

Sistemas de Comunicaciones Móviles

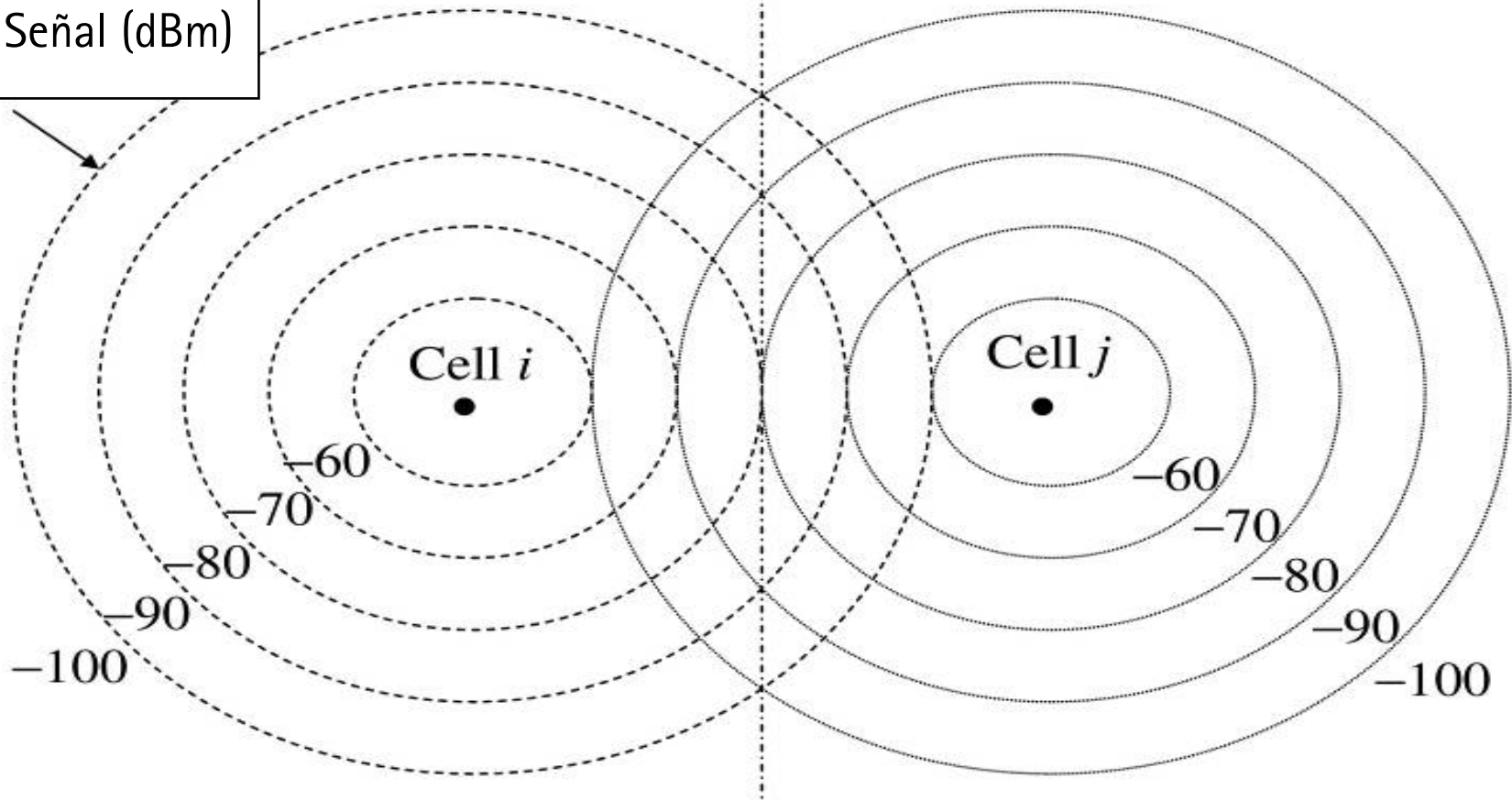
- *Planificación*

Objetivos Principales

- Calidad en la Comunicación
 - Analisis y tecnicas para minimizar Interferencias
- Cobertura
 - Calculo de la zona a radiar, de acuerdo a la región geografica donde se darán los servicios
- Capacidad de la Red
 - Dimensionamiento de las celdas para dar servicio a un determinado número de usuarios en forma simultanea

Nivel de Señal

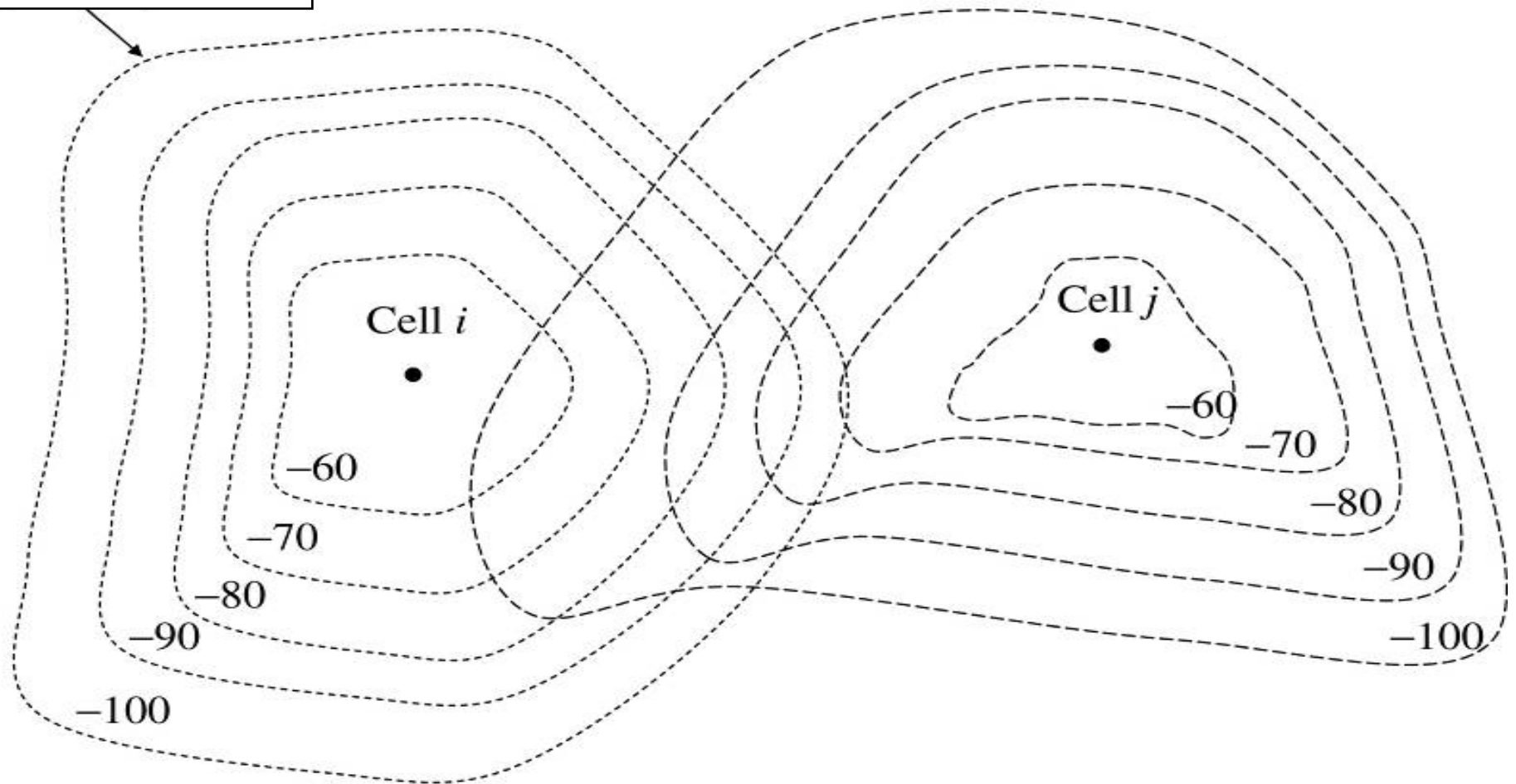
Nivel de Señal (dBm)



- La figura muestra los contornos y el nivel de señal en 2 celdas adyacentes i y j

Nivel de Señal

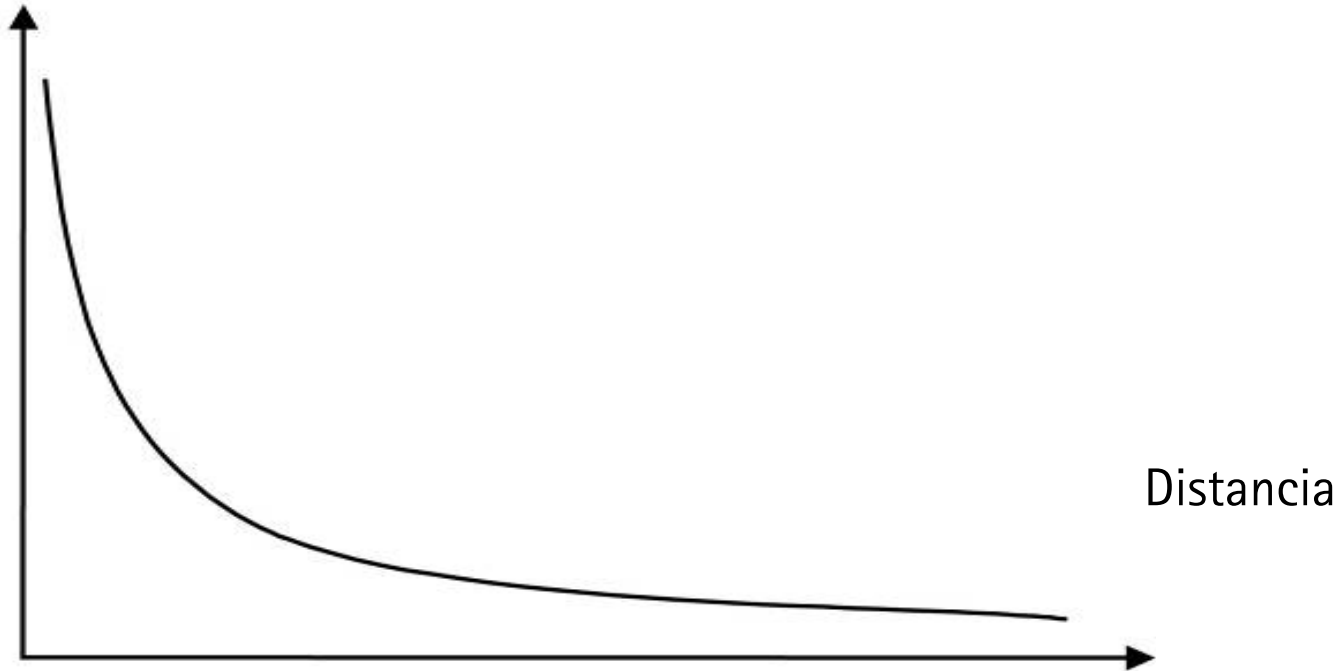
Nivel de Señal (dBm)



- La figura muestra el contorno que puede ser distorsionado por condiciones atmosféricas y geográficas.

Nivel de Señal

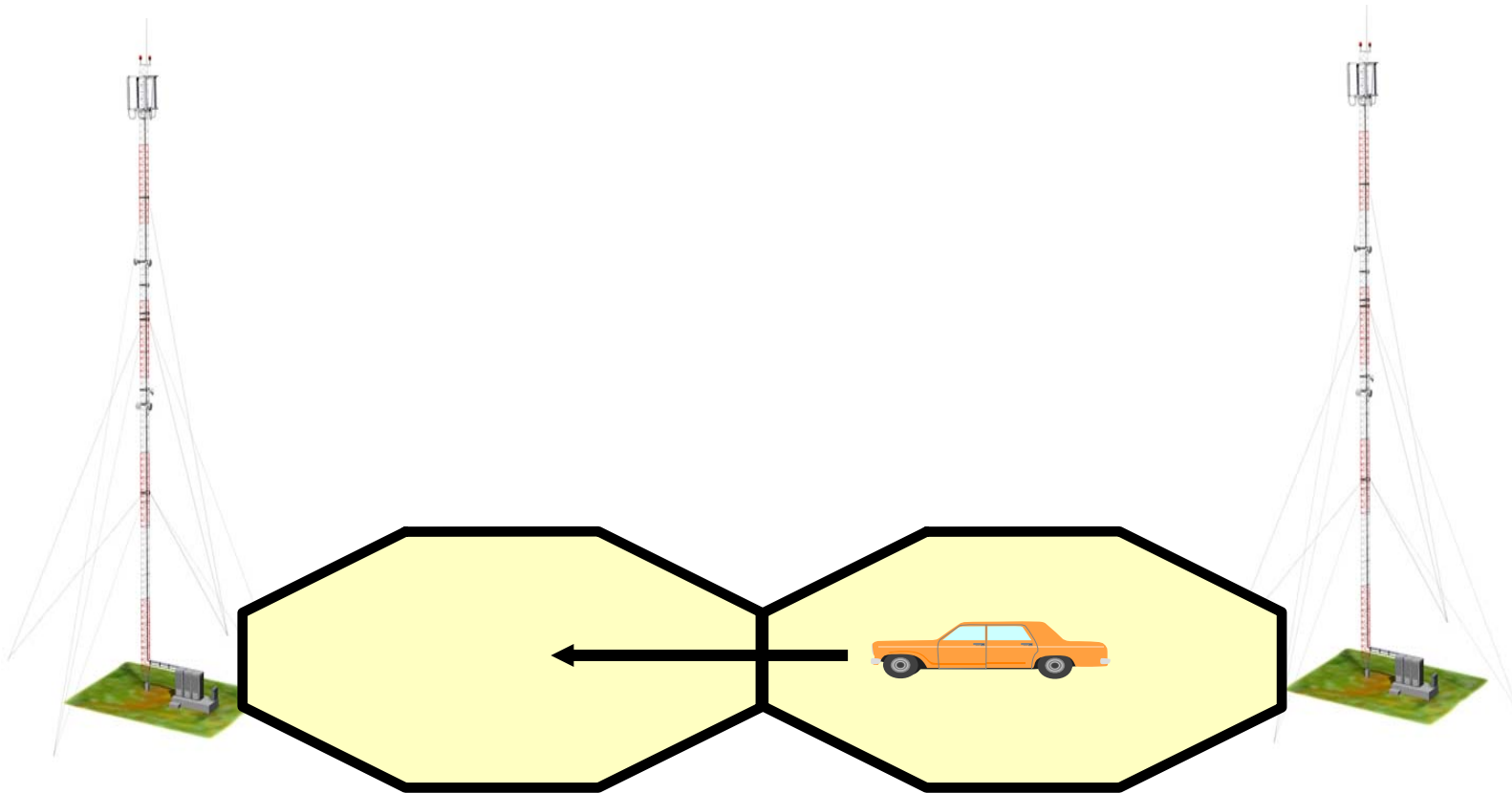
Potencia



La figura muestra la variación de la potencia recibida en función de la distancia.

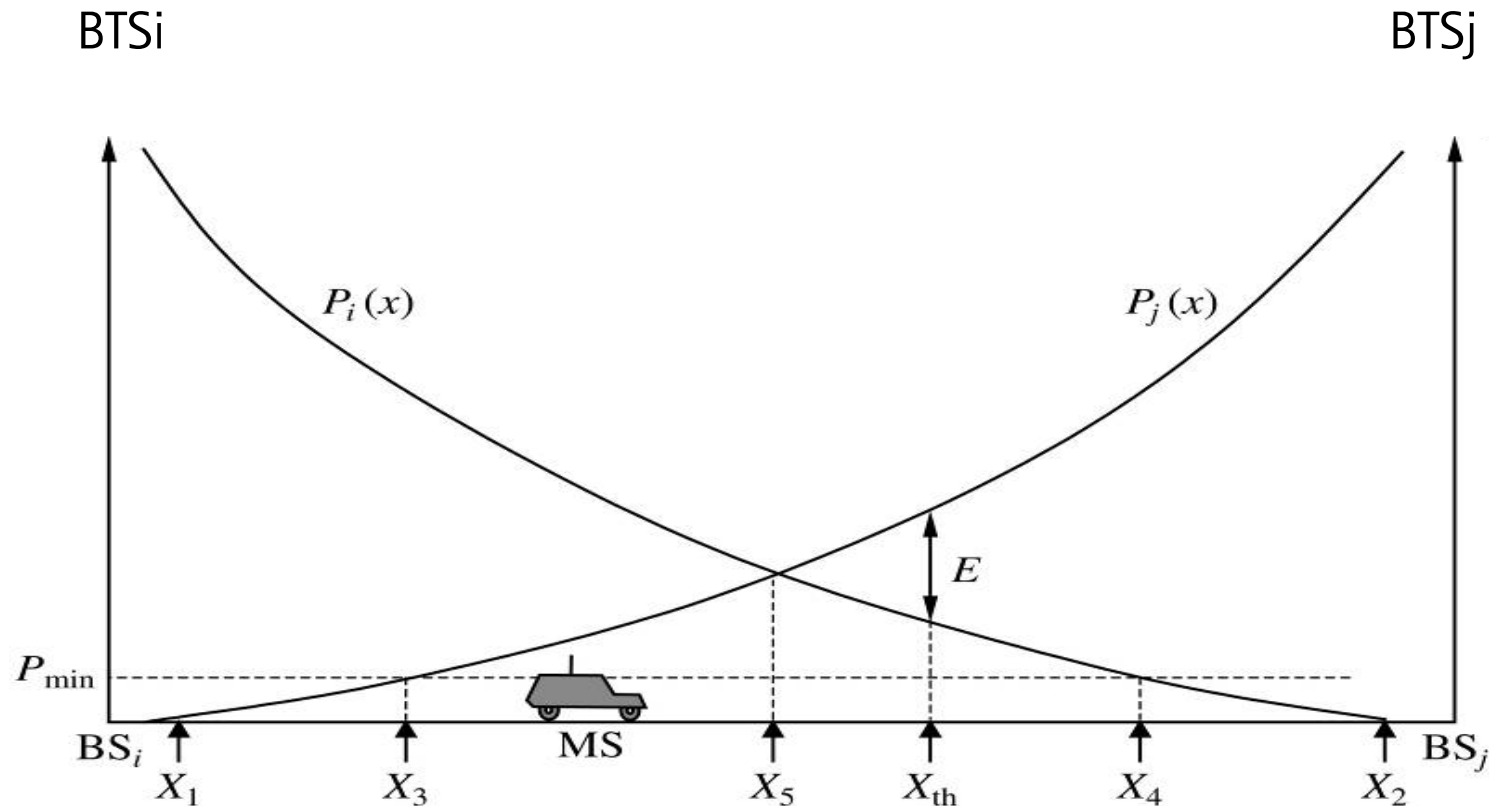
Administracion de Handoff

- Deben decidirse adecuadamente, cuando los moviles deben pasar de una celda a otra



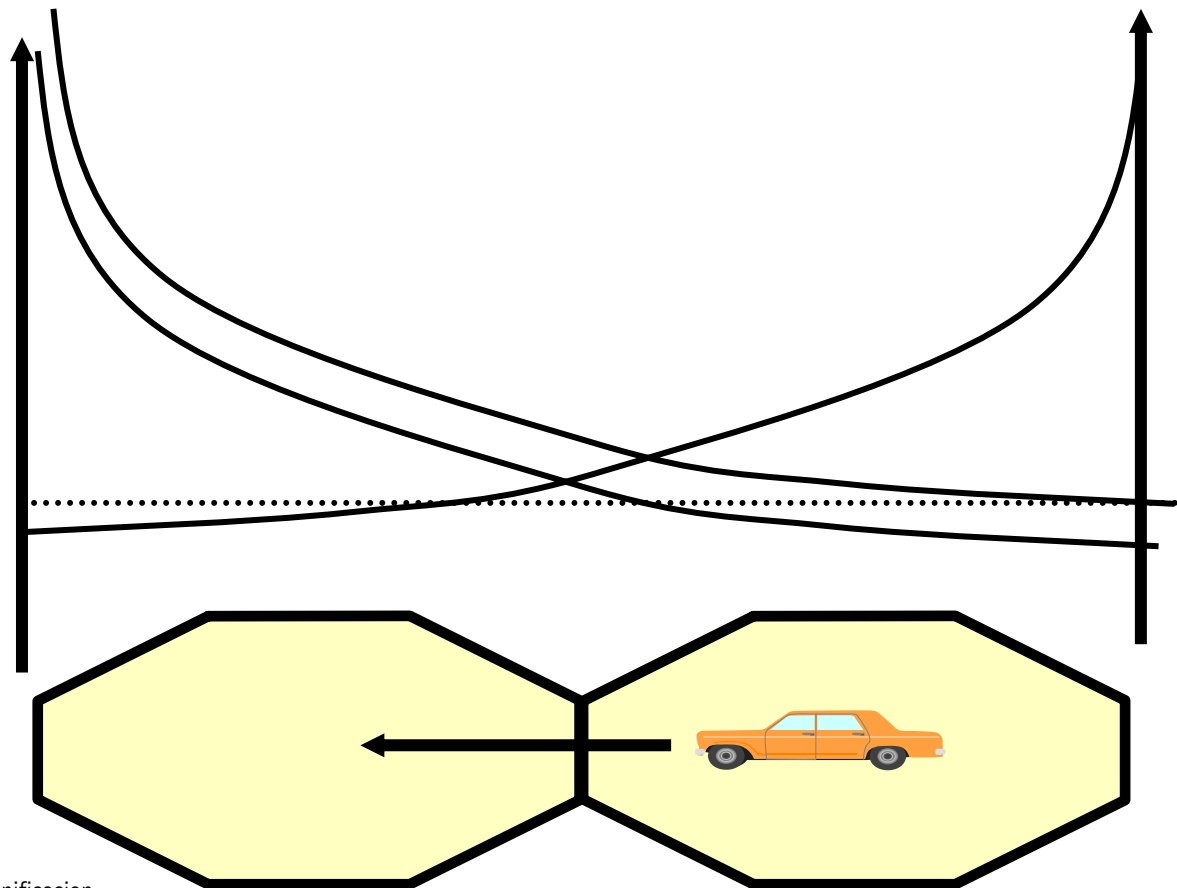
Administracion de Handoff

- Suponiendo que $P_i(x)$ y $P_j(x)$ representan la potencia recibida por el terminal movil desde BTS_i y BTS_j , el nivel de señal puede ser representado por las curvas
- Entre los puntos X_3 y X_4 (area de handoff), el terminal móvil puede ser servido ya sea por BTS_i y BTS_j , y la elección se deja de acuerdo a la tecnologia y SW del controlador de radiobases.



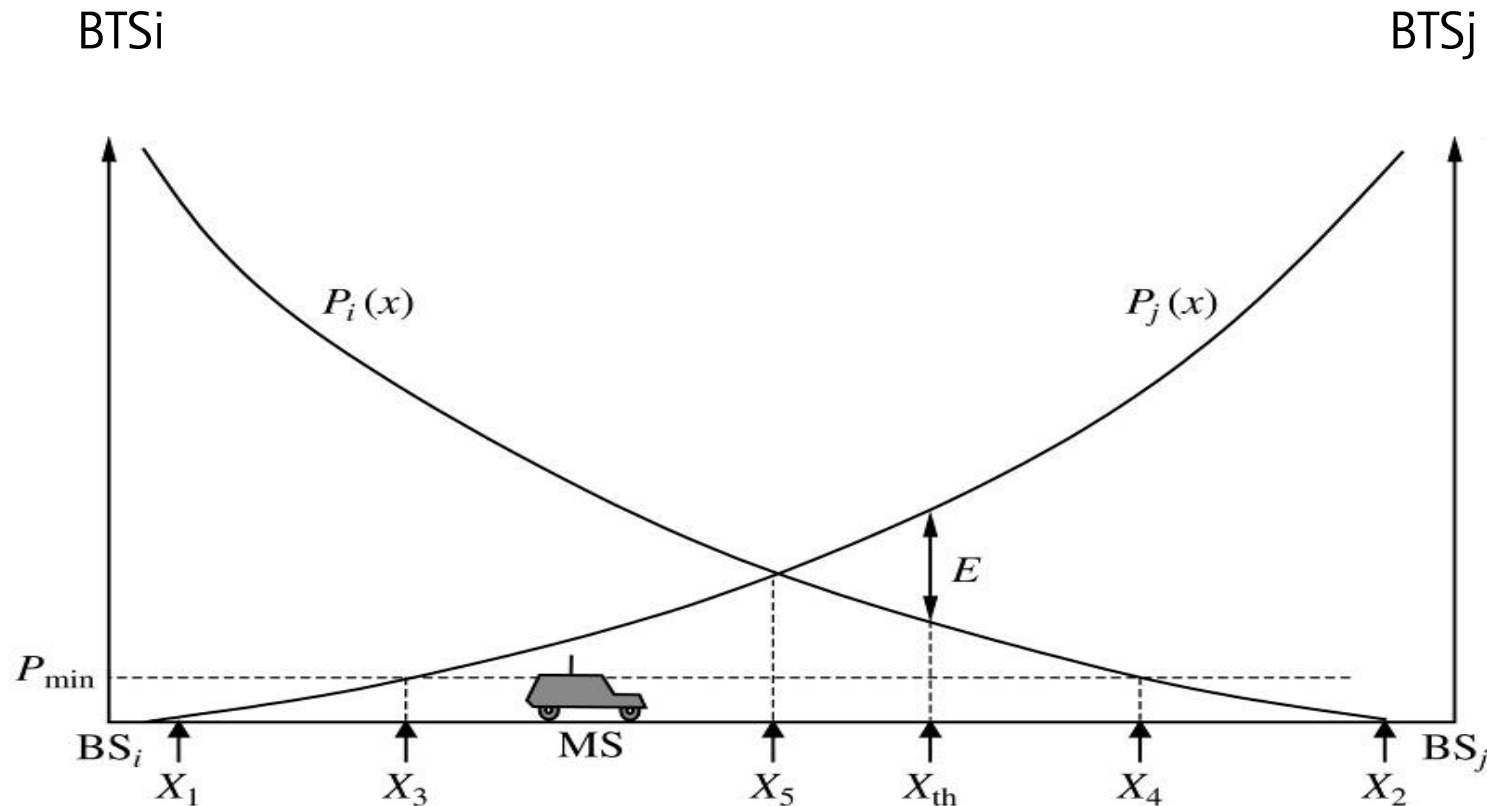
Administración de Handoff

- Deben decidirse adecuadamente, cuando los móviles deben pasar de una celda a otra. Cuando los niveles son inestables se produce el efecto ping-pong.

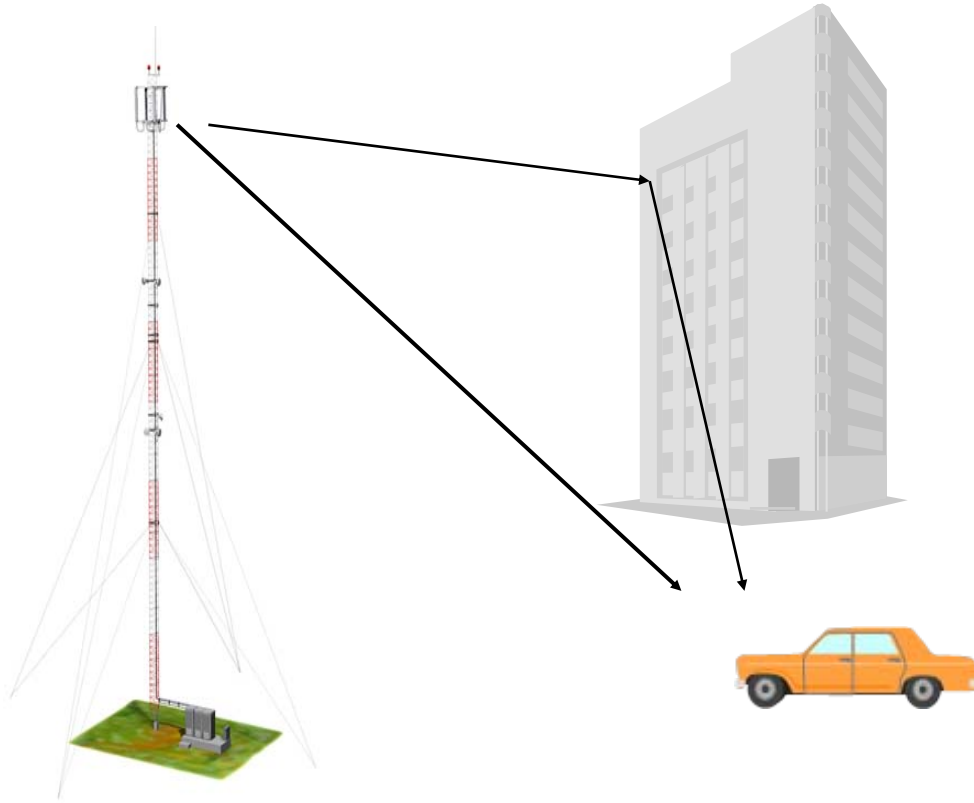


Administracion de Handoff

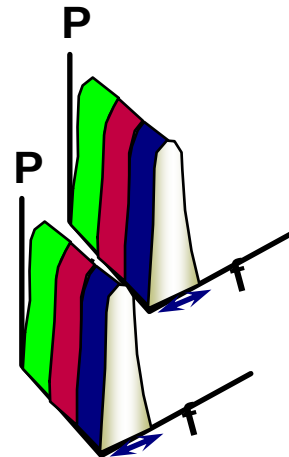
- Para evitar el efecto ping-pong el terminal se deja que mantenga el enlace con la BTS_i , hasta que el nivel de señal de BTS_j exceda un umbral de valor E que se muestra como punto X_{th}



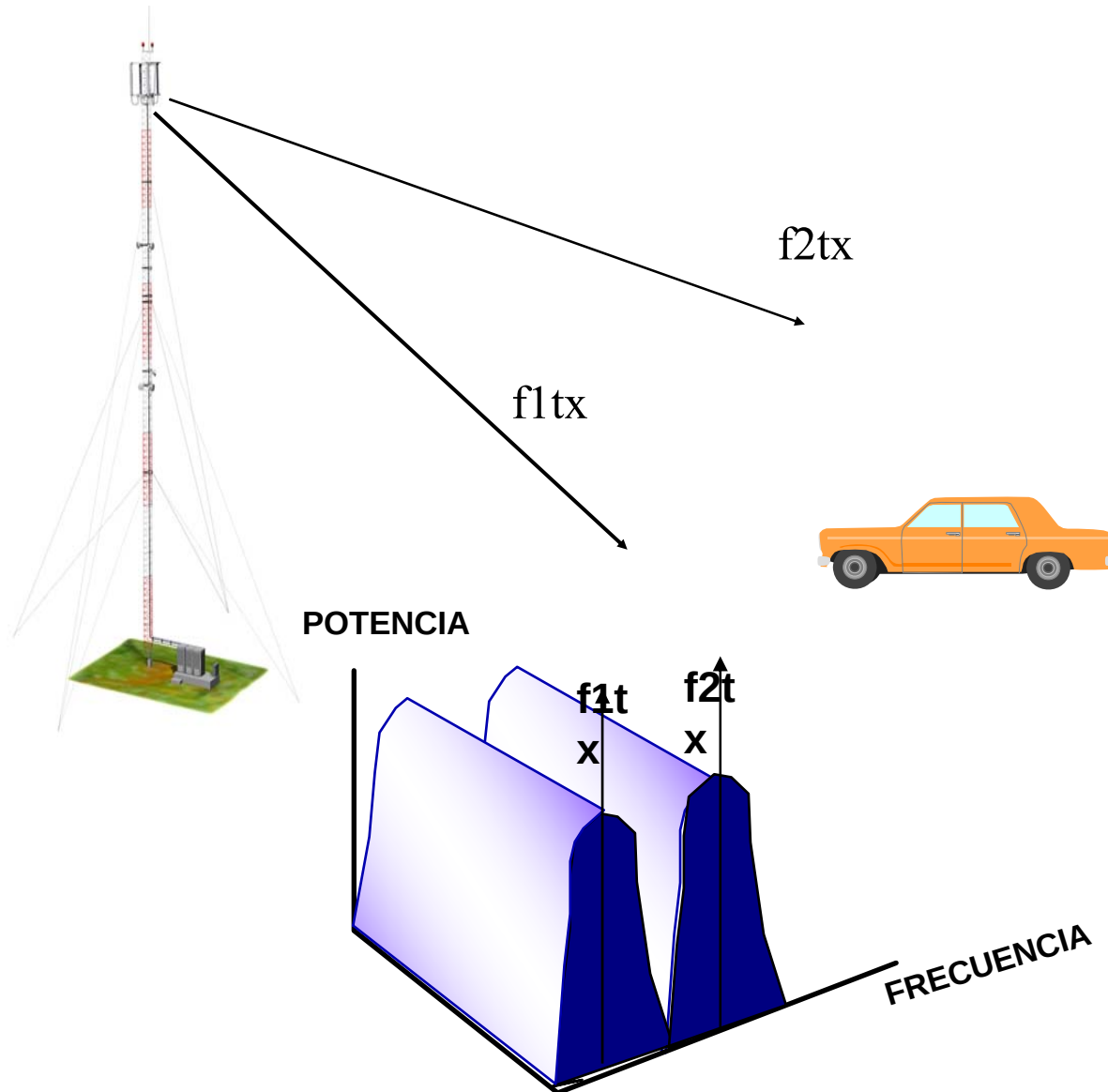
Interferencias por cercanías



- El receptor recibe la misma señal, la que producto del rebote en un obstaculo llega con un retraso temporal
- La solucion consiste en apuntar las antenas evitando los obstaculos



Interferencias al canal adyacente

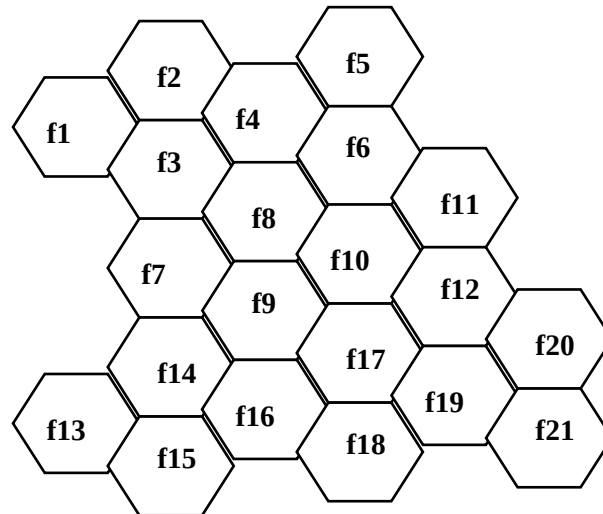


- El hecho de haber una celda contigua transmitiendo una frecuencia "contigua" (de acuerdo a la canalización que se utilice) produce interferencia

$$\frac{C}{I} = \frac{\text{Carrier}}{\text{Interference}} = \frac{C}{\sum_{k=1}^M I_k}$$

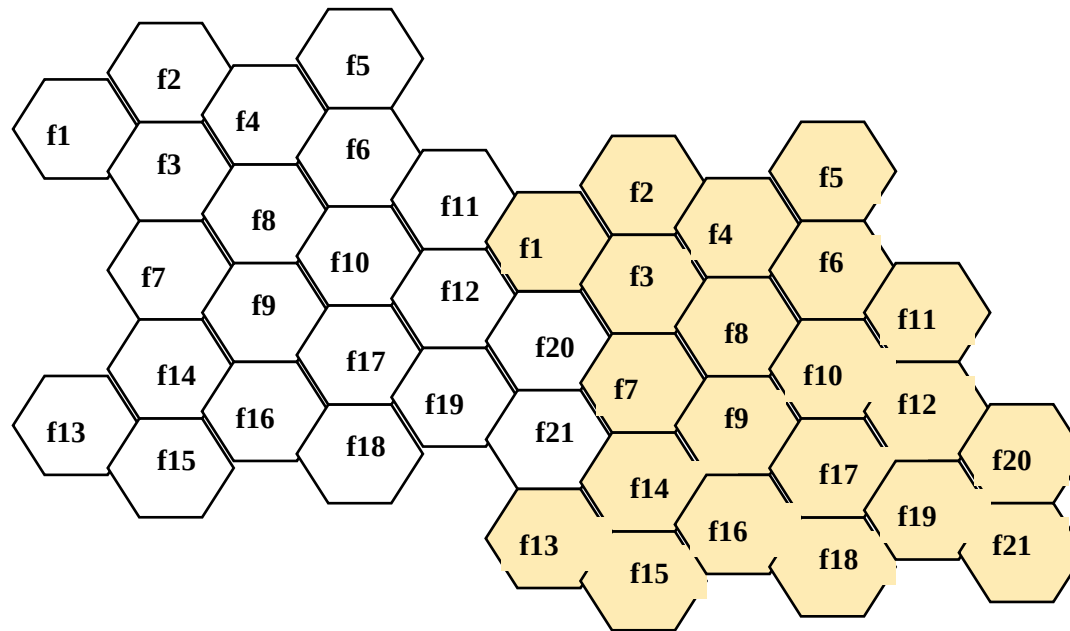
Sistema de Cluster para minimizar interferencias

7/21 (7 sitios, 21 frecuencias)



Sistema de Cluster para minimizar interferencias

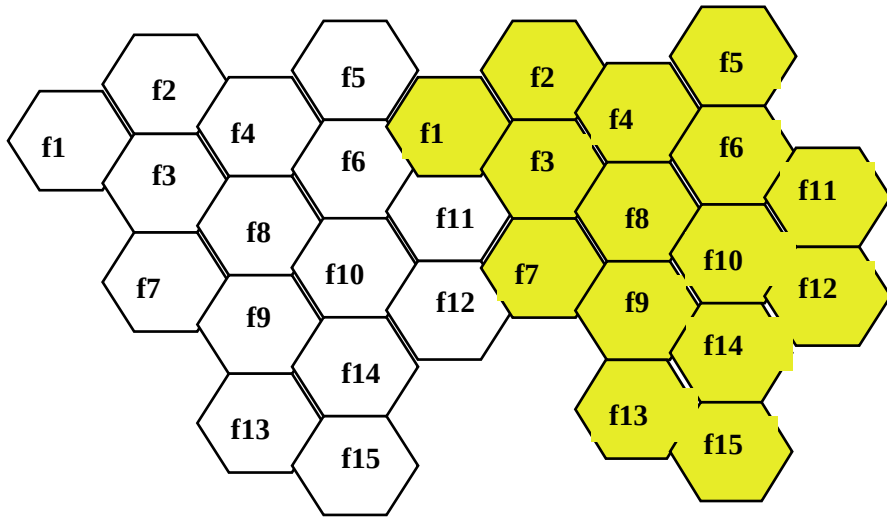
7/21 (7 sitios, 21 frecuencias)



Sistema de Cluster para minimizar interferencias

El 7/21 es la configuracion de cluster mas usada en tecnologias FDMA , y TDMA

Tambien existen 5/15 y 3/9



Sistemas de Comunicaciones Móviles

- *Planificación: capacidad*

Objetivos

- El objetivo es que el sistema pueda atender a los usuarios que quieran hacer uso de el.

¿Cómo se mide el uso que hace un usuario del sistema?

–Comercialmente a traves de los minutos de uso, el parametro conocido es el MOU (minutes of usage). El MOU es la cantidad de minutos que utiliza un usuario en un mes.

–El MOU esta relacionado con:

- los planes comerciales , que relacionan las llamadas generadas (100 minutos, 50 minutos, etc)
- La cantidad de llamadas recibidas.

– $\text{MOU} = \text{llamadas generadas} + \text{recibidas por mes}$

Parametros de Dimensionamiento

- En promedio en las redes de Chile tienen un MOU de 100 minutos.
 - La relacion de trafico entrante saliente es del orden de 70% generado, 30% recibido
 - Es decir un usuario chileno genera 70 minutos al mes y recibe 30.

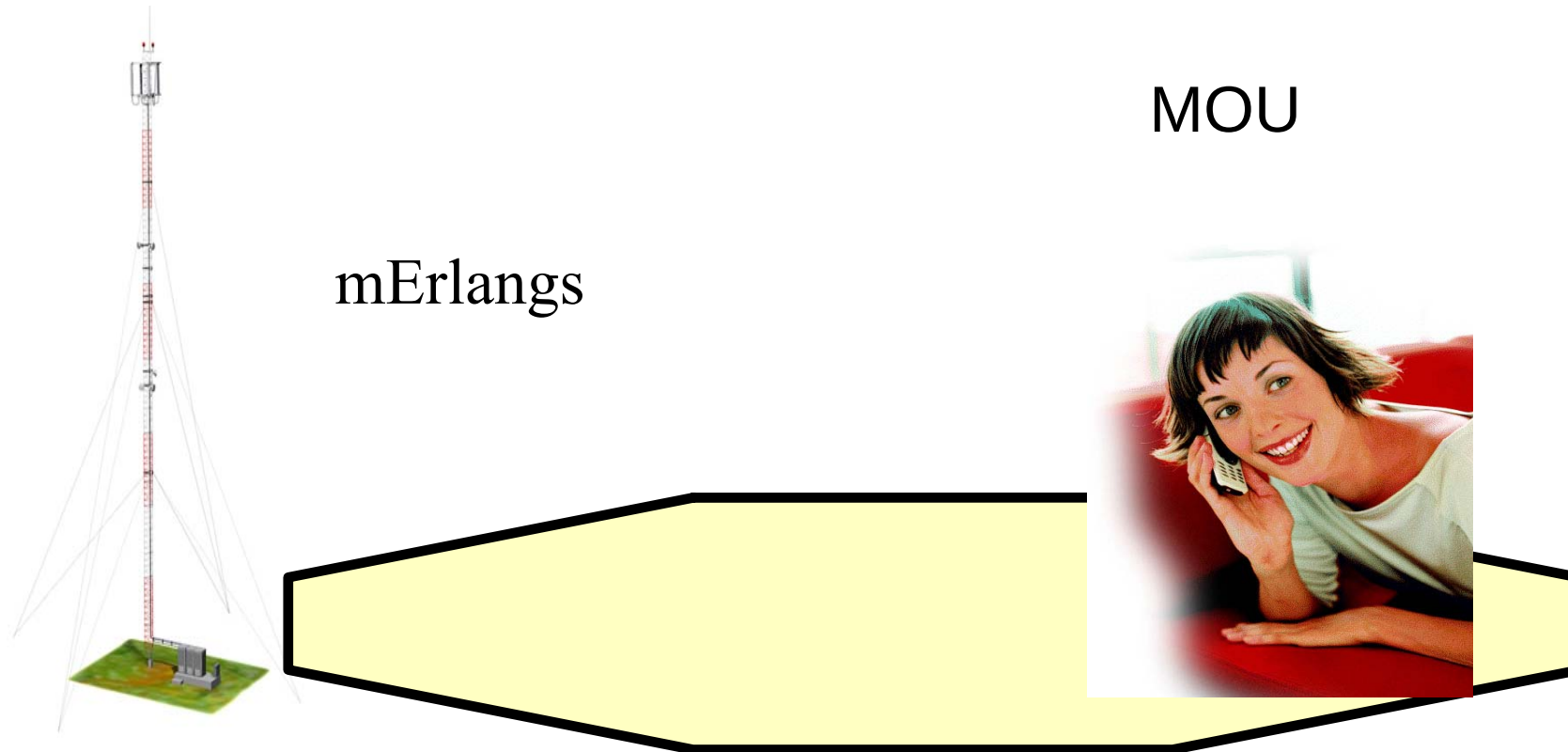
El acceso de una celda se mide basado en la teoria del trafico según el midelo de Erlang-B considerando un 2% de bloqueo.

El modelo dimensiona el peor caso, es decir el trafico en la hora peak considerando que de 100 llamadas 2 se pierden

$$\begin{aligned} 1 \text{ Erlang} &= \text{minutos de uso} / \text{hora cargada} \\ &= \text{minutos de uso} / 60 \text{ minutos} \end{aligned}$$

MOU vs Erlangs

- ¿Como relacionar el trafico que soporta en la hora cargada una celda con los minutos que genera mensualmente un usuario?



MOU vs Erlangs



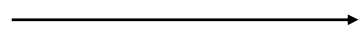
MOU $\longrightarrow$ Los minutos de uso mensuales de un usuario, solo en algunos días del mes son usados = factor de carga mensual = fm

Ej: 100 minutos mensuales solo durante 20 días se usan es decir $100/20 = 5$ minutos pueden afectar la hora cargada

MOU vs Erlangs



MOU



En los días que son usados los minutos de uso, en algunas horas son usados = factor de carga diaria = f_d

Ejemplo: 5 minutos de uso diarios distribuyen su uso solo 6 horas del día, es decir solo $5/6 = 0,8$ minutos

MOU vs Erlangs

Considerando el peor caso, MOU/fm/fd afecta la hora cargada.

Trafico en la hora Cargada= $\frac{\text{MOU}}{\text{fd fm } 60}$ Erlangs



MOU vs Erlangs

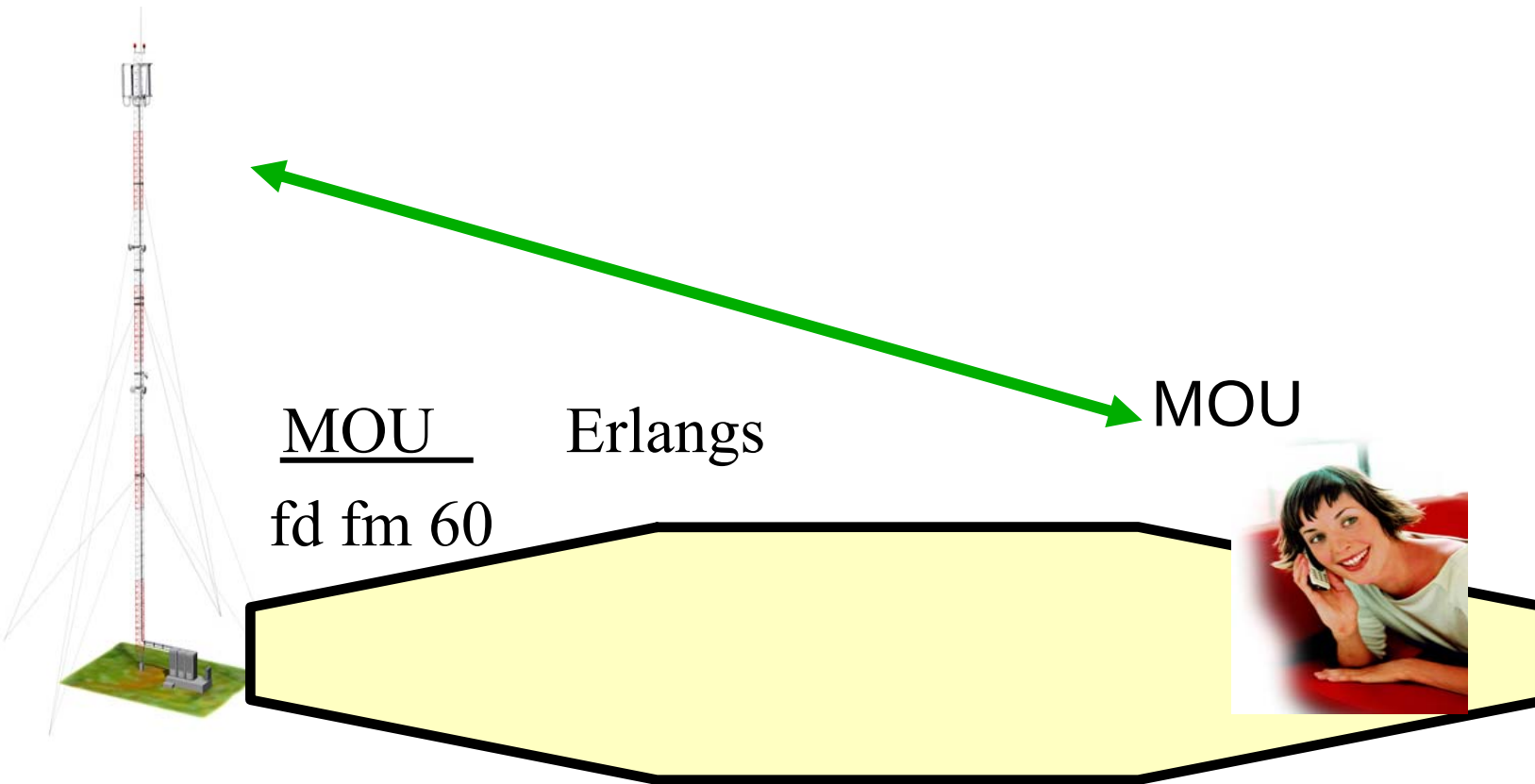
Si un usuario tiene un MOU de 100 minutos y $f_m=22$, $f_d=10$ entonces en la hora cargada afectaria.

$$\text{Trafico en la hora Cargada} = \frac{100}{10 \times 22 \times 60} = \frac{100}{13200} = 0,075 \text{ Erlangs}$$

En Chile empiricamente se usa $f_m=22$, $f_d=10$



MOU vs Erlangs



¿qué pasa si hay mas de un usuario?, con el criterio del peor caso, debe considerarse un efecto aditivo

MOU vs Erlangs

MOU 1



MOU 2



MOU 3

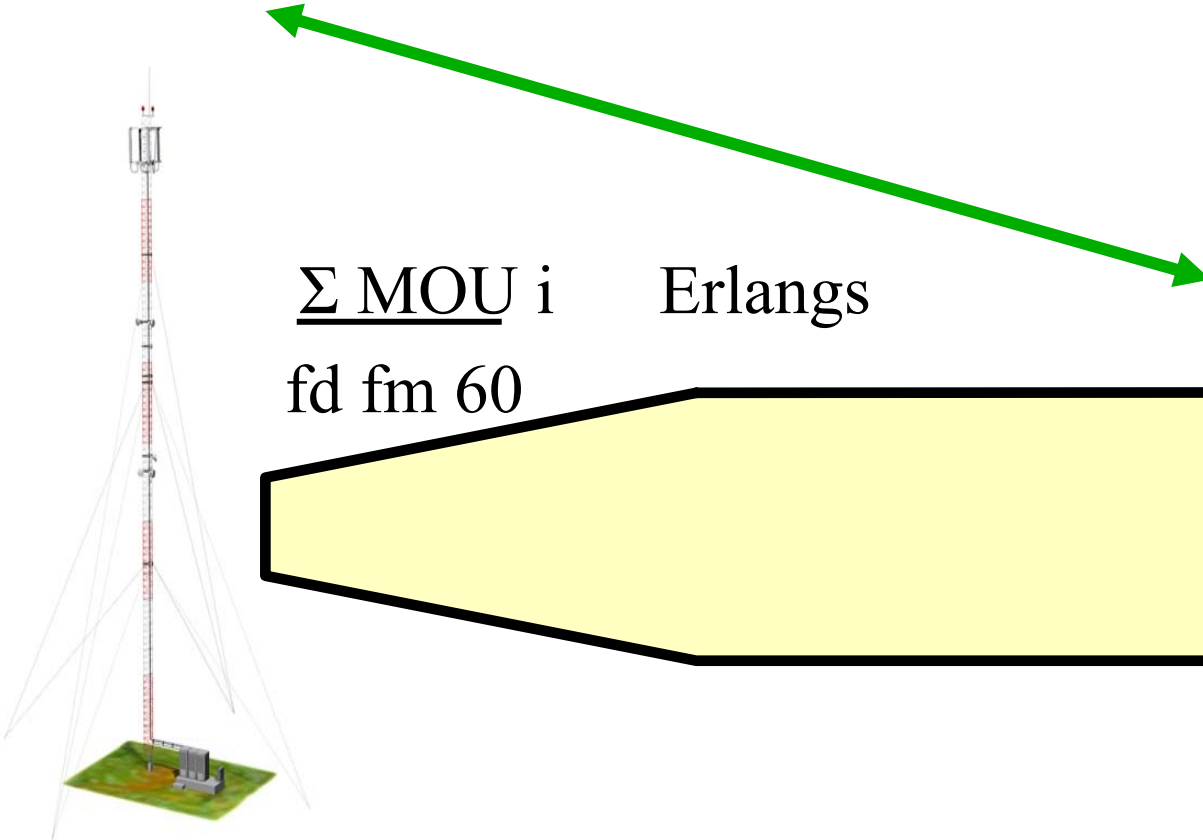
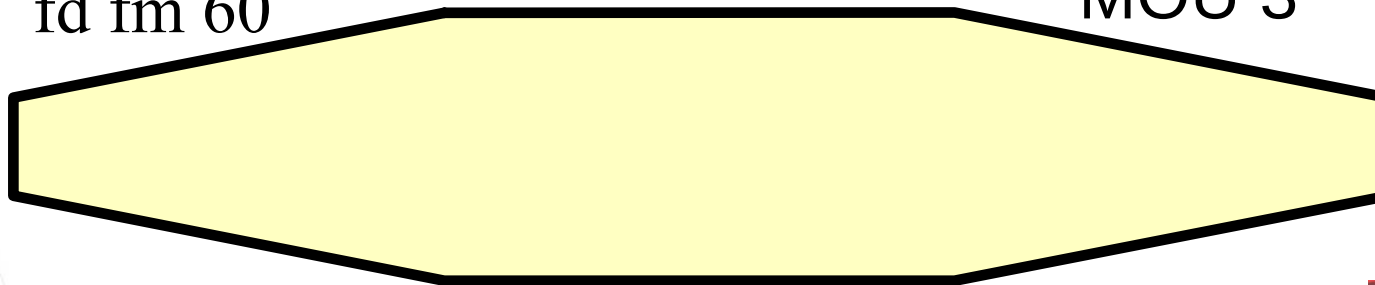


MOU 4



$\Sigma \text{MOU } i$ Erlangs

fd fm 60

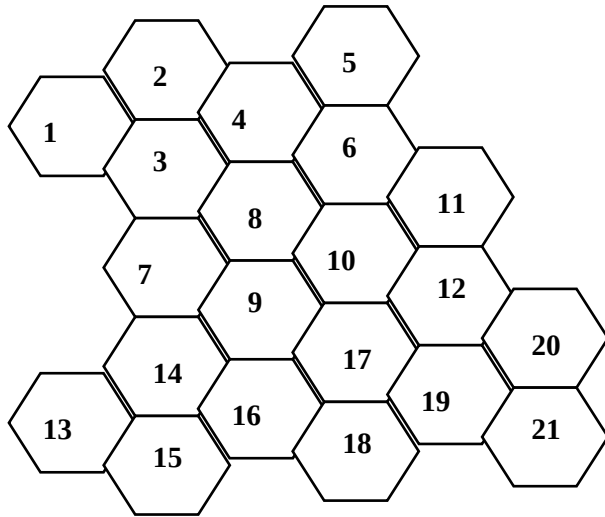


¿Todos los usuarios afectan 1a misma celda?

- Seria considerar un caso extremo, economicamente alto, una buena aproximación, es considerar una distribución homogenea de trafico en la hora cargada por celda

1000 usuarios con un MOU de 100 generan en la hora cargada:

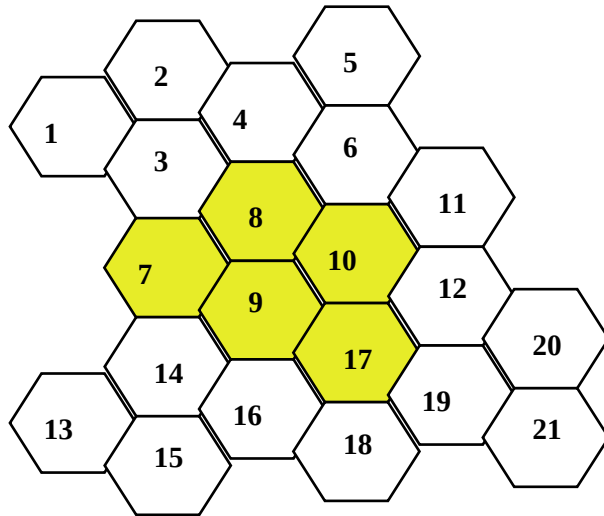
$$\frac{1000 \times 100}{10 \times 22 \times 60} = 7,58 \text{ Erlang}$$



Si la zona esta cubierta por 21 celdas se asume que cada celda tendra un trafico en la hora cargada de :

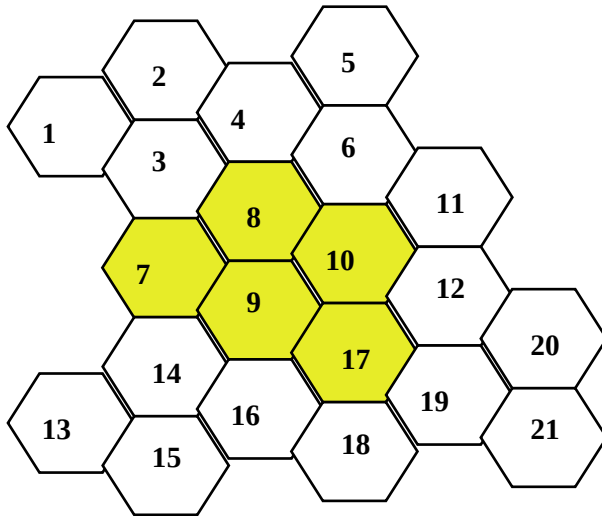
$$7,58/21 = 0,36 \text{ Erlang}$$

Para una aproximacion mejor, puede considerar se el efecto de desplazamiento



En las horas de trabajo el 70% de los usuarios esta en la zona amarilla y el 30% en la blanca, fuera de las horas de trabajo se distribuyen homogeneamente

En la horas de trabajo:



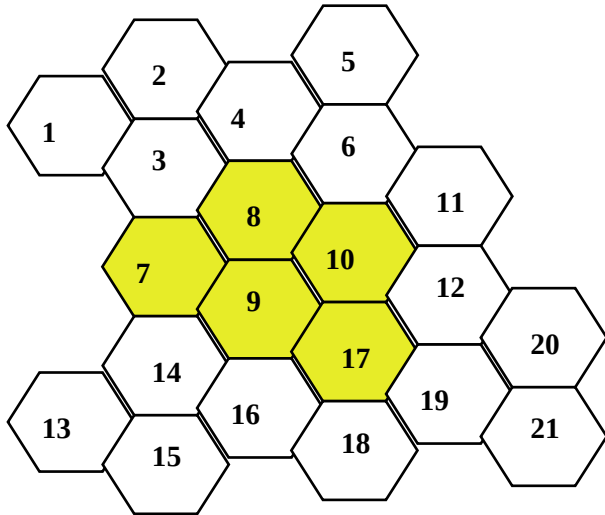
70% de los usuarios esta en la zona amarilla

$$\frac{0,7 \times 1000 \times 100}{10 \times 22 \times 60} = 5,31 \text{ Erlang}$$

La zona amarilla esta cubierta 5 celdas, luego cada celda tendra un trafico en la hora cargada de :

$$5,31/5 = 1,06 \text{ Erlang}$$

En la horas de trabajo:



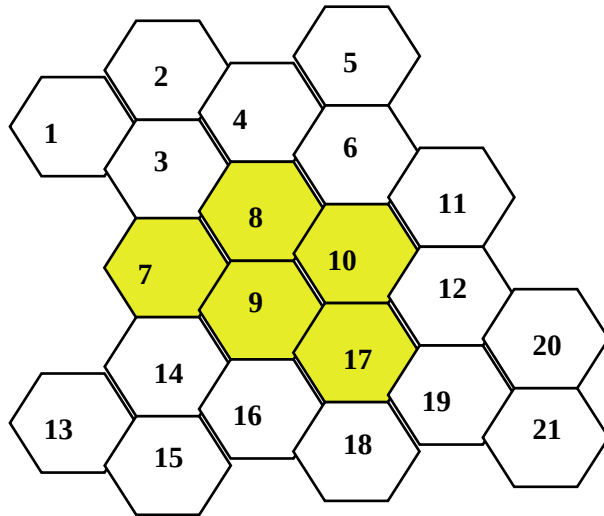
30% de los usuarios esta en la zona blanca

$$\frac{0,3 \times 1000 \times 100}{10 \times 22 \times 60} = 2,27 \text{ Erlang}$$

La zona blanca esta
cubierta 16 celdas, luego
cada celda tendra un
trafico en la hora cargada
de :

$$2,27/16 = 0,14 \text{ Erlang}$$

En resumen:



En las horas de trabajo, hay un trafico de 1,06 Erlang en cada celda de la zona amarilla y de 0,14 Erlang en la zona celeste

Fuera de las horas de trabajo, hay un trafico de 0,36 Erlang en todas las celdas (zona amarilla o blanca)

¿cómo se dimensionan las celdas?

Considerando el peor caso, es decir el con mayor requerimiento de trafico en la hora cargada

La distribucion por efectos de desplazamiento
pued refinarse tantas veces como se requiera

Sistemas de Comunicaciones Móviles

- *Planificación: Cobertura Geográfica*

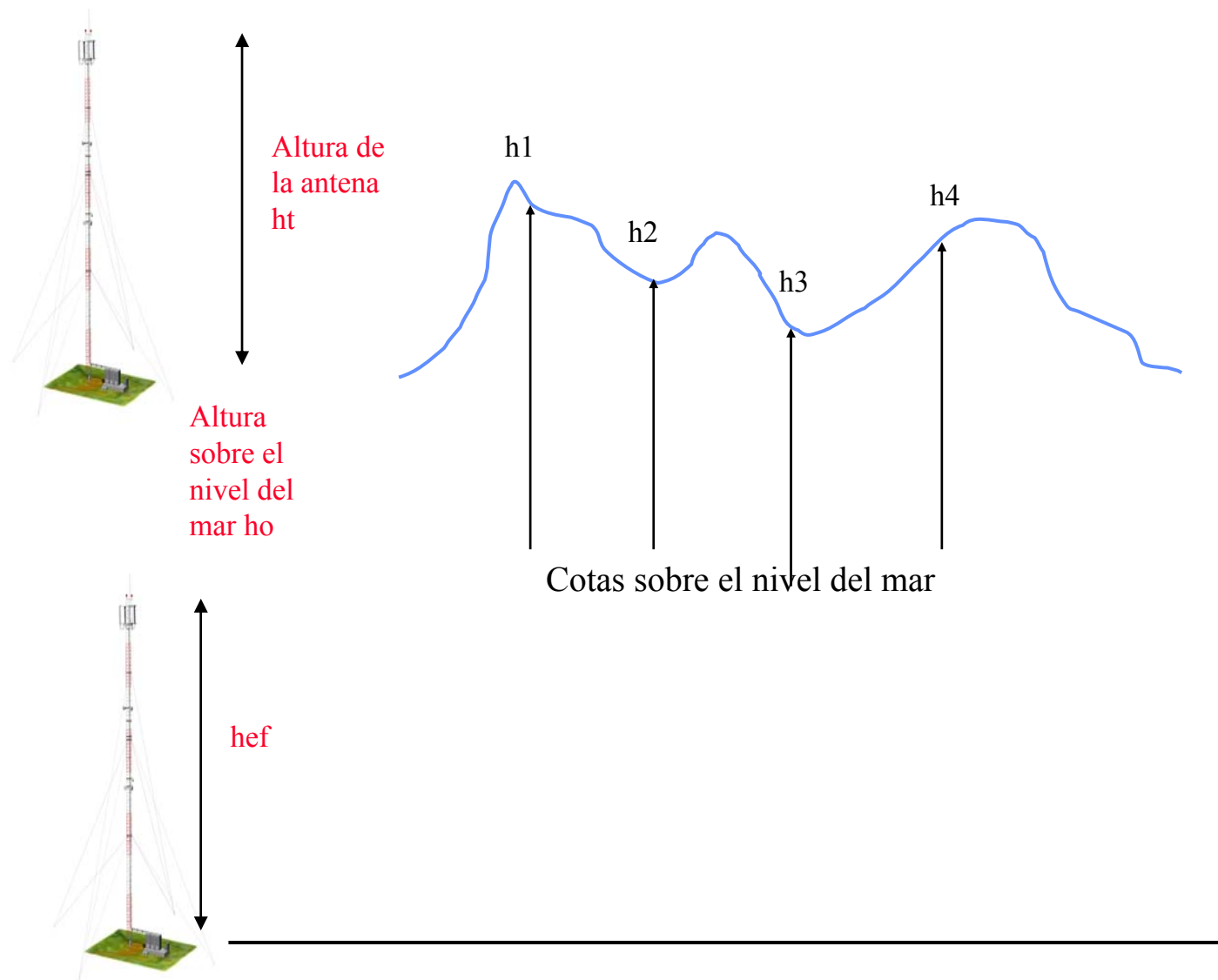
Efecto de los obstaculos del terreno

- Se considera lo que se denomina altura efectiva h_{ef} , que es llevar las condiciones de un terreno accidentado a una situación equivalente en terreno plano.

$$h_{ef} = h_t - \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_o)}{n}$$



Altura Efectiva h_{ef}

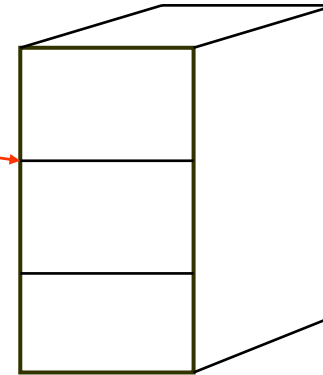
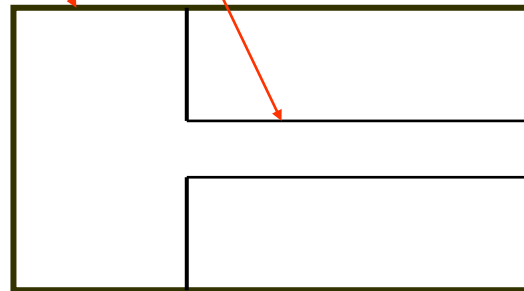


Penetracion en edificios

- Uno de los métodos más prácticos es aquel obtenido de presentaciones en la Comunidad Europea por el Grupo COST231, el cual entrega las pérdidas en función del tipo de muros de los edificios, número de pisos y número de muros divisorios internos.

El modelo correspondiente es el siguiente:

$$PI = L_{ext} + p * L_p - L * (f - 1)$$



En que:

- PI : Pérdidas de penetración indoor en dB
- L_{ext} : Pérdidas en los muros exteriores
- p : Número de muros interiores
- L_p : Pérdidas en muros interiores (por muro)
- f : Número de pisos
- L_f : Ganancia por piso.

Penetracion en edificios

Los valores medios propuestos para estos parámetros son:

Lext : Grosor de muros con ventanas : 13 dB

Lp : Muros interiores de madera : 2 dB

Lf : : 3 dB

Por ejemplo, en el primer piso (Lf = 1).

$$PI = 13 + 2 * p$$

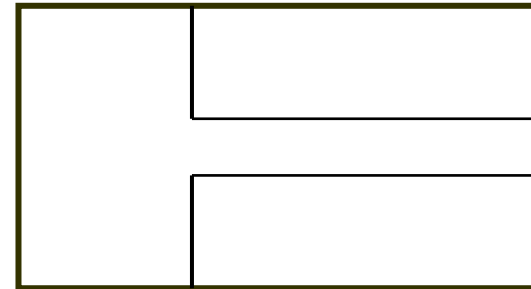
Se puede considerar que:

- Para una cobertura indoor sobre los 5 m dentro de edificios

p = 1 así PI = 15 dB

- Para una cobertura indoor sobre los 10 m dentro de edificios

p = 2 así PI = 17 dB



Formula de Propagación Empirica Okumura-Hata

El modelo empírico de Okumura-Hata es el modelo estandar ocupado ampliamente para predecir cobertura en comunicacion móviles

$$A \text{ (dB)} = 46,3 + 33,9\log f - 13,82\log H + (44,9 - 6,55\log H)\log D + C$$

En que:

- A = Pérdidas de trayectoria
- f = Frecuencia en MHz (f = 1900 MHz, por ejemplo)
- D = Distancia entre la Estación Base y el Terminal, en Km
- H = Altura efectiva de la Antena de la Estación Base, en metros

- C = Factor de corrección debida al medio ambiente

Factor de Corrección en el modelo Okumura-Hata

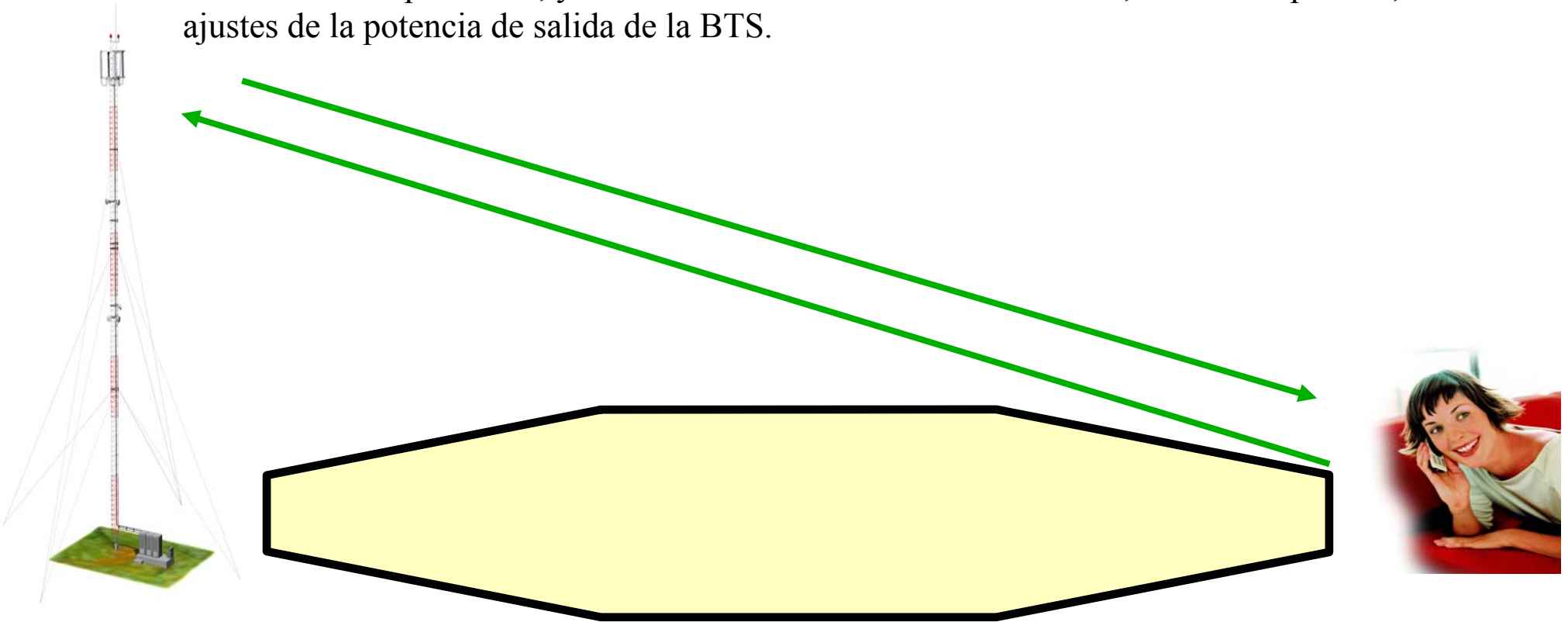
El modelo empírico de Okumura-Hata se creó en base a mediciones en un entorno urbano. Sin embargo fuera de ese entorno el modelo sigue siendo válido, aplicando un factor de corrección

- C = 3 dB: Para ciudades urbanas densas
(edificios grandes de más de 7 pisos, calles de magnitud media y pequeñas....),
- C = 0 dB: Para ciudades urbanas medias (edificios medianos de 5 pisos, calles de magnitud media y pequeñas....)
- C = -5 dB: Para ciudades urbanas medias y calles anchas,
- C = -12 dB: Para ambientes suburbanos con pequeños edificios,
- C = -20 dB: Para ambientes mixtos, pueblo y rural,
- C = -26 dB: Para ambiente rural con pocos árboles y casi sin colinas (alturas menores que 50m).

Perdidas de Trayectoria A

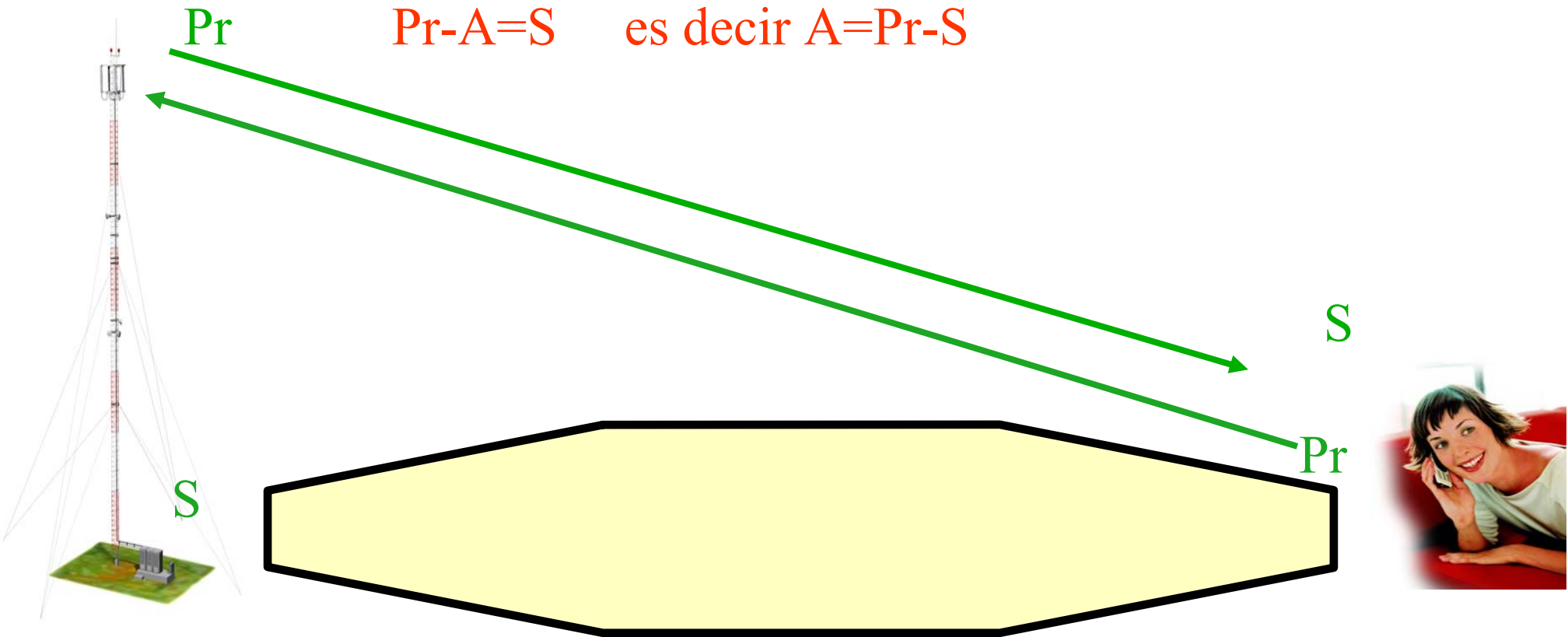
Se calculan las pérdidas para dos trayectorias: el enlace uplink (móvil o portátil hacia la BTS), y downlink (BTS hacia móvil o portátil).

Se considera el peor caso, y en cuanto al balance de ambos enlaces, cuando es posible, se realizan ajustes de la potencia de salida de la BTS.



Perdidas de Trayectoria A

La máxima pérdida admisible será igual a la diferencia entre lo que se transmite y la sensibilidad del receptor.



Enlace Descendente (downlink)

La máxima pérdida admisible será igual a la diferencia entre lo que se transmite y la sensibilidad del receptor.

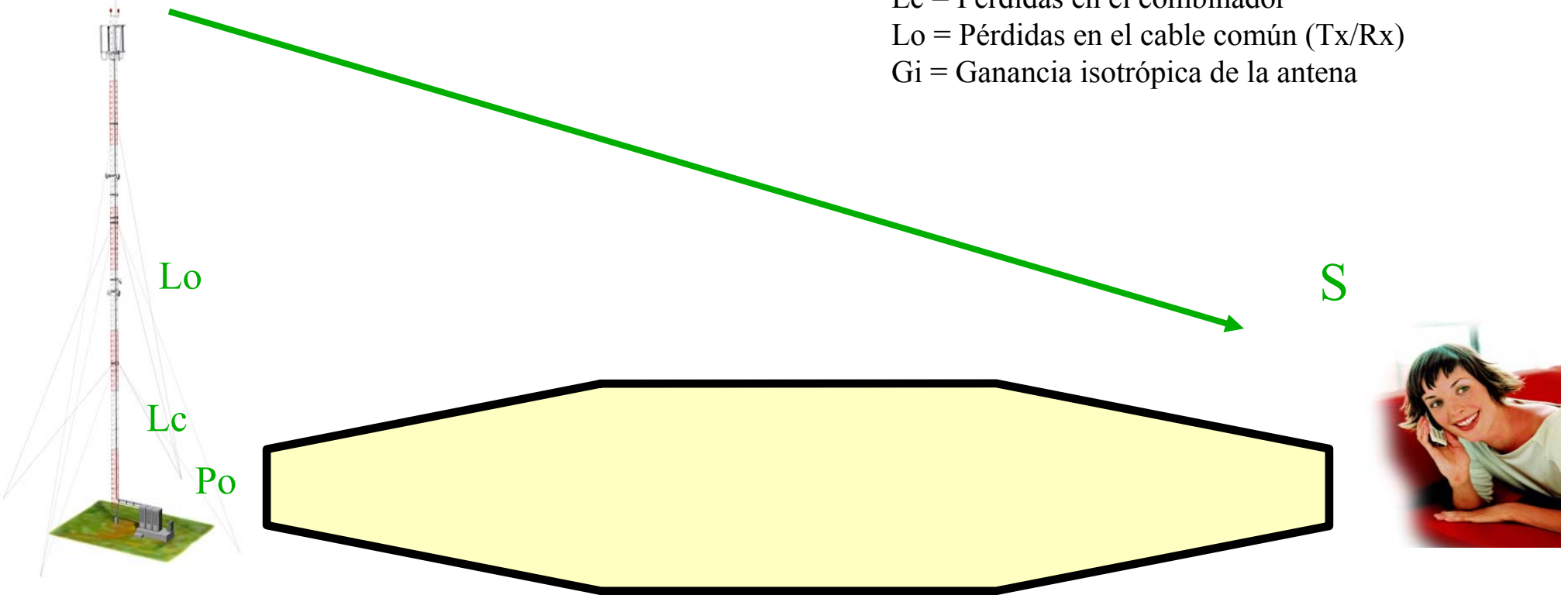
$$Pr \text{ (dBm)} = Po - Lc - Lo + Gi$$

Po = Potencia de salida de los transmisores PA

Lc = Pérdidas en el combinador

Lo = Pérdidas en el cable común (Tx/Rx)

Gi = Ganancia isotrópica de la antena



Enlace Descendente (downlink)

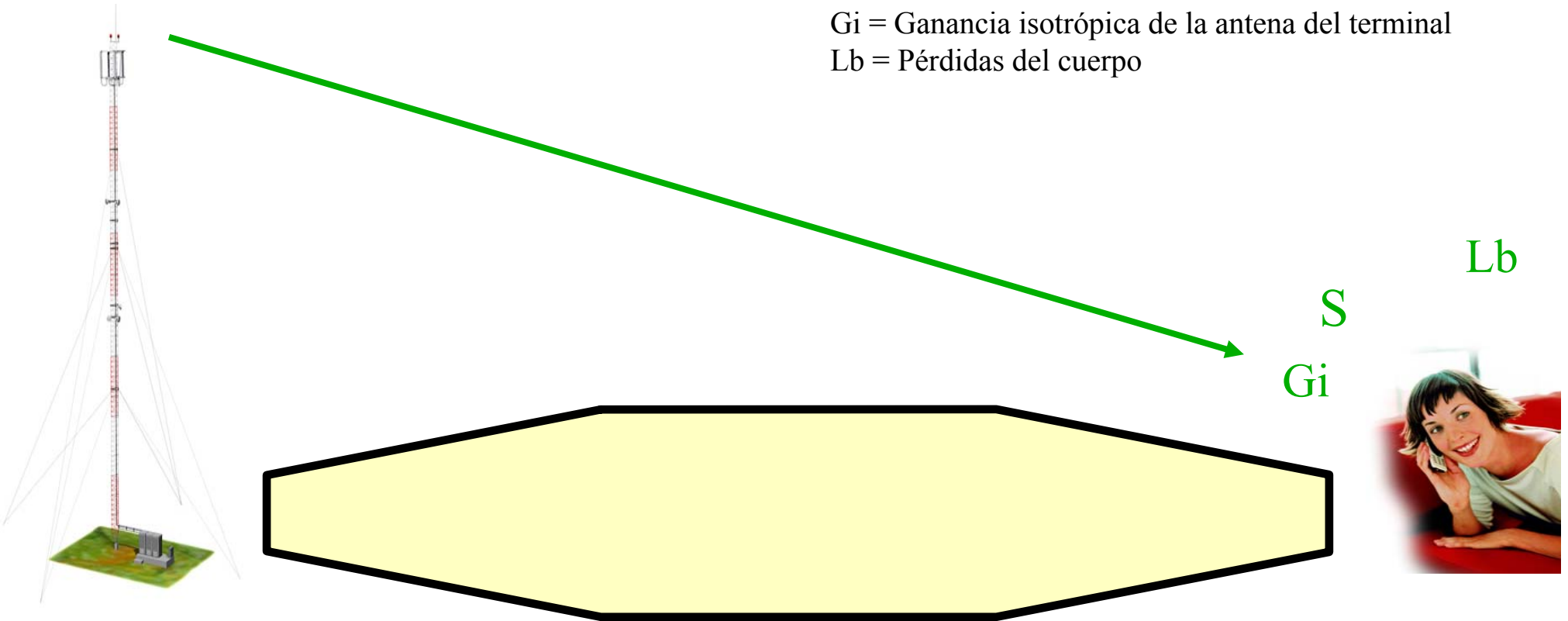
La máxima pérdida admisible será igual a la diferencia entre lo que se transmite y la sensibilidad del receptor.

$$S = S_r - G_i + L_b$$

S_r = Sensibilidad del terminal

G_i = Ganancia isotrópica de la antena del terminal

L_b = Pérdidas del cuerpo



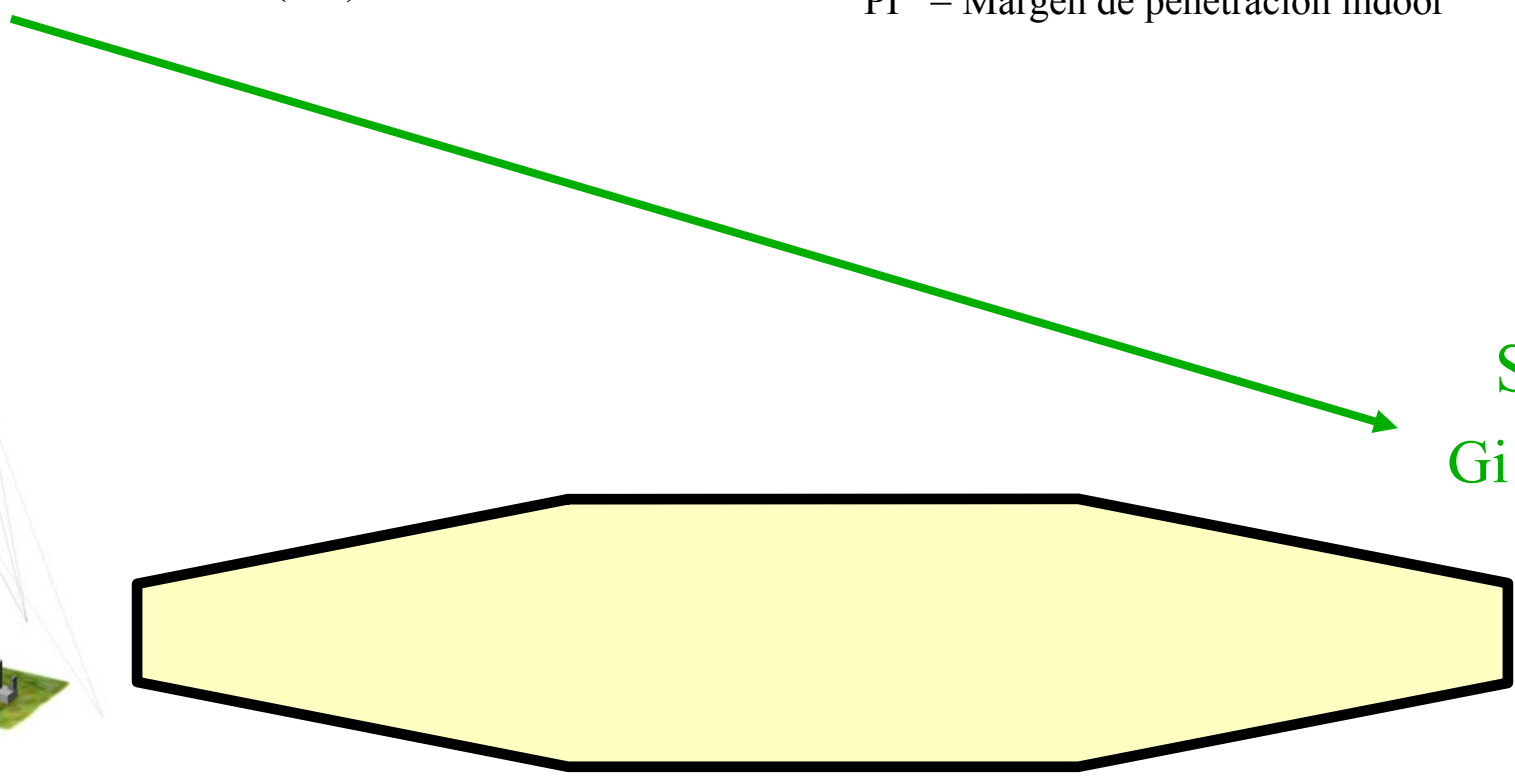
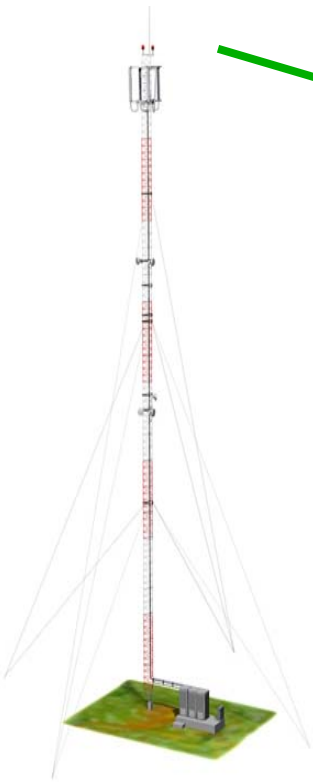
Enlace Descendente (downlink)

Adicionalmente a la perdida maxima admisible, se le agregan 2
margenes adicionales:

$$A_{\text{down}} (\text{dB}) = P_r - S - S_m - P_I$$

S_m = Margen de Sombra

P_I = Margen de penetración indoor



L_b



Enlace Ascendente (uplink)

La máxima pérdida admisible será igual a la diferencia entre lo que se transmite y la sensibilidad del receptor.

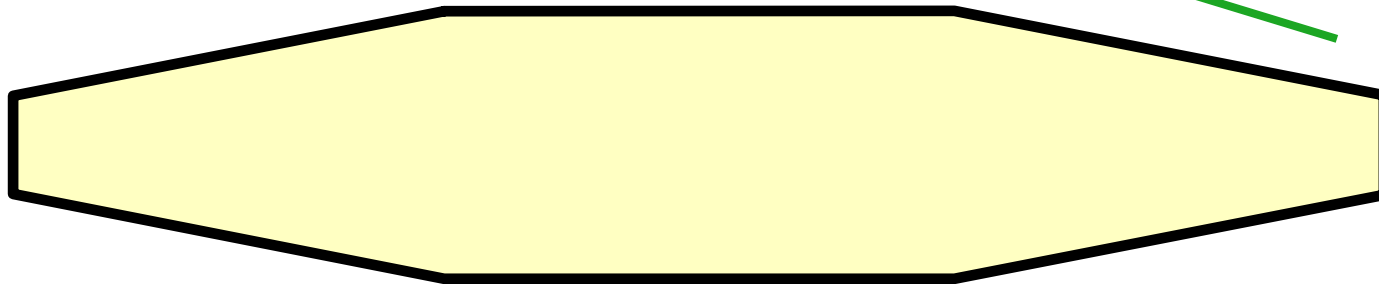
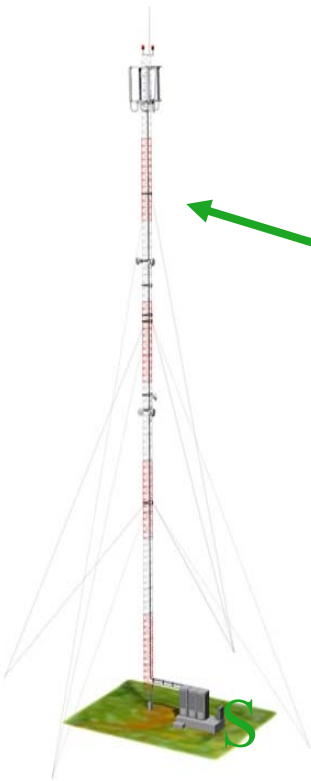
$$Pr = Po + Gi - Lb$$

Po = Potencia del terminal

Gi = Ganancia isotrópica de la antena del terminal

Lb = Pérdidas del cuerpo

Pr



Enlace Ascendente (uplink)

La máxima pérdida admisible será igual a la diferencia entre lo que se transmite y la sensibilidad del receptor.

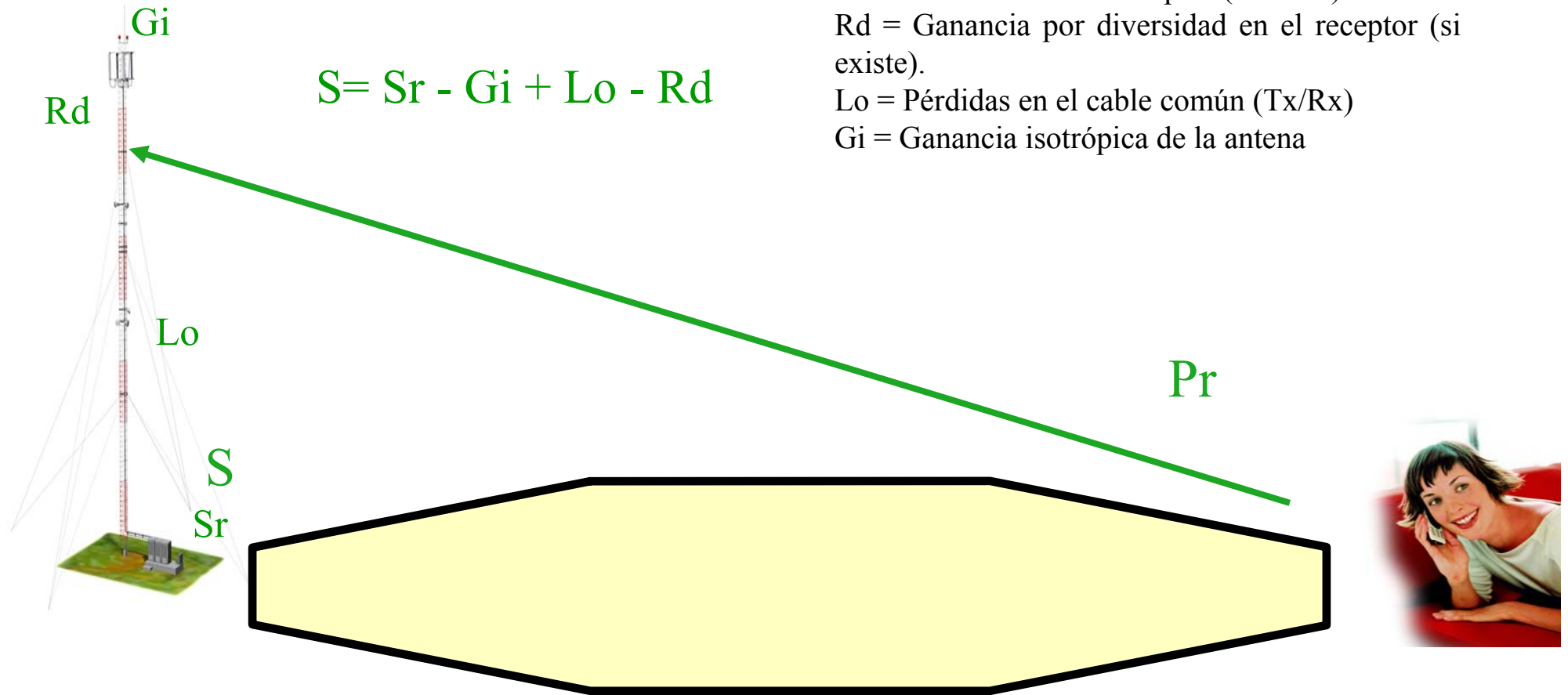
S_r = Sensibilidad del receptor (en dBm)

R_d = Ganancia por diversidad en el receptor (si existe).

L_o = Pérdidas en el cable común (Tx/Rx)

G_i = Ganancia isotrópica de la antena

$$S = S_r - G_i + L_o - R_d$$



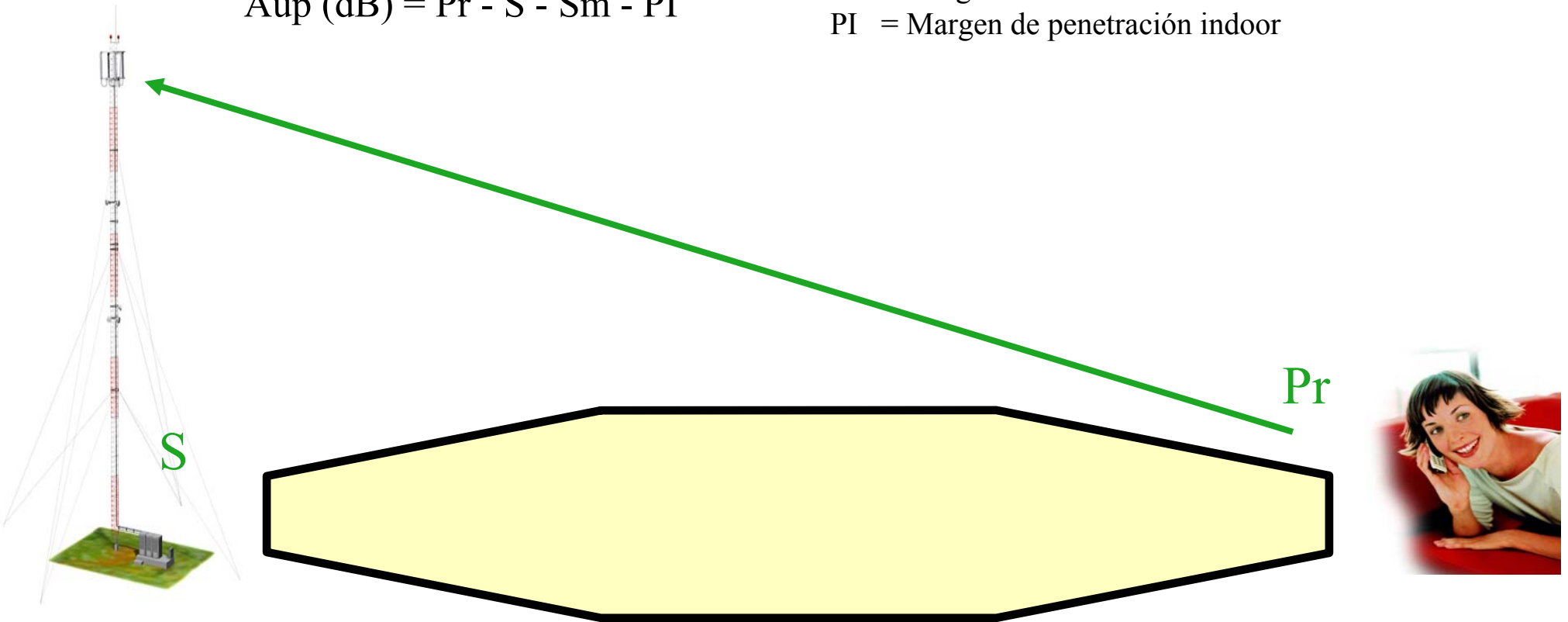
Enlace Ascendente (uplink)

Adicionalmente a la pérdida máxima admisible, se le agregan 2 márgenes adicionales:

$$Aup \text{ (dB)} = Pr - S - Sm - PI$$

Sm = Margen de Sombra

PI = Margen de penetración indoor



Formula de Propagación Empirica Okumura-Hata

El modelo empírico de Okumura-Hata es el modelo estandar ocupado ampliamente para predecir cobertura en comunicaciones móviles

$$A \text{ (dB)} = 46,3 + 33,9\log f - 13,82\log H + (44,9 - 6,55\log H)\log D + C$$

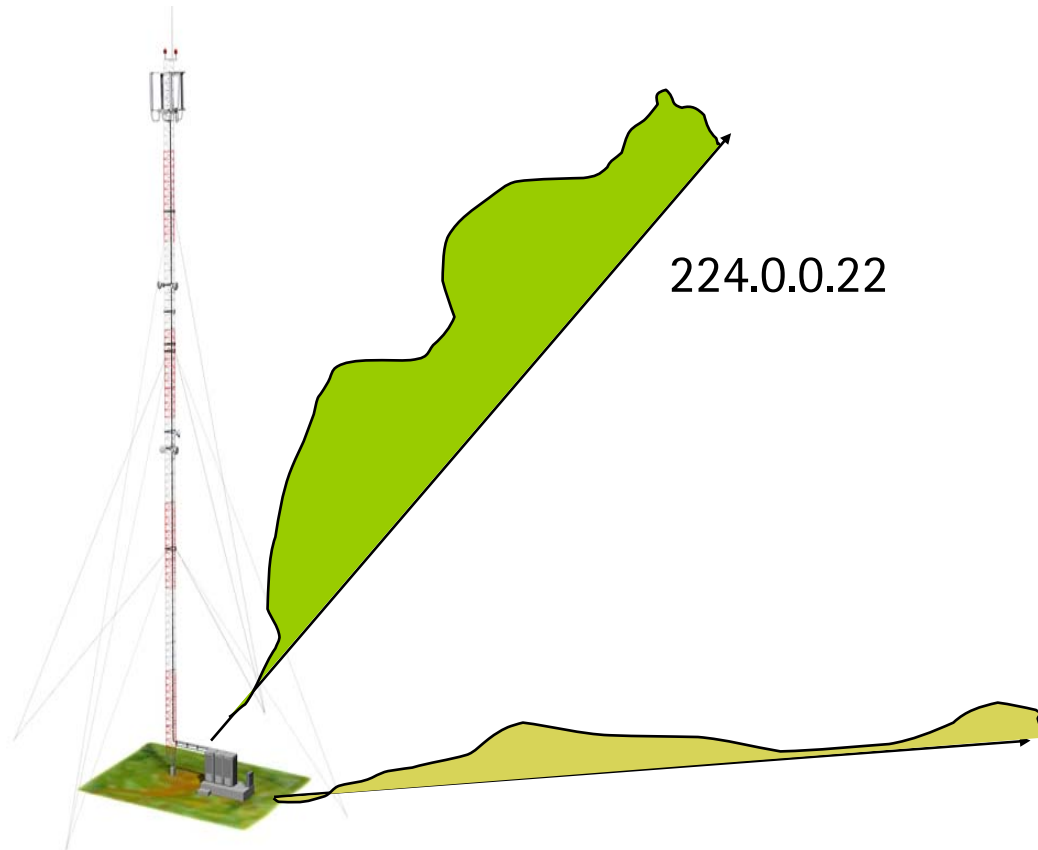
En que:

- A = Pérdidas de trayectoria
- f = Frecuencia en MHz (f = 1900 MHz, por ejemplo)
- D = Distancia entre la Estación Base y el Terminal, en Km
- H = Altura efectiva de la Antena de la Estación Base, en metros
- C = Factor de corrección debida al medio ambiente

En la practica A se determina una vez, C depende del entorno, pero H varía en funcion de la dirección considerada

Calculo de Cobertura

Como los accidentes del geografico del terreno varian será necesario hacer varios calculos desde la antena en su entorno



Sistemas de Comunicaciones Móviles

- Anexo a Planificación: Teoría de Erlang

Una Formula Simple

h = duración de una llamada (line holding time)

λ = numero de llamadas por unidad de tiempo

Si T_2 es el tiempo de observación y T_1 el tiempo de ocupación durante T_2 , entonces :

Numero de llamadas durante $T_2 = \lambda * T_2$

Tiempo de ocupación T_1 durante $T_2 = \lambda * T_2 * h$

Entonces el trafico es $= T_1/T_2 = \lambda * h$

Ejemplo:

$h = 4\text{min}; \lambda = 30 \text{ llam/min}; A = 120 \text{ E.}$

$h = 1\text{min}; \lambda = 120 \text{ llam/min}; A = 120 \text{ E.}$

Bloqueo o Perdida

Si el numero de canales disponibles es menor que el numero de usuarios tratando de hacer una llamada , entonces se perderá trafico:

A_0 = trafico requerido

A_c = trafico cursado

$A_c = A_0$ si la capacidad es suficiente

$A_1 = A_0 - A_c$ = Perdida de trafico

$B = A_1 / A_0$ = Probabilidad de bloqueo o Grado de Servicio (GoS)

La ley Erlang B

Hipotesis :

Infinito numero de fuentes.

Acceso = por distribución de Poisson

Distribución exponencial

$$B(n, A_0) = \frac{\frac{A_0^n}{n!}}{1 + \frac{A_0}{1!} + \frac{A_0^2}{2!} + \dots + \frac{A_0^n}{n!}}$$

A menudo se busca n como función de A_0 y B .

$B(n, A_0)$ is tabulado, así n puede ser encontrado

Ejemplo

$$\begin{aligned} B(2, 3) &= \frac{\frac{3^2}{2!}}{\sum_{k=0}^2 \frac{3^k}{k!}} \\ &= 0.529 \end{aligned}$$

Tabla de Erlang B

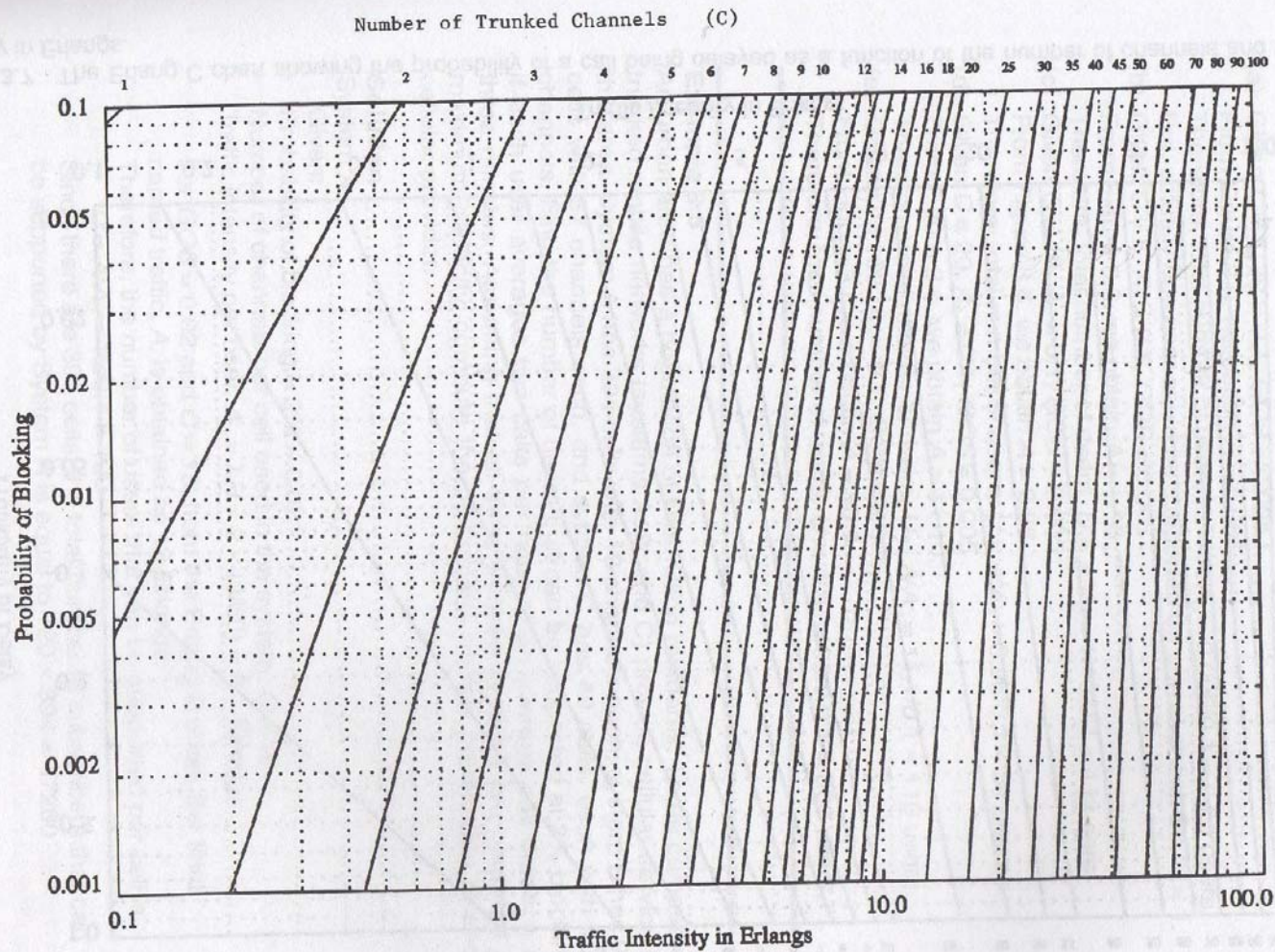


Figure 3.6 The Erlang B chart showing the probability of blocking as functions of the number of channels and traffic intensity in Erlangs.