

PLANIFICACION DE REDES CELULARES

Jhon Jairo Padilla Aguilar
PhD. Ing. Telemática

1. *Dimensionamiento de la Interfaz Radio*

Dimensionamiento:

Es la determinación del número de recursos radio que deben asignarse a una red móvil para que puedan efectuarse comunicaciones con unas características de calidad deseadas.

Recurso radio=canal:

En redes móviles con conmutación de circuitos, se entiende que un recurso es equivalente a un canal asignado a la comunicación. La interpretación física dependerá de la técnica de multiacceso que utilice la red:

Técnica	Recurso radio
FDMA	Radio canal (1 ó 2 frecuencias)
TDMA	2 intervalos de tiempo
CDMA	1 código

1. Dimensionamiento de la Interfaz radio

Para efectos de diseño, si se requieren N recursos, se requerirán entonces:

Técnica	Recursos Físicos	Número de frecuencias
FDMA	N frecuencias	N
TDMA	I ranuras de tiempo	N/I
CDMA	C códigos	N/C

1. Dimensionamiento de la Interfaz radio

Objetivo del dimensionamiento:

Consecución de un equilibrio entre la calidad y el número de radiocanales puestos a disposición de la red.

Grado de Servicio (GoS):

La calidad se mide por un parámetro denominado "Grado de servicio" (GoS-Grade of Service). El GoS mide la dificultad de utilizar un canal cuando es necesario realizar una comunicación.

Tipos de dimensionamiento

La forma de realizar el dimensionamiento cambia de acuerdo a la metodología de asignación de canales a los sistemas móviles.

Hay dos tipos de asignación de canales:

- **Asignación rígida o proporcional:**

A un colectivo de M móviles se le asigna un radiocanal en su zona de cobertura.

- **Asignación Troncal:**

Se organiza un depósito de N radiocanales a los que pueden acceder M móviles. Toda estación móvil puede tomar cualquier radiocanal.

Tipo de asignación	Complejidad	Eficiencia	Utilidad
Rígida	Simple	Baja	PMR con pocos terminales
Troncal	Compleja	Alta	PMR con muchos usuarios PMTs

2. *Revisión de conceptos de tráfico telefónico*

Se usará el modelo clásico con los siguientes elementos:

- *Generador o fuente de llamadas de tamaño infinito:*

En la práctica se tienen M fuentes de llamadas. Los resultados teóricos son aplicables al modelo real cuando M es del orden de 15 a 20 veces el número medio de usuarios dentro del sistema.

- *Conjunto de N servidores (radiocanales) que cursan las llamadas:*

Condición: $N \ll M$.

- *Regimen de llegada de las llamadas a los servidores:*

Se supone de tipo Poissoniano con tasa de llegada constante λ . Donde λ es el número de intentos de llamada por unidad de tiempo (El tiempo entre llegadas de llamadas sucesivas sigue una ley exponencial negativa con media λ).

2. *Revisión de conceptos de tráfico telefónico*

- *Tiempo de Servicio:*

Es el tiempo de ocupación de un servidor (radiocanal) por llamada. Sigue una ley exponencial negativa de tasa μ . La duración media de una llamada es,

$$H=1/\mu$$

- *Hora Punta (Hora Pico o Busy Hour):*

La hora punta (BH) es la suma de los períodos de mayor producción de llamadas que totalizan 3600 segundos. Se considera usualmente una BH en la mañana y una BH en la tarde.

Si cada móvil efectúa en promedio L llamadas en la BH, la tasa de oferta de llamadas es,

$$\lambda=ML/3600$$

- *Intensidad de tráfico (A):*

Se denomina así al tráfico ofrecido a los N servidores y se calcula como,

$$A= \lambda/\mu=MLH/3600 \text{ (Erlangs)}$$

2. *Revisión de conceptos de tráfico telefónico*

- *Congestión o Bloqueo:*

Si estando ocupados los N servidores, se genera una nueva tentativa de llamada, esta no podrá ser atendida. Se dice entonces que hay congestión o bloqueo en la red.

- *Tipos de redes:*

Según la forma en que reacciona la red ante una situación de congestión, estas se clasifican en:

- *Sistemas de pérdidas:*

Una llamada que encuentra una situación de congestión abandona el sistema. A esta se le denomina una llamada perdida.

- *Sistemas de Espera:*

La llamada se pone en una cola de espera y se atenderá cuando se libere algún radiocanal.

La cola de espera puede ser finita o infinita. En la práctica las colas son finitas pero se utiliza el modelo de cola infinita pues es más sencillo y se obtiene una aproximación buena.

Grado de Servicio

El grado de servicio para los sistemas troncales es igual a la probabilidad porcentual:

- Probabilidad de pérdida o bloqueo (sistemas de pérdidas)
- Probabilidad de espera superior a un tiempo determinado (sistemas de espera)

Grado de Servicio en sistemas de pérdidas

En estos sistemas el grado de servicio es:

$$\text{GoS} = 100p$$

Donde p es la probabilidad de pérdida o bloqueo y está dada por la fórmula de Erlang B,

$$p = B(N, A)$$

$$p = \frac{\left(\frac{A^N}{N!}\right)}{\left(\sum_{k=0}^N \left(\frac{A^k}{k!}\right)\right)}$$

Donde N: Número de radiocanales
A: Tráfico ofrecido

Grado de Servicio en sistemas de pérdidas

El tráfico cursado será:

$$TC = A[1 - B(N, A)]$$

El tráfico perdido será:

$$TP = A B(N, A)$$

Y el rendimiento de utilización será:

$$\rho = A/N$$

Grado de Servicio en Sistemas de Espera

La probabilidad de que una llamada tenga que esperar está dada por la distribución de Erlang C,

$$p = C(N, A)$$

$$p = \frac{1}{\left(1 + \left(1 - \frac{A}{N}\right) \left(\frac{N!}{A^N}\right) \sum_{k=0}^{(N-1)} \left(\frac{A^k}{k!}\right)\right)}$$

Mientras que, la probabilidad de un tiempo de espera W superior a un tiempo W_0 para las llamadas que esperan es,

$$p(W > W_0) = e^{-\left(N - A\right) \frac{W_0}{H}}$$

Grado de servicio en sistemas de espera

Se define el GoS de los sistemas de espera como la probabilidad de que la espera sea superior a un valor W_0 , es decir,

$$GoS = 100 C(N, A) e^{-(N-A)\frac{W_0}{H}}$$

Otros parámetros de interés en los sistemas de espera son:

Tiempo medio de espera (para llamadas que esperan),

$$\bar{W} = \frac{H}{(N-A)}$$

Tiempo medio de espera (para cualquier llamada),

$$\bar{W} = C(N, A) \frac{H}{(N-A)}$$

Longitud media de la cola de espera,

$$\bar{L} = \bar{W} \lambda$$

3. Dimensionamiento de redes con asignación rígida

La asignación rígida se usa en pequeñas redes PMR que utilizan un solo radiocanal en su zona de cobertura.

No hay cola de espera de llamadas sino que el usuario escucha de forma que establece la llamada cuando el canal está libre.

El dimensionamiento consiste en determinar el número de móviles por canal para un GoS determinado.

3. Dimensionamiento de redes con asignación rígida

Bajo estas condiciones, este es un sistema de espera, sólo que la espera la realiza el mismo usuario. Por tanto, el GoS será,

$$GoS = 100 A e^{-(N-A)\frac{W_0}{H}}$$

Donde el valor de $C(N,A)$ es igual a A para $N=1$. Conocidos los valores de GoS, W_0 y H (y $N=1$), se puede obtener A de la expresión anterior mediante prueba y error.

Una vez calculado A , se puede obtener el número de Móviles (M) como,

$$M = \text{INT} (A/a)$$

Donde INT es la parte entera de (A/a) . Además, a es el tráfico por cada móvil y se calcula como,

$$a = LH/3600$$

3.1. Asignación proporcional

- Si la red tiene más de M móviles, se tendrían que habilitar más radiocanales y dividir la población de usuarios en grupos de no más de M móviles, de forma que cada grupo pueda acceder un radiocanal diferente.
- Cuando un usuario encuentra ocupado su radiocanal, podría pasarse al radiocanal de otro grupo de forma manual.
- Este tipo de asignación se conoce como Asignación proporcional y es una variante de la asignación rígida cuando el número de móviles es elevado.

3.1. Asignación proporcional

Ventajas

- Sencillez de equipos
- Rapidez en el establecimiento de la llamada
- Canal abierto (todos con todos)
- Señalización simple
- Costo reducido

Desventajas

- Bajo rendimiento de los radiocanales
- Limitaciones de la señalización
- No hay privacidad en las llamadas
- Muy costosa para un número de terminales elevado

4. Dimensionamiento en redes con asignación troncal

- Se utiliza el principio de concentración, en el cual un volumen limitado de recursos N , se pone a disposición de un número elevado M de potenciales usuarios.
- En general $N \ll M$
- Todos los potenciales usuarios pueden acceder de forma automática a cualquiera de los recursos.
- Este tipo de multiacceso se conoce como *Concentración de enlaces* ó *Multiacceso Troncal (Trunking)*

4. Dimensionamiento en redes con asignación troncal

- Se asigna un canal sólo cuando hay demanda.
- Cada usuario utiliza el canal únicamente durante el tiempo de conversación.
- Cuando concluye la conversación se libera el canal para que puede ser asignado a otro usuario.
- *Utilidad:* Sistemas PMR (Trunking) y PMT.
- Diferencia en PMR y PMT se da en el tratamiento de las tentativas de llamadas.

4. Dimensionamiento en redes con asignación troncal

Tratamiento de la tentativa de llamadas en PMR y PMT

PMR- Trunking:

Las llamadas se ponen en cola de espera y se atienden en orden de llegada (o según prioridades). Por tanto son sistemas de espera y se dimensionan con la fórmula de Erlang C.

PMT (Celulares):

Las tentativas de llamada que encuentran todos los canales ocupados se pierden. Por tanto, son sistemas de pérdidas y se dimensionan con la fórmula de Erlang B.

Asignación Troncal

Ventajas:

- Soporta un elevado número de móviles
- Gran rendimiento de los canales
- Señalización digital (con sus valores añadidos)
- Posibilidad de transmisión de datos
- Amplia gama de servicios
- Formación sencilla de grupos cerrados
- Privacidad en las llamadas

Desventajas:

- Canal no abierto (Comunicación uno a uno)
- Lentitud en el establecimiento de la llamada
- Dependencia del controlador del sistema (es automática la operación)
- Mayor costo

Asignación proporcional vs. Asignación troncal

Asignacion Proporcional

Num. Canales	Trafico total Red	Tráfico por canal	Número de Móviles
1.000	0.121	0.121	21.000
2.000	0.242	0.121	42.000
5.000	0.605	0.121	105.000
10.000	1.210	0.121	210.000

Asignación Troncal

Num. Canales	Trafico total Red	Tráfico por canal	Número de Móviles
1.000	0.121	0.121	21.000
2.000	0.700	0.350	125.000
5.000	3.230	0.646	581.000
10.000	7.940	0.794	1429.000

4.1. Dimensionamiento de Sistemas PMR- Trunking

Existen dos tipos de problemas a resolver:

- *El problema directo:*

Consiste en calcular el número de radiocanales necesarios (N) para dar servicio a M móviles con un GoS determinado.

- *El problema Inverso:*

Consiste en calcular el número de móviles M a los que se les puede atender con N radiocanales y un GoS determinado

Nota: El dimensionamiento se hace para los canales de tráfico, a los que deberá añadirse el radiocanal de control.

4.1. Dimensionamiento de Sistemas PMR - Trunking

El problema Directo

- *Datos:*

GoS, W_0 (t espera), H (duración media de las llamadas en la BH), M (Número de terminales), L (Número de llamadas/terminal en la BH)

- *Solución:*

1. Se calcula el tráfico ofrecido: $A = MLH/3600$
2. Se obtiene N a prueba y error de la expresión:

$$GoS = 100 C(N, A) e^{-(N-A)\frac{W_0}{H}}$$

4.1. Dimensionamiento de Sistemas PMR - Trunking

El problema Inverso

En muchas empresas las necesidades operativas crecen y se habilitan entonces nuevos terminales.

Ahora podríamos preguntarnos: Cuántos terminales adicionales podría admitir nuestra red con los N radiocanales?

GoS de saturación:

Si toleramos un incremento del GoS hasta un valor de *GoS de saturación*, podremos determinar hasta cuántos terminales podrá crecer la red.

4.1. Dimensionamiento de Sistemas PMR - Trunking

El problema Inverso

•*Datos:*

N (Número de canales), GoS, L (número de llamadas/terminal en la BH), H (duración media de las llamadas en la BH)

•*Solución:*

1. A partir de la expresión del GoS se obtiene a prueba y error el valor de A.

$$GoS = 100 C(N, A) e^{-(N-A)\frac{W_0}{H}}$$

2. Se obtiene $a = LH/3600$

3. Se obtiene $M = \text{Int}(A/a)$

4.2. Dimensionamiento de sistemas PMT- celulares

Como los sistemas PMT son sistemas troncales de pérdidas, se aplica la expresión de Erlang B para obtener el GoS,

$$\text{GoS} = 100p = 100 B(N,A)$$

En los sistemas PMT el GoS suele ser del 1% al 2% y el tráfico por terminal es de 17 a 25 mErlang

4.2. Dimensionamiento de sistemas PMT- celulares

El problema Directo:

Cálculo del número de radiocanales (N) para un GoS dado y un tráfico ofrecido conocido (se conoce M, L, H)

Solución:

1. Se calcula el tráfico ofrecido como $A = MLH/3600 = Ma$
2. Se obtiene N a prueba y error de la expresión

$$\text{GoS} = 100p = 100 B(N,A)$$

o de la tabla de Erlang B.

4.2. Dimensionamiento de sistemas PMT- celulares

El problema Inverso:

Cálculo del número de terminales para un GoS determinado y un número de canales conocido

Solución:

1. Se calcula A a prueba y error de la expresión,

$$\text{GoS} = 100p = 100 B(N,A)$$

o de la tabla de Erlang B.

2. Se calcula M como $M = \text{Int}(A/a)$

5. Cálculo del radio celular

5.1. Efecto de la cobertura en el dimensionamiento:

Hasta ahora se ha supuesto que un terminal que hace una tentativa de llamada tiene acceso a la red siempre y la probabilidad de bloqueo (p_b) se debe a la congestión de la misma.

Sin embargo, en redes celulares una tentativa de llamada puede frustrarse por dos razones:

- Por bloqueo (congestión de la red)
- Por que el terminal está ubicado en una zona de sombra radioeléctrica.

Por tanto, la probabilidad real de pérdida de llamada está dada por,

$$p = 1 - (1 - p_b)p_c$$

Donde p_c es la probabilidad de cobertura radioeléctrica

Entonces, el GoS se define para estos sistemas como $GoS = 100p$

5.2. Efecto de la densidad de tráfico

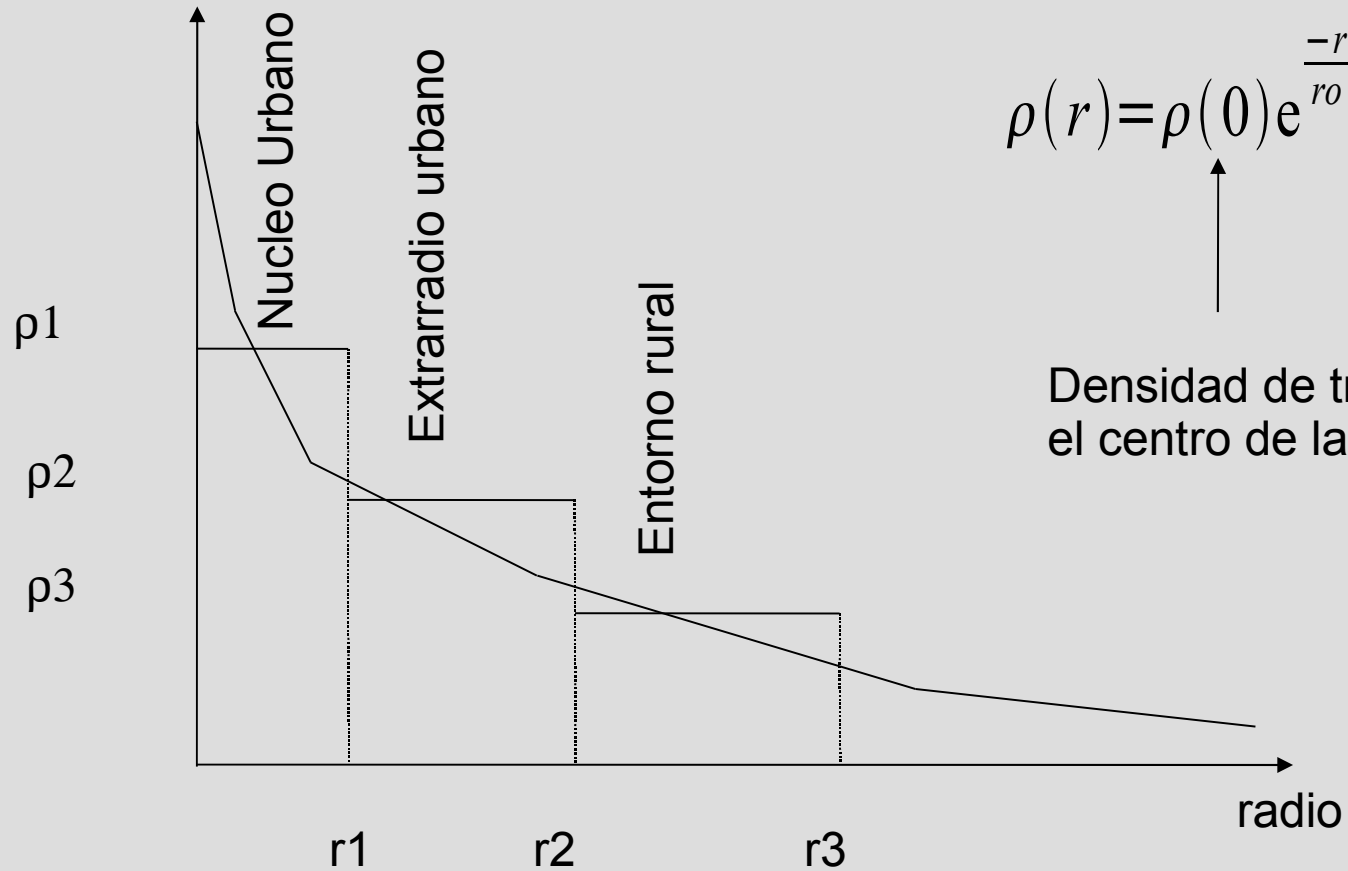
Para el dimensionamiento es necesario conocer las previsiones de tráfico y su densidad ρ en el área de cobertura

Los operadores telefónicos obtienen estimaciones de ρ y su proyección a cierto plazo. Esto se hace mediante estudios de mercadeo, encuestas, índices poblacionales y de actividad económica.

En entornos urbanos la densidad de tráfico no es constante, sino que toma su máximo valor en el centro de las ciudades y decrece hacia la periferia.

5.2. Efecto de la densidad de tráfico

Densidad de trafico $\rho(r)$



$$\rho(r) = \rho(0)e^{-\frac{r}{r_0}}$$

Densidad de tráfico en el centro de la ciudad

Cálculo del radio celular

- Se conocen N , p_b celda, ρ celda

- Procedimiento:

- Se obtiene A por iteración de la fórmula

$$p_b = B(N,A), \text{ o de la tabla de Erlang B.}$$

- Se calcula la superficie de la celda como

$$S_c = \frac{A}{\rho} = 3\sqrt{3} \frac{R^2}{(2K)}$$

donde K es el número de sectores por celda y ρ la densidad de tráfico para la celda.

- Se despeja R de la fórmula anterior

Cálculo del número de radio-canales dado el radio celular

- Inicialmente se conocen: R , ρ , p_b , K
- Procedimiento:

– Se calcula A como

$$A = (3\sqrt{3} R^2) \frac{\rho}{(2K)}$$

– Se obtiene N por iteración de la fórmula
 $p_b = B(N, A)$

7. Dimensionamiento de una red GSM

1. Estimar la intensidad de tráfico que deberá cursar la red radio en los canales TCH y SDCCH
2. Estimación de los parámetros de movilidad: tasa de trasposos y actualizaciones de posición
3. Dimensionamiento de las BS en función de la densidad de tráfico y el grado de servicio
4. Dimensionamiento de la red fija para el tráfico
5. Dimensionamiento de las entidades que soportan la movilidad (HLR, VLR), la seguridad (AUC, EIR) y la calidad (OMC)
6. Modelado del encaminamiento de las llamadas (revisar la señalización, en especial con las PSTN).

En esta sección se estudiarán las actividades 1 a 3, con algunas indicaciones para la actividad 4.

7.1. Dimensionamiento de los canales TCH y SDCCH

Objetivo:

A partir del tráfico medio requerido por usuario y según los hábitos y movilidad de los usuarios (*%llamadas en sentido up-link, duración media de las llamadas, número medio de actualizaciones de la posición*), obtener unos requerimientos de calidad fijados por el operador (*probabilidad de bloqueo para el canal TCH, probabilidad de bloqueo para el canal SDCCH, porcentaje de llamadas cursadas con éxito*).

7.1.1. Repartición carga de tráfico de abonado

- La intensidad media de tráfico por abonado (a), debe repartirse entre la carga del canal TCH (a_t) y la carga del canal SDCCH (a_s).
- Los valores de estas cargas se reparten según la modalidad de asignación del TCH:
 - ✓ **Asignación temprana** (Early Assignment). Se hace tan pronto como está constituido el circuito.
 - ✓ **Asignación tardía** (OACSU: Off Air Call Set Up). Se hace cuando el abonado llamado descuelga.

Intensidad de tráfico en el SDCCH : a_s

Esta se calcula como:

$$a_s = (N_{mn} + N_{fn} + N_{lu})\tau_s$$

Donde:

N_{mn} : Número de accesos/seg a la red móvil

N_{fn} : Número de accesos/seg a la red fija

N_{lu} : Número de actualizaciones de posición/seg

τ_s : Tiempo medio de ocupación del canal SDCCH

Cálculo de los N's

$$N_{mn} = \frac{(M \cdot m) \cdot SBHCA}{\eta \cdot 3600}$$

$$N_{fn} = M \cdot \frac{(100 - m) \cdot SBHCA}{\eta \cdot 3600}$$

$$N_{lu} = M \cdot \frac{LU}{3600}$$

Donde

M: Número de móviles en una celda

m: Porcentaje de llamadas en sentido up-link

SBHCA: (Successful Bussy Hour Call Attempts) Número de intentos de llamadas exitosos en la hora punta.

LU: (Location Updating) Número de actualizaciones de la posición por móvil en la BH (Busy Hour)

η : Porcentaje de llamadas cursadas con éxito

Cálculo de η y SBHCA

$$SBHCA = 3600 \frac{a}{\tau}$$

Donde τ es la duración media de las llamadas

$$\eta = p_c p_{nb} p_{usop}$$

Donde:

P_c : Probabilidad de cobertura de la celda

P_{nb} : Probabilidad de no bloqueo al establecer la llamada

P_{usop} : Probabilidad de que el usuario esté operativo

Intensidad de tráfico en los canales TCCH

- Se calcula con base en la intensidad de tráfico que soporta la BTS (A) y el número de móviles que se desea soportar (M):

$$a_t = A/M$$

- La intensidad de tráfico que soporta la BTS depende a su vez de el número de recursos que tiene por asignar y la probabilidad de bloqueo que se quiere mantener:

$$p_b = B(N,A)$$

Distribución de recursos en las BTS

- Hay dos casos:
 - La BTS tiene 1 radiocanal con 8 intervalos:
 - 1 IT para el SDCCH (señalización)
 - 7 IT para canales TCH (voz)
 - BTS de gran capacidad (4 radiocanales):
 - 1 IT para el canal CCCH
 - 2 IT para canales SDCCH
 - 29 IT para canales TCH

Ejemplo: Estudio de viabilidad de una BTS propuesta

- Se supone que todas las BS de la red son iguales y con los siguientes parámetros:
 - Prob. Bloqueo del TCH (P_T): 2%
 - Prob. Bloqueo del SDCCH, (P_D): 0.2%
 - % lidas cursadas con éxito (η): 80%
 - Intensidad tráfico por abonado (a): 0.025 E
 - Tráfico por canal TCH (a_t): 0.024 E
 - Tráfico por canal SDCCH (a_s): 0.001 E
 - Duración media de las llamadas (τ): 120 s
 - % llamadas desde MS (m): 70%
 - Número de actualizaciones de la posición por la MS (LU): 1.2
 - Tiempo de ocupación del SDCCH (τ_s): 3.5 s
 - Prob. Bloqueo en la BTS (p_b): 0.02
 - Prob. Cobertura de la BTS (p_c): 0.98