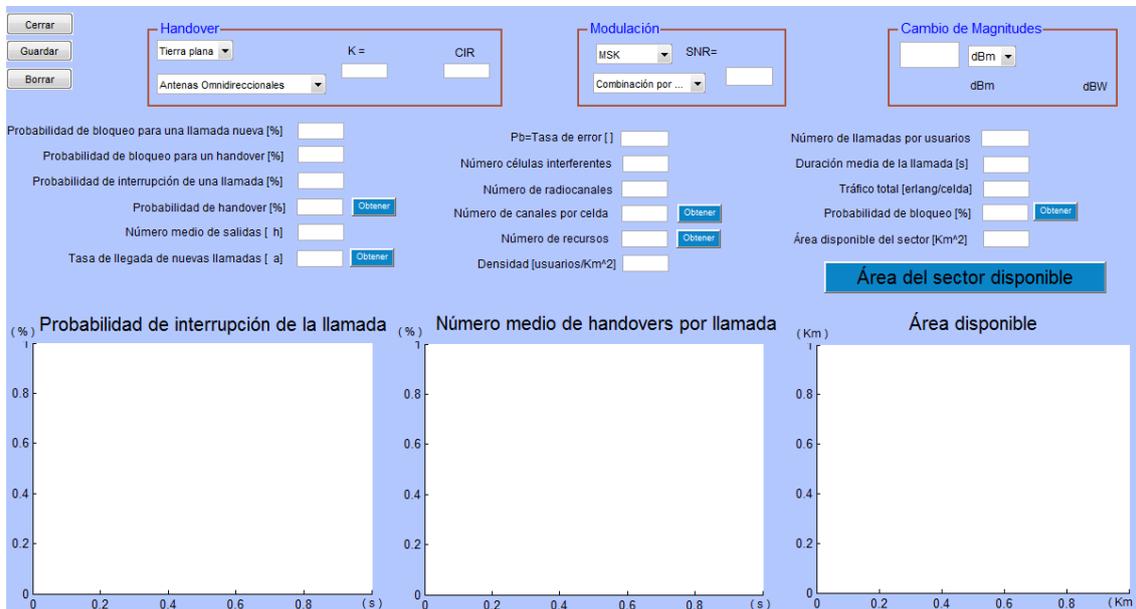
Seguidamente observaremos una tabla con las funciones creadas a partir de la interface GUI, indicando la función de cada función y que representan dentro del programa o entorno GUI.

Nombre de la Función	Significado	Tipo (GUIDE)
Antenas	Selección del tipo de antena	Popupmenu
BC	Ancho de banda	Edit
Borrar	Botón que sirve para borrar los texts que no se pueden modificar	Pushbotton
BT	Ancho de banda del sistema	Edit
Calcular	Botón que calcula en número de usuarios por	Pushbotton

	sector	
Canales_ms	Botón para calcular los canales/sector	Pushbotton
Cerrar	Botón para cerrar la interface	Pushbotton
CIR	Valor CIR	Edit
Combinación	Selección de la combinación	Popupmenu
D	Distancia de reuso	Edit
Db	Valor para cambiar la magnitud	
Desviación	Desviación de la potencia	Edit
Factor_k	Valor del factor de reuso	
Frecuencia_pop	Selección de la magnitud de la frecuencia	Popupmenu
Guardar	Botón para guardar las imagenes	Pushbotton
K	Factor de Reuso	Edit
M1	Número de canales/erlang	Edit
M	Número de canales/sector	Edit
Magnitud	Selección del cambio de magnitud	Popupmenu
Modelo	Selección del modelo de propagación	Popupmenu
Mostrar_n	Botón para calcular el número de células interferentes	Pushbotton
N	Número de células interferentes	Edit
Obtener_k	Botón para calcular el factor de reuso	Pushbotton
Obtener_CIR	Botón para calcular la CIR	Pushbotton
P_error	Tasa de error	Edit
PB	Probabilidad de bloqueo	Edit
Popupmenu6	Selección de la modulación	Popupmenu
Push_m1	Botón para calcular canales/erlang	Pushbotton
Qu	Número de llamadas por usuario	Edit
R	Radio de cobertura	Edit
Rb	Velocidad de transmisión	Edit
SNR	Relación señal ruido	Edit
Ts	Duración de la llamada	Edit
Usuarios	Usuarios	Edit
Valor_CIR	CIR	Edit
Valor_R	Botón para calcular el radio	Pushbotton

4.4. Tema 4

En este apartado explicaremos la estructura del simulador del tema 4, que podemos observar en la siguiente *figura 4.4*.



4.4. Simulador tema 4

La primera función que observamos es la varargout y la introduce directamente MATLAB cuando se crea una GUI, el contenido lo pone directamente MATLAB a la hora de crear interfaces.

La función tema1_4_OpeningFcn también la crea automáticamente cuando creamos una GUI, en este caso el programa se llama tema1_4 cosa que obtenga ese nombre. Esta función es la que ejecuta automáticamente cuando se inicializa el programa. Aquí se pueden inicializar algunas variables antes de comenzar a trabajar con el programa.

Seguidamente observaremos una tabla con las funciones creadas a partir de la interface GUI, indicando la función de cada función y que representan dentro del programa o entorno GUI.

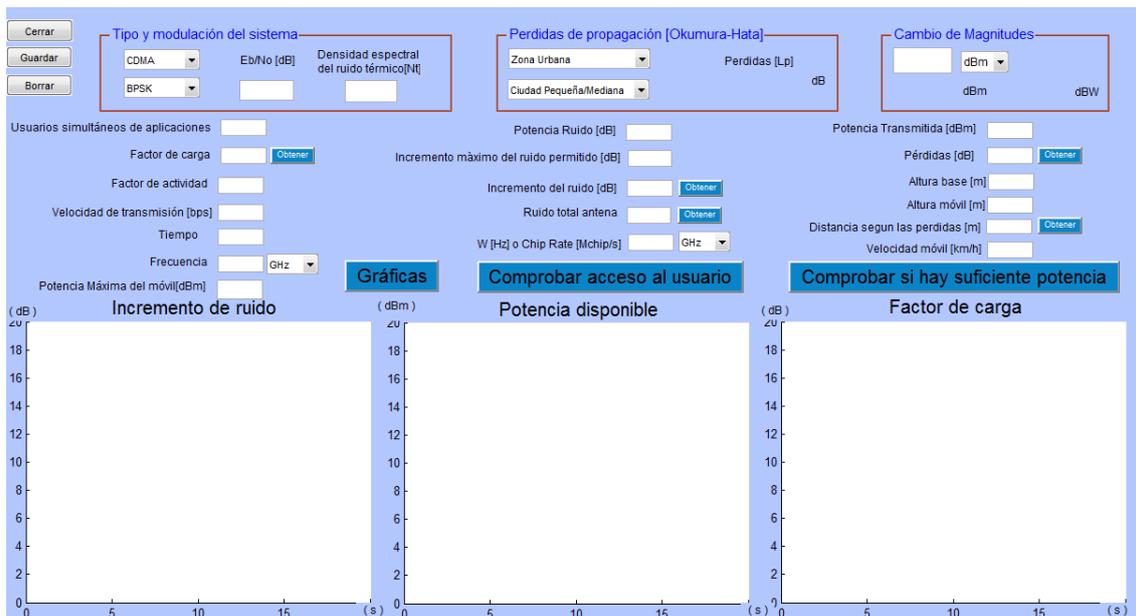
Nombre de la Función	Significado	Tipo (GUIDE)
Antena	Selección del tipo de antena	Popupmenu
Borrar	Botón para borrar los texts que no se pueden modificar	Pushbotton
Calcular1	Botón que te calcula el resultado final	Pushbotton
Cerrar	Botón para cerrar la interface	Pushbotton

CIR	CIR	Edit
Combinación	Selección de la combinación	Popupmenu
Densidad	Densidad de usuarios	Edit
Guardar	Botón para guardar las graficas en .jpg	Pushbotton
K	Factor de reuso	Edit
Magnitud	Valor que deseamos cambiarle la magnitud	Edit
Model	Selección del modelo	Popupmenu
N	Número de células interferentes	Edit
Num_canales	Número de canales	Edit
Num_recurso	Número de recursos	Edit
Obtener_numerocanales	Botón que calcula el número de canales	Pushbotton
Obtener_Pb	Botón que calcula la probabilidad de bloqueo	Pushbotton
Obtener_Ph	Botón que calcula la probabilidad de handover	Pushbotton
Obtener_recursos	Bóton que calcula los recursos	Pushbotton
Obtener_traficocelda	Botón que calcula la tasa de nuevas llamadas	Pushbotton
P_error	Tasa de error	Edit
Pb	Probabilidad de bloqueo	Edit
Pba	Probabilidad de bloqueo para una nueva llamada	Edit
Pbh	Probabilidad de bloqueo para un handover	Edit
Pdrop	Probabilidad de interrupción	Edit
Ph	Probabilidad de handover	Edit
Popupmenu1	Selección del cambio de magnitud	Popupmenu
Popupmenu6	Selección de la modulación	Popupmenu
Qu	Número de llamadas por usuarios	Edit
Radiocanales	Número de radiocanales	Edit
SNR	Relación señal ruido	Edit
Tm	Duración media de la llamda	Edit
Trafic_celda	Tasa de llegadas de nuevas llamadas	Edit
Trafic_handover	Número medio de salidas	Edit
Trafic_total	Trafico total	Edit

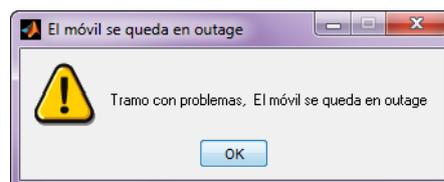
4.5. Tema 5

En este apartado a diferencia de los otros, podemos observar que los resultados se muestran como mensajes de aviso, *figura 4.6*. En las anteriores graficas también tenemos programados estos avisos, pero como el nombre bien indica son avisos, que nos saltan cuando introducimos mal un valor o un resultado no puede ser correcto. Así que por norma, si estamos resolviendo un ejercicio de clase, no deben salir los avisos de error.

En este simulador, *figura 4.5*. Nos sale pero no como aviso de error, sino como avisos informativos, ya que tenemos saber resultados sin la necesidad de ver un valor numérico, así que este aviso nos muestra la respuesta correcta en forma de texto.



4.5. Simulador tema 5



4.6. Avisos

La primera función que observamos es la varargout y la introduce directamente MATLAB cuando se crea una GUI, el contenido lo pone directamente MATLAB a la hora de crear interfaces.

La función `tema1_5_OpeningFcn` también la crea automáticamente cuando creamos una GUI, en este caso el programa se llama `tema1_5` cosa que obtenga ese nombre. Esta función es la que ejecuta automáticamente cuando se inicializa el programa. Aquí se pueden inicializar algunas variables antes de comenzar a trabajar con el programa.

Seguidamente observaremos una tabla con las funciones creadas a partir de la interface GUI, indicando la función de cada función y que representan dentro del programa o entorno GUI.

Nombre de la Función	Significado	Tipo (GUIDE)
An	Incremento de ruido	Edit
Borrar	Botón que borra los texts que no se pueden editar	Pushbotton
Calcular	Botón que calcula si el usuario es aceptado o no	Pushbotton
Canvi_magnitud	Selección de la magnitud a la que deseamos cambiar	Popupmenu
Cerrar	Botón que cierra la interface	Pushbotton
Comprobar_potencia	Botón que comprueba que con los datos proporcionados la potencia es valida	Pushbotton
Db	Valor que introducimos para el cambio de magnitud	Edit
Eb	Eb/No	Edit
Fa	Factor de actividad	Edit
Frec_w	Selección de la magnitud del chip rate	Popupmenu
Frecuencia	Frecuencia	Edit
Guardar	Botón que guarda las graficas en .jpg	Pushbotton
Hb	Altura base	Edit
Hm	Altura móvil	Edit
Imax	Incremento de ruido máximo permitido	Edit
Itot	Ruido total de antena	Edit
Lp	Perdidas	Edit
Modulación	Selección del tipo de modulación	Popupmenu
N	Número de usuarios	Edit
No	Densidad espectral del ruido térmico	Edit
Obtener_An	Botón que calcula el incremento de ruido	Pushbotton
Obtener_distancia	Botón que calcula la distancia	Pushbotton
Obtener_Itot	Botón que calcula el ruido total de la antena	Pushbotton
Obtener_Lp	Botón que calcula las pérdidas	Pushbotton
Obtener_n	Botón que calcula el factor de carga	Pushbotton

Pm	Potencia máxima del móvil	Edit
Pn	Potencia de ruido	Edit
Pt	Potencia transmitida	Edit
Pushbutton17	Botón que te muestra las graficas	Pushbotton
R	Distancia según las perdidas	Edit
Rb	Velocidad de transmisión	Edit
T	Tiempo	Edit
Tipo_sistema	Selección del sistema	Popupmenu
Tipus_ciudad	Selección del tipo de ciudad	Popupmenu
Tipus_zona	Selección del tipo de zona	Popupmenu
Usuarios	Usuarios	Edit
Valor_frec	Selección de la magnitud de la frecuencia	Popupmenu
Vm	Velocidad del móvil	Edit
W	Chip Rate	Edit

5. Resolución de ejercicios teóricos.

Temas 1 y 2

Se dispone de un sistema de comunicaciones móviles exteriores a 900MHz que utiliza modulación QPSK a 16kb/s y garantiza una tasa de error no superior a 10^{-3} en el 90% de los emplazamientos dentro de la zona de cobertura.

a) Calcula el radio de cobertura.

Datos:

Potencia transmitida= 10W

Altura de la antena base= 100m

Altura de la antena móvil = 1m

Factor de ruido receptor= 3dB

Ganancia antenas $G_t=G_r= 1.5dB$

Propagación lognormal =8dB

Perdidas de propagación (Okumura-Hata): Ciudad grande ($f<200MHz$), Zona Urbana.

Teórico

La tasa de error depende de la modulación y de las características del canal para una relación señal/ruido dada.

$$P_b = \frac{1}{2 \cdot \gamma_o} = 10^{-3} \text{ (QPSK y canal Rayleigh)}$$

$$P_N = kT_oFB = -131,94dBm$$

$$B = \frac{R_b}{2} = 8kHz$$

P_u Potencia recibida necesaria para garantizar que $P_b = 10^{-3}$.

$$P_u = P_N + \gamma_o = -104,93dBm \text{ pues } \gamma_o = 500 = 27dB$$

La potencia media recibida que garantiza una $P_u = -104.3dBm$ en el 90% de los emplazamientos del borde de la zona de cobertura es:

$$Prob \{P_r \geq P_u\} = 0,9 = \int_{P_u}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(P-\bar{P})^2}{2\sigma^2}} dP$$

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^x e^{-t^2} dt, \text{erf}(x) = -\text{erf}(-x)$$

$$\text{erf}\left(\frac{P_u - \bar{P}}{\sqrt{2}\sigma}\right) = -0,8 \rightarrow \text{erf}\left(\frac{P_m - P_u}{\sqrt{2}\sigma}\right) = 0,8 \rightarrow \frac{P_m - P_u}{\sqrt{2}\sigma} = 0,9$$

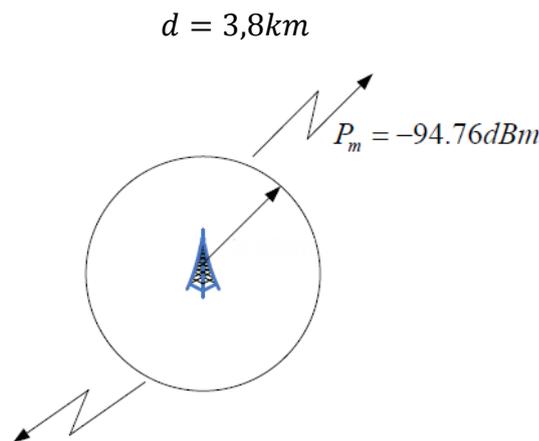
$$P_m = P_u + 0,9 \cdot \sqrt{2}\sigma = -104,93dBm + 0,9 \cdot \sqrt{2} \cdot 8 \rightarrow P_m = -94,7dBm$$

Según el modelo de Okumura-Hata:

$$L_p(dB) = 120,5 + 31,8 \log(d_{(km)})$$

Resulta entonces,

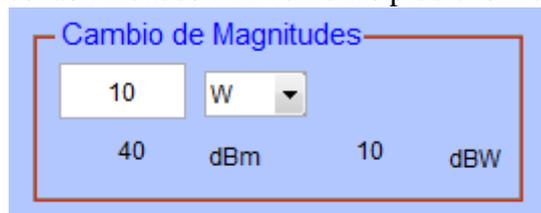
$$\begin{aligned} -94,76dBm &= P_m = P_T + G_R + G_T - L_p \\ &= 40dBm + 1,5dB + 1,5dB - 120,5dB - 31,8 \log(d_{(km)})dB \end{aligned}$$



Solo el 90% de los emplazamientos recibe una potencia superior al valor $P_u = -104,94\text{dBm}$

Simulador

Primero seleccionaremos las unidades tal i como las pide el simulador:

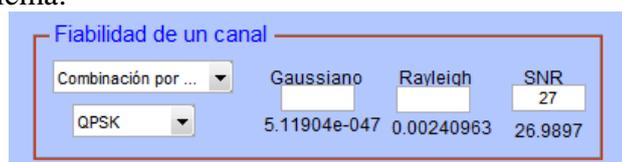


Para eso disponemos del Cambio de Magnitudes, que nos facilita el hecho de trabajar con dB, dBm, etc.

Posteriormente introducimos los valores proporcionados por el enunciado.



A continuación con los pop menús diseñados, seleccionaremos las condiciones que nos exige el problema:



Este simulador no está diseñado solo para obtener el resultado final, que además hay programados diferentes push button, donde pone obtener, que de esta manera

tendremos el valor deseado de la función que tenga al lado, así si nos pidiera por ejemplo la potencia de ruido, y no la tenemos, podremos obtenerla. Ahora nos dedicaremos a obtener todos los datos que nos faltan, únicamente apretando el botón obtener adecuado:

Factor de Ruido [dB]	3	Pb=Tasa de error []	0.001	Potencia Transmitida [dBm]	40	Obtener	Altura antena base [m]	100			
Velocidad de transmisión [bps]	16000	Potencia Ruido [dBm]	-131.946	Obtener	-131.946	Potencia Recibida [dBm]	-94.69	Obtener	-94.6936	Altura antena móvil [m]	1.5
Ancho de Banda [Hz]	8000	Potencia Umbral [dBm]	-104.946	Obtener	-104.946	Ganancia Antena [dB]	1.5	Frecuencia	900	MHz	
Desviación de la Potencia [dB]	8	Potencia Media [dBm]	-94.69	Obtener	-94.6936	Ganancia Receptora [dB]	1.5	Radio de cobertura [Km]			
		Emplazamientos [%]	90	Pérdidas [dB]	137.7	Obtener	137.69				

Mostrar Radio de Cobertura

Para poder calcular el radio de cobertura hay una dada que es vital y que la debemos de tener, en este caso son las pérdidas, que no nos la proporcionaba el problema, pero gracias a los demás datos la hemos obtenido, ahora nada mas falta aplicar Okumura-Hata y obtendremos nuestro radio:

Perdidas de propagación [Okumura-Hata]

Zona Urbana Perdidas [Lp] 137.69 dB

Ciudad Grande (f<200M...)

Le damos a calcular y obtendremos el valor deseado:



Tema 3

Dado un sistema de comunicaciones móviles celulares MSK que trabaja a 200kbps y suponiendo la utilización de antenas sectoriales de 120°, determínese:

- El número de usuarios por sector, para una $P_b = 10^{-3}$ y una probabilidad de bloqueo $P_B = 0,02$, que soporta el sistema cuando está limitado por interferencias.
- Calcula la distancia entre células co-canal i el radio de ambas.

Datos:

Supóngase el modelo de tierra plana.

Factor de ruido receptor=4dB

Ancho de banda MSK= $1,5/T_b$

Ancho de banda total asignado al sistema=144MHz

Distancia entre células co-canal=6Km

Duración media de la llamada en la hora cargada=100s

Número de llamadas por usuario en la hora cargada=0,8

Propagación lognormal=10dB

Teóricos

$$a) \quad \gamma_o = \frac{P_s}{P_N + P_I} = \frac{1}{\frac{1}{SNR} + \frac{1}{CIR}}$$

En un canal Rayleigh

$$P_b \approx \frac{2}{2\gamma_o} = 10^{-3} \rightarrow \gamma_o = 500 \rightarrow CIR = 550$$

Para tener una CIR=550 es necesario

$$K = \frac{1}{3} [1 + (n \cdot CIR)^{\frac{1}{\alpha}}]^2 = 15,22$$

$$K = u^2 + v^2 + u \cdot v$$

$$K = 16 \text{ es posible } (u = 4, v = 0)$$

m_s =número de canales por sector

$$m_s = \frac{B_T}{K \cdot 3} = \frac{144 \text{ MHz}}{16 \cdot 3} = 10$$

Acudiendo a las tablas:

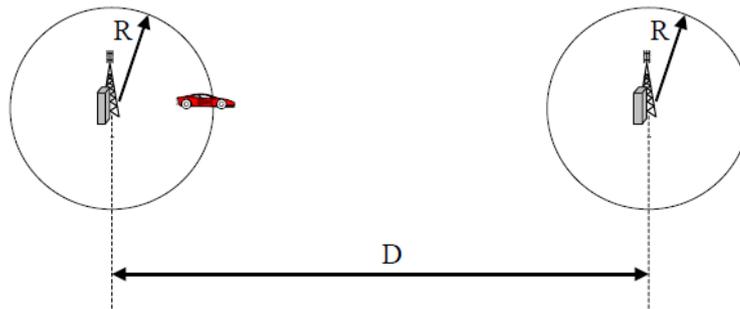
m (canales)	10	20	30	40	50
$m_1(m, P_B)$	4.6	11.9	19.8	28.1	36.6

$$m_1(m_s = 10, P_B = 2\%) = 4,6 \text{ Erlang/sector}$$

$$m_s = \frac{m_1 \text{ Erlang/sector}}{\frac{Q_u \cdot T_s}{3600} \text{ Erlang/usuario}} = 207 \text{ usuarios/sector}$$

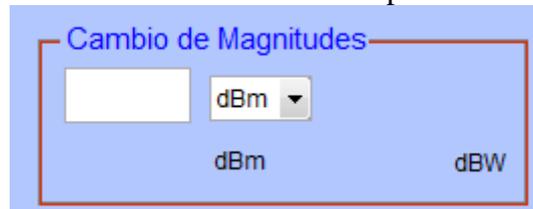
b) Distancia entre células co-canal: D=6Km

$$D = \sqrt{3 \cdot K} \cdot R \rightarrow R = 0,866 \text{ km}$$



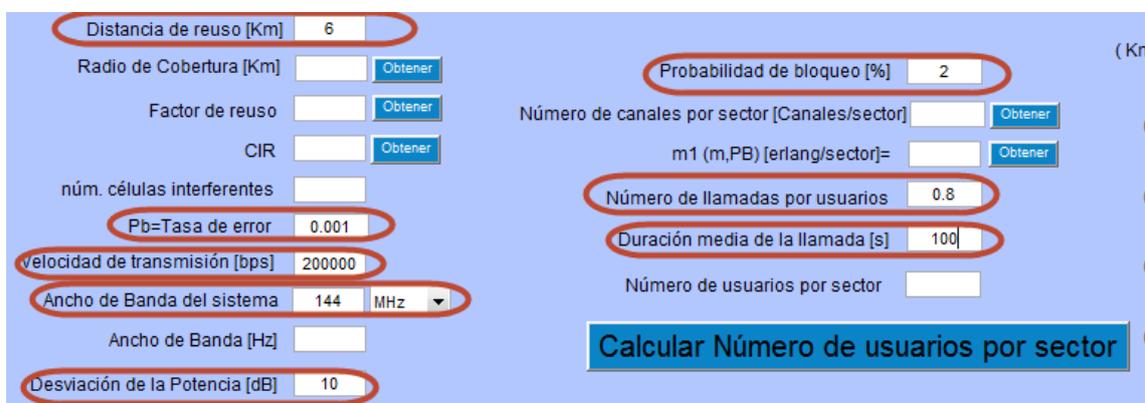
Simulador

Primero seleccionaremos las unidades tal i como las pide el simulador:

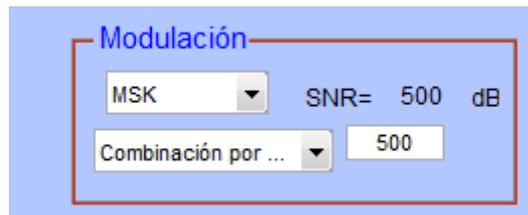


Para eso disponemos del Cambio de Magnitudes, que nos facilita el hecho de trabajar con dB, dBm, etc.

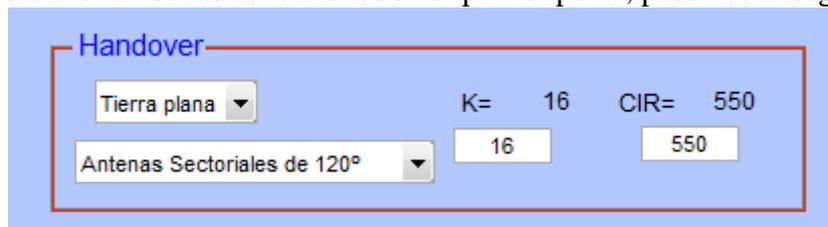
Posteriormente introducimos los valores proporcionados por el enunciado.



A continuación con los pop menús diseñados, seleccionaremos las condiciones que nos exige el problema:



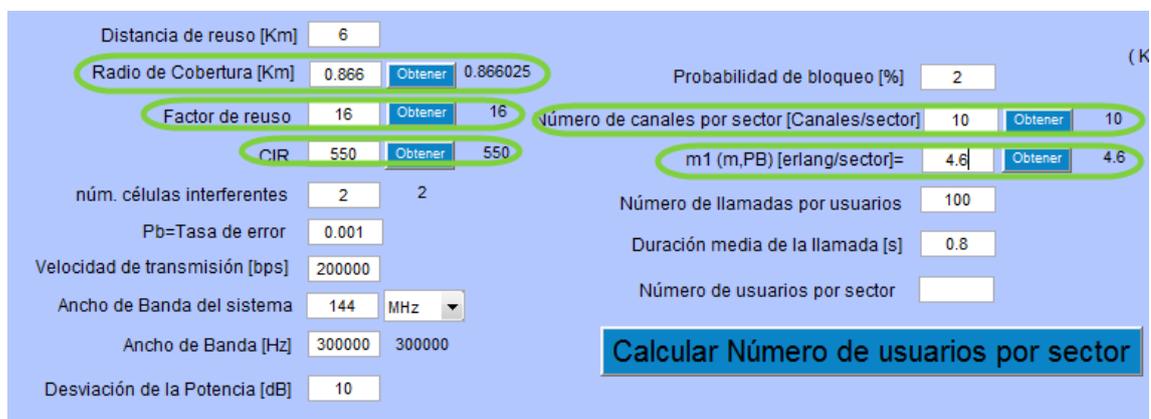
Una vez seleccionamos las condiciones en el primer panel, pasamos al segundo:



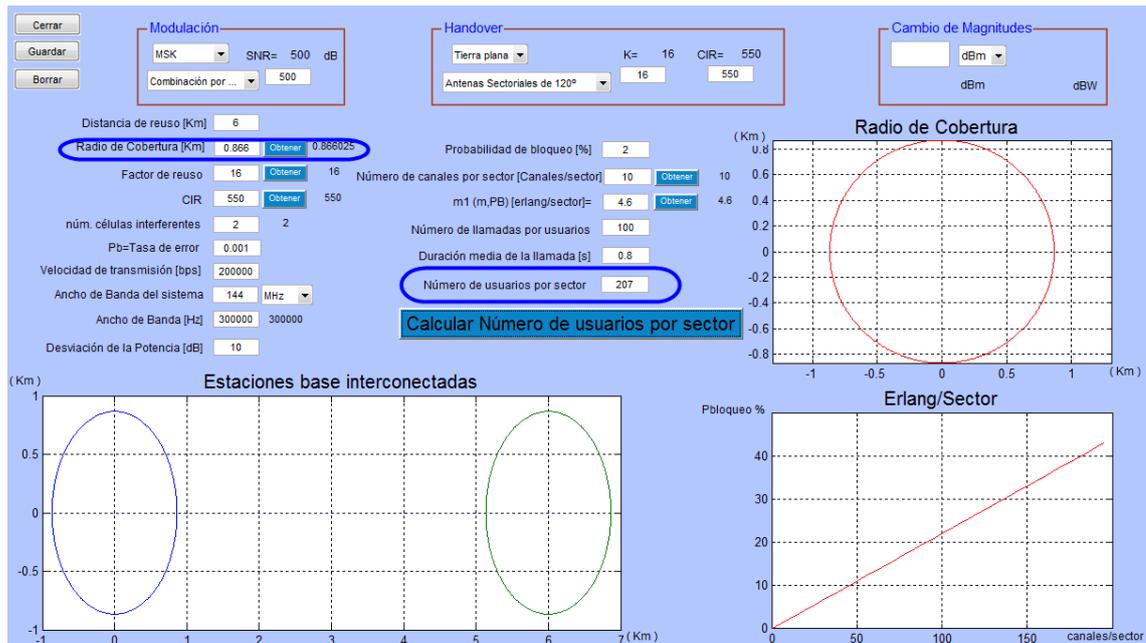
Donde vemos que nos da el valor de K, correcto ya que está programado para que cumpla las dos condiciones.

Además, el simulador no está diseñado solo para obtener únicamente el resultado final, que además hay programados diferentes push button, donde pone obtener, que de esta manera tendremos el valor deseado de la función que tenga al lado, así si nos pidiera por ejemplo número de canales por sector, y no la tenemos, podremos obtenerla.

Ahora nos dedicaremos a obtener todos los datos que nos faltan, únicamente apretando el botón obtener adecuado:



Una vez tenemos todos los campos rellenos con los datos que nos faltaban, le damos para finalizar al botón de calcular y así obtendremos el número de usuarios por sector, podemos observar que a la segunda pregunta del problema ya tenemos el valor, que es $R=0.866\text{km}$, es uno que nos faltaba pero gracias a que se pueden hacer más cálculos con el simulador, pues ya lo tenemos.



Tema 4

Sea un sistema de comunicaciones móviles GSM que opera en una zona urbana con una densidad de $72 \text{ usuarios}/\text{Km}^2$, repartidos de forma uniforme. El sistema precisa de 7dB de relación señal a interferencia y puede suponerse el sistema limitado por interferencias. El sistema utiliza antenas omnidireccionales. El Operador del sistema dispone de 8 radiocanales bidireccionales en total, no diferencia entre llamadas nuevas por acceso o por handover ($P_b = P_{ba} = P_{bh}$) y el sistema está diseñado para garantizar una probabilidad de bloqueo del 2% y una probabilidad caída (P_{drop}) del 0,3%. Se pide:

- ¿Cuál debe ser el área de cobertura de cada celda para garantizar el diseño anterior?
Se sugiere conocer previamente el número de canales y tráfico total suportado por celda.
- Calcula el numero de recursos.

Datos:

La tasa de generación de llamadas nuevas por usuario es 0,8llamadas/hora, y están caracterizadas por una distribución exponencial con una duración media de la llamada igual a 180 segundos.

Tráfico total=9,01 erlang/celda.

Número medio de salidas 0,0024.

Considérese 1TS se señalización por celda.

Desviación =10dB.

Teóricos

Calculo del factor de reuso:

$$K = \frac{1}{3} [1 + (n \cdot CIR)^{\frac{1}{\alpha}}]^2 = 3,72$$

$$K = u^2 + v^2 + u \cdot v$$

$$K = 4 \text{ es posible}$$

$$n^{\circ} \text{ de canales por celda} = \frac{n^{\circ} \text{ total}}{K} = 2 \text{ can/celda}$$

$$n^{\circ} \text{ de recursos} = \left(\frac{2 \text{ can}}{\text{celda}} \times \frac{8 \text{ TS}}{\text{celda}} \right) - 1 \text{ TS} = 15 \text{ TS}$$

Según el tráfico disponible, ver que cumple con la probabilidad de bloqueo diseñada.

$$P_b = 0.02 = \text{Erlang } B(\rho_{\text{total}}, 15) \rightarrow \rho_{\text{total}} = 9,01 \text{ Erlang/celda}$$

Relación entre tráfico disponible y el área del sector

$$P_{\text{drop}} = \frac{P_h \cdot P_{bh}}{1 - P_h(1 - P_{bh})} \rightarrow P_h = \frac{P_{\text{drop}}}{P_{\text{drop}}(1 - P_{bh}) + P_{bh}} = 0,131$$

$$\lambda_a = \frac{Q \cdot 72 \cdot \text{Area}}{3600}$$

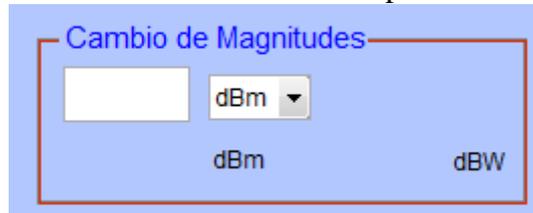
$$9,01 = (\lambda_a + \lambda_h) \cdot T_m \cdot (1 - P_h) \cdot \text{Area}$$

$$\text{Area} = 3,13 \text{ Km}^2$$

$$R = 998 \text{ m} \approx 1 \text{ Km}$$

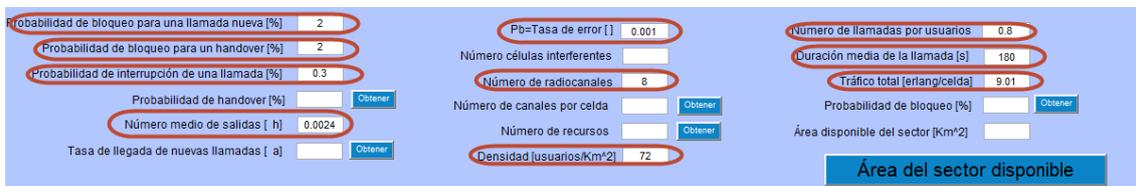
Simulador

Primero seleccionaremos las unidades tal i como las pide el simulador:

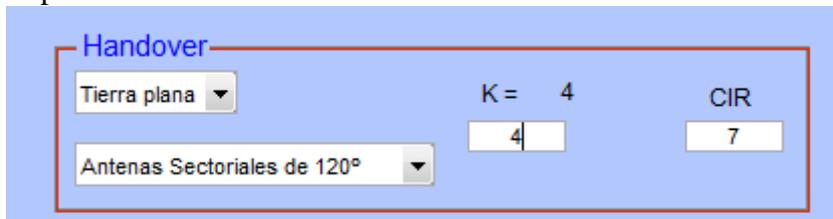


Para eso disponemos del Cambio de Magnitudes, que nos facilita el hecho de trabajar con dB, dBm, etc.

Posteriormente introducimos los valores proporcionados por el enunciado.

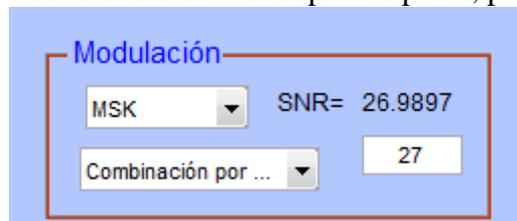


A continuación con los pop menús diseñados, seleccionaremos las condiciones que nos exige el problema:



Donde vemos que nos da el valor de K, correcto ya que está programado para que cumpla las dos condiciones.

Una vez seleccionamos las condiciones en el primer panel, pasamos al segundo:

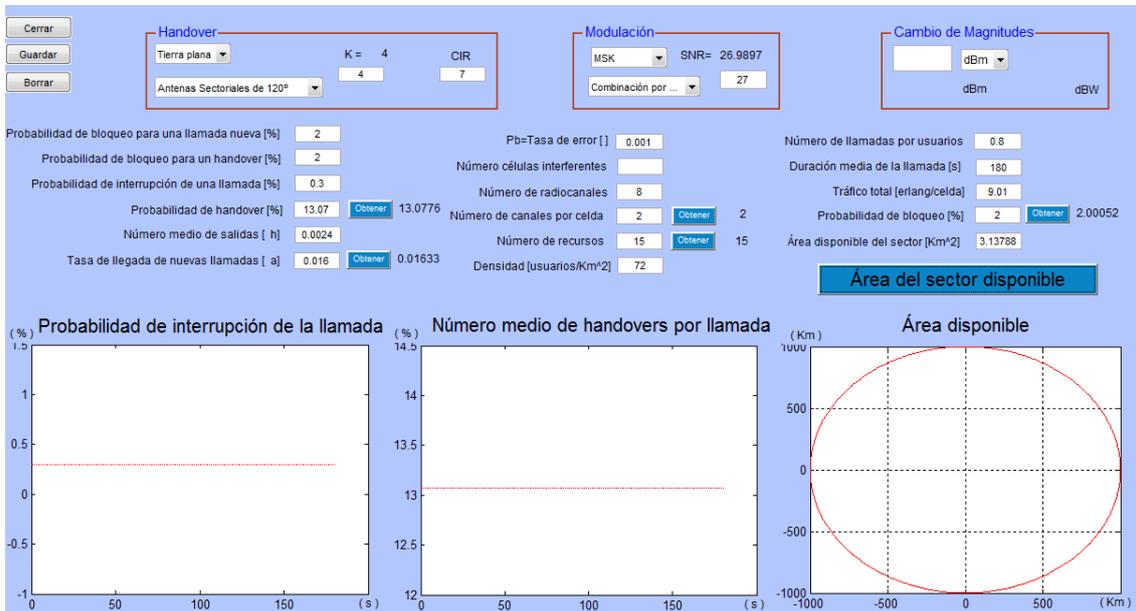


Además, el simulador no está diseñado solo para obtener únicamente el resultado final, que además hay programados diferentes push button, donde pone obtener, que de esta manera tendremos el valor deseado de la función que tenga al lado, así si nos pidiera por ejemplo la probabilidad de bloqueo, y no la tenemos, podremos obtenerla.

Ahora nos dedicaremos a obtener todos los datos que nos faltan, únicamente apretando el botón obtener adecuado:

Una vez tenemos todos los campos rellenos con los datos que nos faltaban, le damos para finalizar al botón de calcular y así obtendremos el área disponible por sector por sector, podemos observar que a la segunda pregunta del problema ya tenemos el valor, que es n° recursos=15TS, es uno que nos faltaba pero gracias a que se pueden hacer más cálculos con el simulador, pues ya lo tenemos.

También podemos observar que con las graficas, nos muestra el Radio, no únicamente sabemos el valor del área, sino del radio también.



Tema 5

Sea un sistema CDMA operando con un factor de carga de $n = 0,748$, o lo que es equivalente con un incremento de ruido $\Delta_N = \frac{I_{total}}{P_N} = 6dB$

El incremento máximo de ruido permitido por el sistema es 8,45dB. Se pide:

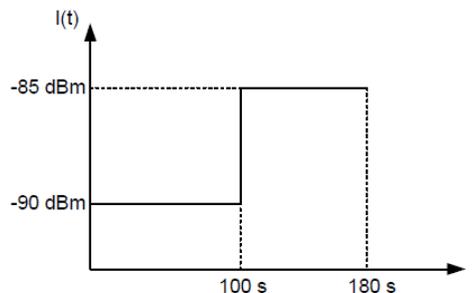
a) ¿Es posible aceptar un usuario entrante que requiere: $E_b/N_o = 5dB, R =$

$200Kb/s$ con $W=5MHz$ de banda para los casos siguientes de factor de actividad: 0,1 y 1?

Considerando el mismo sistema CDMA. El usuario de referencia tiene una velocidad de transmisión de 384Kbits/s y con el mismo objetivo de $E_b/N_o = 5dB$, sabiendo que se

encuentra a 200m de la estación base y a partir del instante $t=0$ se aleja a una velocidad constante de $v=10km/h$. La sesión tiene una duración de 3 minutos con transmisión continua.

Sabiendo que el patrón de interferencias es el siguiente:



b) Y comprueba si hay suficiente potencia para estos valores.

Datos:

Modelo de propagación Okumura-Hata

Suponer que no hay desvanecimientos de ningún tipo

Potencia de ruido térmico = -100dBm

Potencia máxima del móvil = 24dBm

Chip rate = 3,84Mchip/s

Teórico

a)

$$\Delta I = \frac{I_{total_ant}}{1 - n - \Delta L} \cdot \Delta L = \frac{10^{0,6} \cdot P_N}{1 - n - \Delta L} \cdot \Delta L$$

$$\Delta N = 10^{0,6} \rightarrow 1 - n = 10^{-0,6} = 0,25118$$

$$\Delta L = v \cdot \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right) \cdot R}} = v \cdot 0,1122$$

$$\Delta N + \frac{10^{0,6}}{10^{0,6} - v \cdot 0,1122} \cdot v \cdot 0,1122 \geq 10^{0,845} = 7$$

$$\Delta N = 6dB = 10^{0,6} = 3,98$$

Cas v=0,1

$$3,98 + \frac{10^{0,6}}{10^{0,6} - 0,1 \cdot 0,1122} \cdot 0,1 \cdot 0,1122 = 4,16 < 7$$

USUARIO ACEPTADO

Cas v=1

$$3,98 + \frac{10^{0,6}}{10^{0,6} - 1 \cdot 0,1122} \cdot 1 \cdot 0,1122 = 7,195 > 7$$

USUARIO RECHAZADO

b)

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{3,84 \cdot 10^6}{384 \cdot 10^3} \cdot \frac{P_T(t = 100)}{10^{-12} + 10^{-13}} = 10^{0,5}$$

$$P_T(t = 100) = 15,79dBm$$

No hay problema, se consigue en este tramo el objetivo

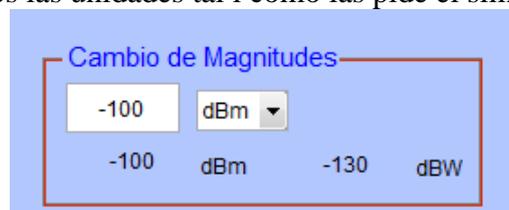
$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{3,84 \cdot 10^6}{384 \cdot 10^3} \cdot \frac{P_T(t = 180)}{10^{-11,5} + 10^{-13}} = 10^{0,5}$$

$$P_T(t = 180) = 25,48dBm$$

En este tramo hay problemas. El móvil esta en outage.

Simulador

Primero seleccionaremos las unidades tal i como las pide el simulador:



Para eso disponemos del Cambio de Magnitudes, que nos facilita el hecho de trabajar con dB, dBm, etc.

a)

Posteriormente introducimos los valores proporcionados por el enunciado.

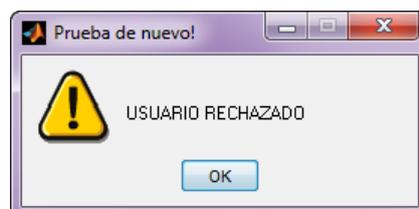
The screenshot shows a configuration window for a simulation. The following parameters are highlighted with red circles: 'Factor de carga' (0.748), 'Incremento máximo del ruido permitido [dB]' (8,45), 'Incremento del ruido [dB]' (6), 'W [Hz] o Chip Rate [Mchip/s]' (5 MHz), and 'Velocidad de transmisión [bps]' (200000). The 'Factor de actividad' is highlighted with a purple circle and set to 0.1. Other visible parameters include 'Potencia Ruido [dB]', 'Ruido total antenna', 'Tiempo', 'Frecuencia' (GHz), and 'Potencia Máxima del móvil[dBm]'. There are buttons for 'Obtener', 'Gráficas', and 'Comprobar acceso al usuario'.

Primero comprobaremos cuando el factor de actividad vale 0,1.



A continuación lo comprobaremos cuando el factor de actividad vale 1, si el usuario es aceptado o rechazado.

The screenshot shows the same configuration window as before, but with 'Factor de actividad' set to 1. The same parameters are highlighted with red circles: 'Factor de carga' (0.748), 'Incremento máximo del ruido permitido [dB]' (8,45), 'Incremento del ruido [dB]' (6), 'W [Hz] o Chip Rate [Mchip/s]' (5 MHz), and 'Velocidad de transmisión [bps]' (200000). The 'Factor de actividad' is highlighted with a purple circle. Other visible parameters and buttons are the same as in the previous screenshot.

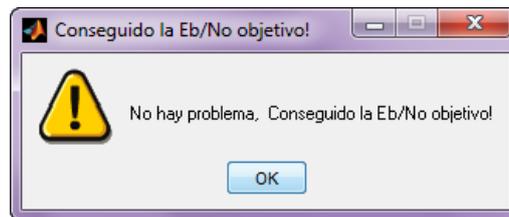


b)

En el segundo apartado se han de añadir más valores, y según la gráfica proporcionada observamos que cuando esta a 100s, el incremento de ruido es de -90dBm, así que primero lo haremos con estos valores:

Parameters highlighted in red circles:

- Potencia Ruido [dB]: -130
- Incremento máximo del ruido permitido [dB]: -120
- Velocidad de transmisión [bps]: 384000
- Tiempo: 100
- Potencia Máxima del móvil [dBm]: -24
- W [Hz] o Chip Rate [Mchip/s]: 3.84 MHz
- Distancia según las pérdidas [m]: 200
- Velocidad móvil [km/h]: 10



Ahora lo comprobamos con los otros valores de la gráfica, $t=180s$ y $I=-115dB$

Parameters highlighted in red circles:

- Potencia Ruido [dB]: -130
- Incremento máximo del ruido permitido [dB]: -115
- Velocidad de transmisión [bps]: 384000
- Tiempo: 180
- Potencia Máxima del móvil [dBm]: -24
- W [Hz] o Chip Rate [Mchip/s]: 5 MHz
- Distancia según las pérdidas [m]: 200
- Velocidad móvil [km/h]: 10



6. Conclusiones y posibles mejoras

Con la elaboración de este proyecto se ha podido entender y hacer servir de una manera más profunda el amplio potencial de Matlab y más concretamente su entorno de programación (GUIDE).

En aspectos docentes, se ha diseñado para que sea fácil de manejar y un estudiante no deba de aprender el funcionamiento Matlab, únicamente pueda introducir los datos de un problema propuesto, sea ejercicio de clase o un manual de prácticas, y de esta manera obtener los resultados, sin necesidad de tener los apuntes a manos y hacer cálculos, además podrá visualizar en graficas las comparativas de las potencias, lo que mide una zona de cobertura en forma circular (dado que siempre se tiene en cuenta así, aun que sepamos que es hexagonal) y incluso las distancias que deberán tener las estaciones base.

Una mejora, sería tener en cuenta otros modelos de perdidas, pero el más utilizado y el que se explica en la asignatura es el que ofrece mi simulador.

Otra mejora sería en futuras versiones de Matlab, poder enlazar las imágenes mediante URL y así poder tener una imagen real de la zona que se desea calcular si añadiéramos una estación base por la zona.

7. Bibliografia

- [1] MathWorks. Accelerating the pace of engineering [Consulta 17/01/2012].

Disponible en: <http://www.mathworks.es/>

- [2] Cobertura Móvil [Consulta 24/04/2012]

Disponible en: <http://cobeturamovil.es/>

- [3] Ministerio de ciencia i tecnologia. Información sobre base de telefonía móvil [Consulta 24/04/2012]

Disponible en:

<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/Informes/Folletos%20divulgativos/2folletobas0110.pdf>

- [4] Tecnología CDMA, GSM, TDMA, UMTS [Consulta 29/05/2012]

Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos75/tecnologias-gsm-cdma-tdma-gprs/tecnologias-gsm-cdma-tdma-gprs2.shtml>

- [5] Tablas de Erlang [Consulta 19/02/2012]

Disponible en: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/824-erlang-b-and-c-probabilities/content/erlang/erlangb.m>

- [6] Manual de GUI [Consulta 17/01/2012]

Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/15532859/MANUAL-DE-GUI-EN-MATLAB>

- [7] Manual AXIS [Consulta 19/02/2012]

Disponible en: http://www.youtube.com/watch?v=D_hmws6dwgg

[8] Manual Popupmenu [Consulta 19/02/2012]

Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=LVtwvBiXhE4&feature=related>

Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=sM7fCH08W5s>

[9] PFC: Estudio teórico-práctico de las emisiones radioeléctricas en redes comerciales de telefonía móvil. [Consulta 29/05/2012]

Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4749/1/memoria.pdf>

[10] AETIC. Infraestructuras de la Telefonía móvil. [Consulta 29/05/2012]

Disponible en: <http://moviles.gva.es/Docs/AETIC.pdf>

[11] Apuntes de la asignatura *Comunicaciones Móviles*.UPC. Junio 2010.

[12] Brian R.Hunt;Ronald I.Lipsman; Jonathan M.Rosenbers. *A Guide to Matlab for Beginners and Experienced Users*. Cambridge, 2005.

[13] Pérez César. *Matlab y sus Aplicaciones en las ciencias y la Ingeniería*. Pearson. Prentice Hall, 2002.