

INFORME UIT-R M.2031

Compatibilidad entre enlaces descendentes del sistema WCDMA 1800 y enlaces ascendentes del sistema GSM 1900

(Cuestión UIT-R 229/8)

(2003)

1 Introducción

1.1 Introducción y esquema básico del Informe

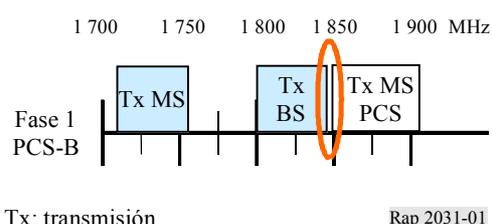
En este Informe se analiza la compatibilidad de la coexistencia radioeléctrica entre un sistema WCDMA (AMDC de banda ancha) desplegado en la banda de 1 800 MHz (WCDMA 1800) y un sistema GSM desplegado en la banda de PCS 1900 (GSM 1900), concretamente en bandas adyacentes y con sentidos dúplex inversos. El objetivo es determinar mediante cálculos determinísticos y simulaciones de Monte Carlo la banda de guarda que es necesaria para proteger los dos servicios adyacentes de la interferencia mutua. Los cálculos determinísticos se han aplicado a los escenarios de interferencia entre estaciones base (BS-BS). Las simulaciones de Monte Carlo se han aplicado a escenarios de interferencia entre estaciones móviles (MS-MS) y entre estaciones base (BS-BS).

Este Informe se organiza de la forma siguiente: en el § 2 se exponen los supuestos relativos al escenario de interferencia entre estaciones base BS-BS. En el § 3 se analiza el impacto de la interferencia procedente de una estación base WCDMA 1800 sobre los enlaces ascendentes del GSM 1900 mediante cálculos determinísticos, mientras que en el § 4 se presentan los resultados de las simulaciones de Monte Carlo de los escenarios MS-MS y BS-BS. En el Apéndice 1 se resume la metodología y los supuestos específicos de las simulaciones de Monte Carlo.

1.2 Antecedentes

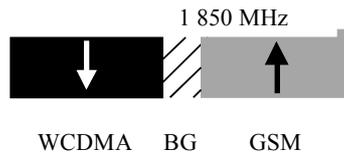
La fase 1 de la evolución de sistemas de comunicación personal (PCS) se caracteriza por la introducción de tecnologías IMT-2000 en las bandas 1710-1755 MHz/1800-1845 MHz. La atribución propuesta incluye una banda de guarda de 5 MHz entre la banda del enlace descendente del sistema WCDMA 1800 y la banda del enlace ascendente del PCS 1900, tal como se muestra en la Fig. 1.

FIGURA 1
Fase 1 analizada de la evolución del sistema PCS



En este Informe se considera la interferencia que puede producir un sistema WCDMA 1800 (cuyas especificaciones aún no se han finalizado) sobre un sistema GSM 1900 existente cuando se consideren varias disposiciones de frecuencias en la banda 1 710-1 990 MHz, por ejemplo, en la frontera espectral a 1 850 MHz, que se identifica como BG (banda de guarda) en la Fig. 2.

FIGURA 2
Enlace descendente WCDMA 1800 y
enlace ascendente GSM 1900



Rap 2031-02

Nótese que el caso elegido es el del sistema GSM 1900, pero también existen otras tecnologías en las bandas PCS, tales como IS-95 y TDMA (AMDT) (IS-136), en las que se dan situaciones similares de interferencia potencial. Esta situación de compartición se produce si se atribuyen las bandas de WCDMA 1800 y PCS 1900 en la misma zona geográfica. Ello da lugar a una potencial interferencia entre estaciones móviles (MS-MS) y entre estaciones base (BS-BS).

Los cálculos determinísticos (análisis del caso peor) y las simulaciones de Monte Carlo son dos metodologías complementarias. Los cálculos determinísticos consideran los valores correspondientes al caso peor de los parámetros del sistema, mientras que los enfoques estadísticos como las simulaciones de Monte Carlo proporcionan una estimación de la probabilidad con la que ocurrirá dicho caso peor.

La utilización de la metodología de Monte Carlo para el análisis de la coexistencia de sistemas radioeléctricos ha sido aprobada y recomendada por el Comité de Comunicaciones Electrónicas de la CEPT (ECC, *Electronic Communications Committee*)¹, el Informe UIT-R SM.2028 y el proyecto de asociación tercera generación 3GPP². Se ha utilizado la metodología de Monte Carlo del 3GPP para analizar la banda de guarda necesaria entre las bandas WCDMA 1800 y PCS 1900. En este Informe se analizan y se informa de los resultados de simulaciones en entornos de macro células. La metodología de simulación y los supuestos conexos se describen con detalle en el Apéndice 1.

2 Supuestos para el escenario de interferencia entre estaciones base BS-BS

En el Cuadro 1 se resumen los supuestos adoptados en el análisis. Este punto tiene también por objetivo clarificar las relaciones existentes entre los parámetros de separación entre portadoras y la banda de guarda.

¹ CEPT ECC Report 68, downloadable from ERO website <http://www.ero.dk/>.

² RF System Scenarios – 3GPP TR 25.942 v2.3.1.

CUADRO 1

Supuestos de los cálculos determinísticos y de las simulaciones de Monte Carlo

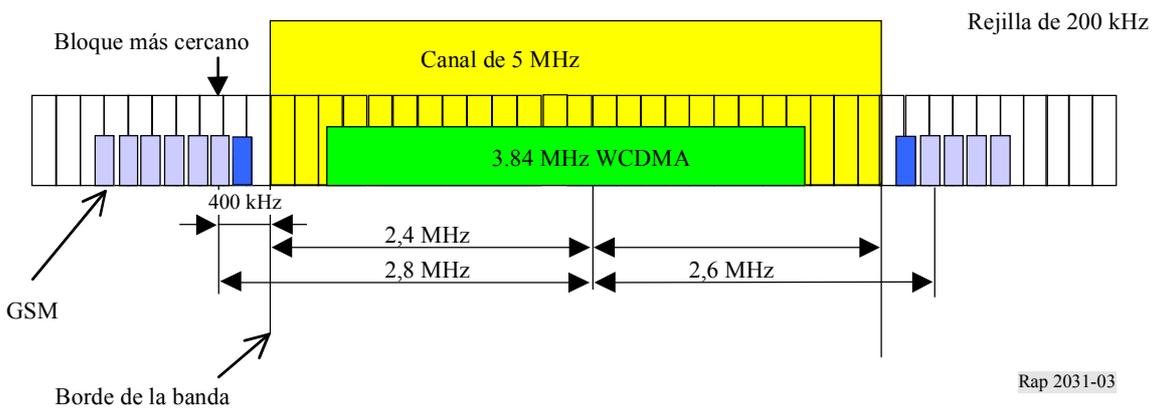
	Cálculos determinísticos	Simulaciones de Monte Carlo
Potencia de Tx de la estación de base WCDMA 1800 (dBm)	43	43
La relación de potencia de fuga del canal adyacente (ACLR) de la estación de base WCDMA 1800	60 dB (separación entre portadoras = 5 MHz) ³	63,7 dB (banda de guarda = 5 MHz) ³
	72 dB (separación entre portadoras = 10 MHz) ³	81 dB (banda de guarda = 10 MHz) ³
Ganancia en Tx de la antena de la estación de base WCDMA 1800 (dBi)	14	11 ⁴
Ganancia en recepción (Rx) de la antena de la estación de base GSM 1900 (dBi)	12	11 ⁴
Sensibilidad de la transeptora-estación de base (BTS) GSM 1900 (dBm)	-104	-107 ⁴
Potencia de Rx de GSM (dBm)	-101	No determinístico → simulado
C/I objetivo (enlace ascendente GSM 1900) (dB)	9	6 ⁴
Modelo de propagación BS-BS	Visibilidad directa (LoS) de doble pendiente (véase el § 3)	Espacio libre (véase el Apéndice 1)

En la Fig. 3 se representa la separación entre portadoras WCDMA y portadoras GSM cuando no se incluye una banda de guarda entre las atribuciones a WCDMA y a GSM. Como consecuencia de ello, existe la relación lineal siguiente entre la banda de guarda y la separación entre las portadoras:

$$\text{Banda de guarda} = \text{separación entre portadoras} - 2,8 \quad \text{MHz}$$

FIGURA 3

Anchura de banda atribuida de 5 MHz. Separación entre portadoras de 2,8 MHz*



* Carrier to carrier spacing for UMTS-1800 – Motorola – 3GPP TSG RAN WG4 R4-1800AH 0112 – 1800/1900 ad hoc meeting, Seattle, Estados Unidos de América, 2-3 de mayo de 2001.

³ UTRA (BS) FDD; Radio Transmission and Reception – 3GPP TS 25.104 v3.4.0.

⁴ Results of UMTS1800/GSM Co-existence Simulations (Uplink) – 3GPP TSG RAN WG4 – Ericsson – TSG R4 No. 15 (01) 0344 [febrero de 2001]. This contains the UMTS 1800 simulation assumptions agreed within 3GPP RAN WG4.

3 Cálculos determinísticos

En el estudio que sigue se analiza la interferencia potencial de las transmisiones del enlace descendente WCDMA sobre la recepción del enlace ascendente GSM para un conjunto de estaciones base ubicadas sobre tejados. En este punto sólo se considera la transmisión fuera de banda de WCDMA, es decir, se considera que el transmisor de la estación base WCDMA es el factor que limita la calidad de funcionamiento. Obsérvese que son necesarios estudios similares para el sentido contrario y en el que se vean involucrados los terminales.

Se supone que existe LoS entre estaciones base y, en consecuencia, se utiliza el modelo de propagación LoS de doble pendiente. Se supone una frecuencia portadora de aproximadamente 2 GHz, la pérdida de trayecto se calcula de la forma siguiente:

$$L_{LoS} = \begin{cases} 38,5 + 20 \log_{10}(d) & \text{para } 1 \leq d \leq d_{break} \\ 38,5 - 20 \log_{10}(d_{break}) + 40 \log_{10}(d) & \text{para } d \geq d_{break} \end{cases}$$

Si la altura de la estación base sobre la superficie reflectante es de 6 m (altura de la estación = base 30 m, altura media de los edificios 24 m), el punto de inflexión, d_{break} , está a 960 m ($d_{break} = 4 \cdot h_{tx} \cdot h_{rx}/\lambda$).

3.1 Interferencia de canal adyacente

La interferencia de canal adyacente (ACI) se calcula como:

$$ACI = P_{tx} - ACLR + G_{A,tx} + G_{A,rx} - L - BW_{conv} \quad \text{dBm}$$

donde:

- P_{tx} : potencia de salida de la estación de base WCDMA
- $ACLR$: relación de potencia de fuga del canal adyacente
- $G_{A,tx}$ y $G_{A,rx}$: ganancias de las antenas transmisora y receptora respectivamente
- L : pérdida de trayecto
- BW_{conv} : factor de conversión de la anchura de banda.

3.2 Pérdida de acoplamiento mínima

Dado un valor máximo de la $ACI_{máx}$, se puede calcular la pérdida de trayecto mínima requerida, $L_{mín}$, que se denomina pérdida de acoplamiento mínima (MCL).

$$L_{mín} = P_{tx} - ACLR + G_{A,tx} + G_{A,rx} - BW_{conv} - ACI_{máx} \quad \text{dB}$$

3.3 Distancia de separación mínima

El modelo de propagación permite convertir la pérdida de trayecto mínima en una distancia de separación mínima (MSD). Suponiendo que la interferencia de canal adyacente no supere el umbral de ruido en el nivel de sensibilidad, el valor de $ACI_{máx}$ puede fijarse como:

$$ACI_{máx} = S_{rx} - \left. \frac{C}{I} \right|_{GSM} \quad \text{dBm}$$

donde:

- S_{rx} : nivel de sensibilidad GSM
- $\left. \frac{C}{I} \right|_{GSM}$: relación portadora/interferencia de GSM.

Dados los valores de los parámetros identificados a continuación la pérdida de trayecto y la distancia de separación mínimas requeridas se reflejan en el Cuadro 2.

$$P_{tx} = 43 \text{ dBm}$$

$$\text{ACLR} = 46/58 \text{ dB para una separación entre portadoras de } 5/10 \text{ MHz } (\Delta f)$$

$$G_{A,tx} = 14 \text{ dB}$$

$$G_{A,rx} = 12 \text{ dB}$$

$$S_{rx} = -104 \text{ dBm}$$

$$C/I_{GSM} = 9 \text{ dB}$$

$$\text{BW}_{\text{conv}} = 5 \text{ MHz}/200 \text{ kHz} = 14 \text{ dB.}$$

CUADRO 2

**Pérdida de trayecto y distancia de separación mínimas requeridas
entre estaciones base WCDMA 1800 y GSM 1900**

Δf /banda de guarda (MHz)	5/2,2	10/7,2
Pérdida de trayecto mínima, L_{min} (dB)	122	110
MSD (m)	3 790	1 900

4 Simulaciones de Monte Carlo

4.1 Interferencia entre estaciones base BS-BS

4.1.1 Coubicación de estaciones base

Las simulaciones de Monte Carlo se han realizado asumiendo el valor MCL entre estaciones base BS-BS de 30 dB que establecen las especificaciones 3GPP (incluyendo las ganancias de las antenas)², y un nivel de emisiones no deseadas procedentes de la estación base WCDMA que cumple las actuales especificaciones 3GPP³. La Fig. 4 muestra que la interferencia de las estaciones base WCDMA causa más del 90% de las interrupciones en el enlace ascendente GSM cuando la banda de guarda es de 5 MHz.

Esta degradación puede limitarse teniendo en cuenta valores más realistas de los parámetros siguientes:

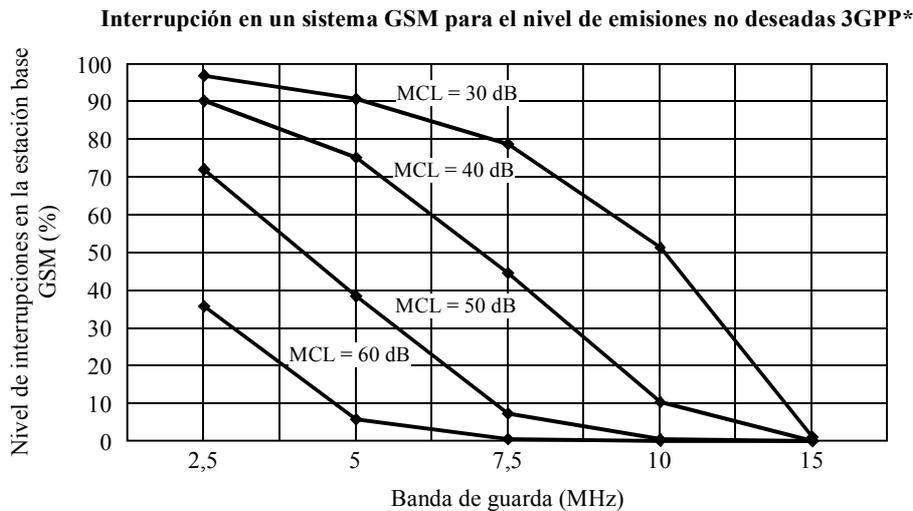
- la pérdida de acoplamiento mínima entre estaciones base BS-BS;
- el nivel de emisiones no deseadas de las estaciones base WCDMA;
- el valor de la banda de guarda entre las bandas WCDMA 1800 y PCS 1900.

También se ha analizado qué ocurre si se desplaza la posición geográfica de las estaciones base (véase el § 4.1.2).

4.1.1.1 Efecto de la pérdida de acoplamiento mínima entre las estaciones base BS-BS sobre las interrupciones en un sistema GSM

Se ha analizado el efecto de la pérdida de acoplamiento mínima entre el sistema WCDMA y las antenas de las estaciones GSM, sobre la pérdida de capacidad del sistema GSM. Dado que el valor de MCL de 30 dB que se especifica en 3GPP TS 25.104 es un valor que refleja el caso peor, en este estudio se han considerado valores superiores de MCL⁵. En la Fig. 4 se presentan los resultados para valores de MCL de 40 dB, 50 dB y 60 dB. Se ha podido comprobar que cuando se dispone de una banda de guarda de 5 MHz, la pérdida de capacidad del sistema GSM se puede reducir hasta un nivel de aproximadamente el 6% si se considera un valor de MCL de 60 dB.

FIGURA 4



* Véase la Nota de pie de página³.

Rap 2031-04

4.1.1.2 Efecto de las emisiones no deseadas de una estación base WCDMA sobre las interrupciones en un sistema GSM

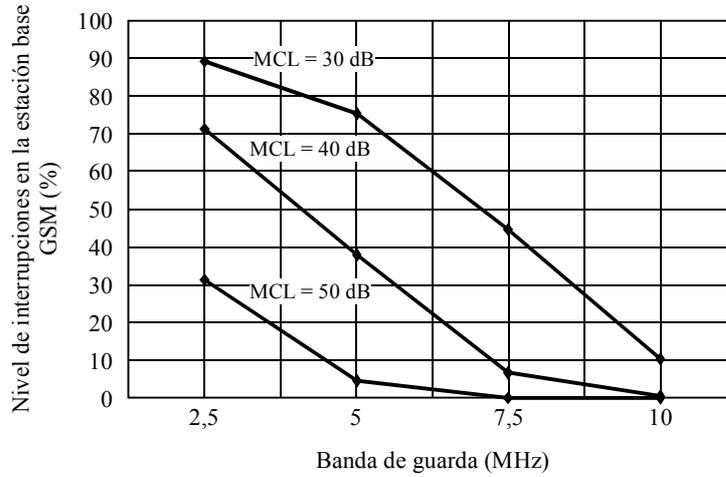
Se han realizado el mismo conjunto de simulaciones de Monte Carlo para el supuesto de un nivel inferior de emisiones no deseadas de la estación base WCDMA (se han añadido márgenes de 10 dB y de 20 dB al nivel de emisiones no deseadas 3GPP para tener en cuenta filtrado adicional en el transmisor de la estación base WCDMA para un desplazamiento de frecuencia mayor que 7,8 MHz).

En la Fig. 5 (margen de 10 dB) y en la Fig. 6 (margen de 20 dB) se representa el nivel de interrupciones para valores de MCL de 30 dB (especificaciones 3GPP), 40 dB y 50 dB. Los resultados muestran que para una banda de guarda de 5 MHz entre las bandas de GSM y WCDMA que se explotan con sentidos dúplex inversos, el nivel de interrupciones GSM es menor del 5% para un margen de 10 dB y para MCL igual o superior a 50 dB. Cuando se aplica un margen de 20 dB, es suficiente un valor de MCL de 40 dB para reducir la interrupción del sistema GSM a niveles por debajo del 5%.

⁵ Antenna-to-antenna Isolation Measurements – 3GPP TSG RAN WG4 – Allgon – TSG R4 No. 8 (99)631 [octubre de 1999].

FIGURA 5

Interrupciones en un sistema GSM para niveles de emisiones no deseadas de la estación base WCDMA 10 dB inferiores a las especificaciones 3GPP y desplazamientos de frecuencia superiores a 7,8 MHz*



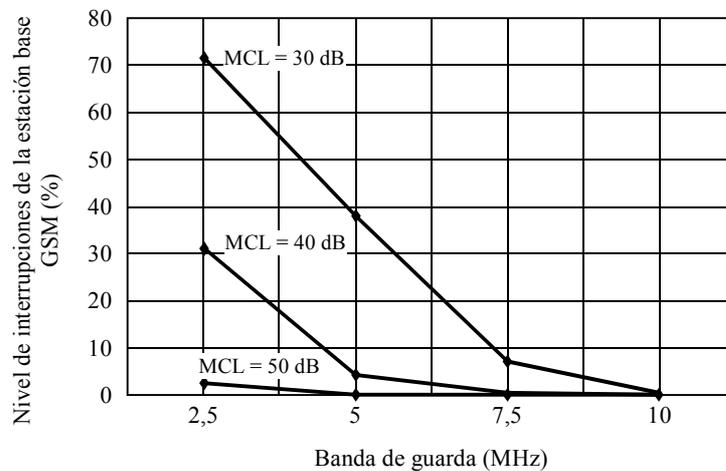
* Véase la Nota de pie de página³.

Rap 2031-05

Comparadas con la Fig. 4, las Figs. 5 y 6 muestran que la MCL y el filtrado adicional en la estación base WCDMA tienen un efecto cuantitativo equivalente sobre las interrupciones del enlace ascendente del sistema GSM, por lo que es posible un compromiso en la utilización de ambos factores de mitigación.

FIGURA 6

Interrupciones en un sistema GSM para niveles de emisiones no deseadas de la estación base WCDMA 20 dB inferiores a las especificaciones 3GPP y desplazamientos de frecuencia superiores a 7,8 MHz*



* Véase la Nota de pie de página³.

Rap 2031-06

4.1.1.3 Estadísticas de los niveles de potencia

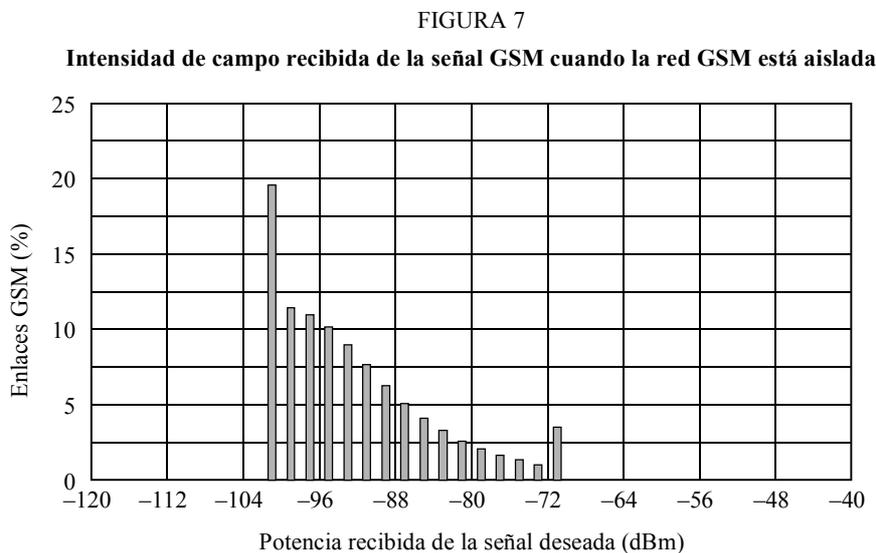
En este punto se propone realizar estudios adicionales del escenario de interferencia entre estaciones base BS-BS coubicadas analizando las estadísticas de la potencia recibida en el BTS GSM.

Los niveles de la señal ascendente GSM interferida y de la señal de la estación base WCDMA interferente se han calculado a partir de las simulaciones considerando varios escenarios (variando la MCL, el filtrado adicional y el tamaño de la célula). En este punto se presentan las estadísticas resultantes. El objetivo del análisis era analizar con más detalle la influencia del aislamiento de las antenas (modelado mediante el parámetro MCL) y del filtrado adicional del BTS WCDMA.

Una comprensión cabal de estas distribuciones ayudará a entender el papel que juega el mecanismo de control de potencia GSM en la mitigación de la interferencia WCDMA.

Solamente GSM (sin interferencia WCDMA; radio de célula = 577 m)

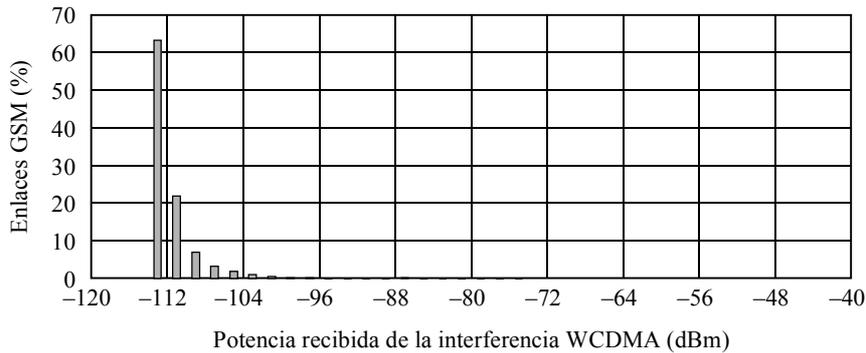
Las Figs. 7 y 8 muestran la distribución del nivel de potencia de señal deseada GSM y de la potencia interferente intrasistema recibida en el BTS GSM respectivamente. La estrecha distribución que se obtiene para la distribución de la potencia intrasistema de la Fig. 8 muestra que el sistema GSM consigue un nivel de interferencia intrasistema comprendido entre -114 dBm y -110 dBm para más del 85% de los enlaces ascendentes.



Rap 2031-07

La Fig. 7 muestra que una vez que finaliza el bucle de control de potencia GSM, todos los enlaces GSM reciben una potencia superior a -102 dBm, es decir, 5 dB por encima del nivel de sensibilidad. Por lo tanto, incluso cuando el sistema GSM se encuentra aislado de cualquier interferencia WCDMA, es un sistema limitado por la interferencia (interferencia intrasistema).

FIGURA 8
Interferencia intrasistema GSM cuando la red GSM está aislada



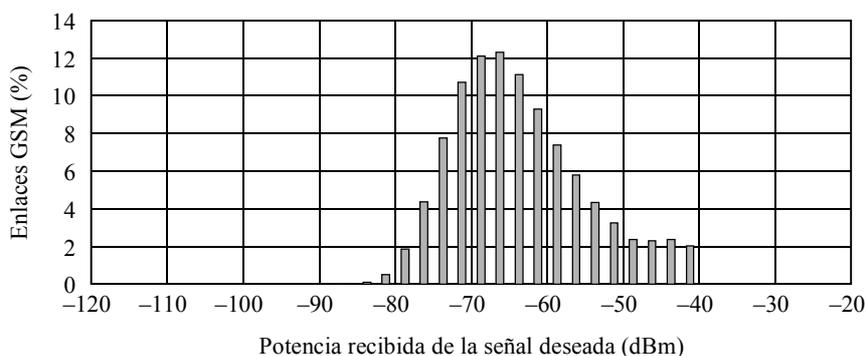
Rap 2031-08

Interferencia WCDMA (MCL = 30 dB incluyendo las ganancias de las antenas; ACLR_{7,8 MHz} = 63,7 dB; radio de célula = 577 m)

Cuando se aplica la interferencia WCDMA, la interferencia entre sistemas causada por la emisión de las estaciones base WCDMA se añade a la interferencia intrasistema GSM (véase la Fig. 10). Al tenerse en cuenta los valores de MCL y ACLR conforme a las especificaciones 3GPP, las simulaciones de Monte Carlo muestran que para más del 99% de los enlaces ascendentes GSM, las señales GSM deseadas se reciben con potencias superiores a -80 dBm (es decir, 27 dB por encima de la sensibilidad), tal como se desprende de la Fig. 9. Con estos resultados, el caso peor para dicho escenario sería considerar una potencia de señal deseada de -80 dBm, pues menos del 1% de los enlaces GSM presentan una potencia de señal deseada menor o igual a -80 dBm. Tal es el caso de los usuarios GSM situados lo más alejado posible de su estación base.

En ese caso, todas las potencias de transmisión de estaciones móviles GSM son iguales o casi iguales a la potencia máxima de transmisión (es decir, 30 dBm), lo cual significa que el bucle de control de potencia GSM está saturado debido a los elevados niveles de interferencia procedentes de las estaciones base WCDMA. En dicho caso particular, las interrupciones GSM alcanzan un nivel inadmisibles del 90%.

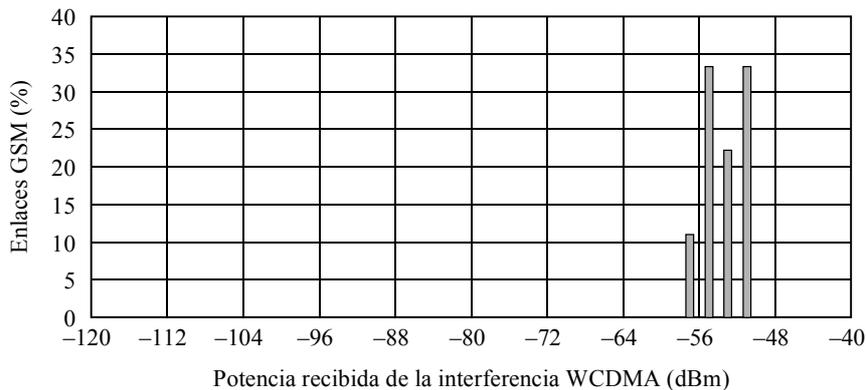
FIGURA 9
Intensidad de campo recibida de la señal GSM para una protección GSM de acuerdo con los requisitos vigentes



Rap 2031-09

FIGURA 10

Interferencia WCDMA para una protección GSM de acuerdo con los requisitos vigentes



Rap 2031-10

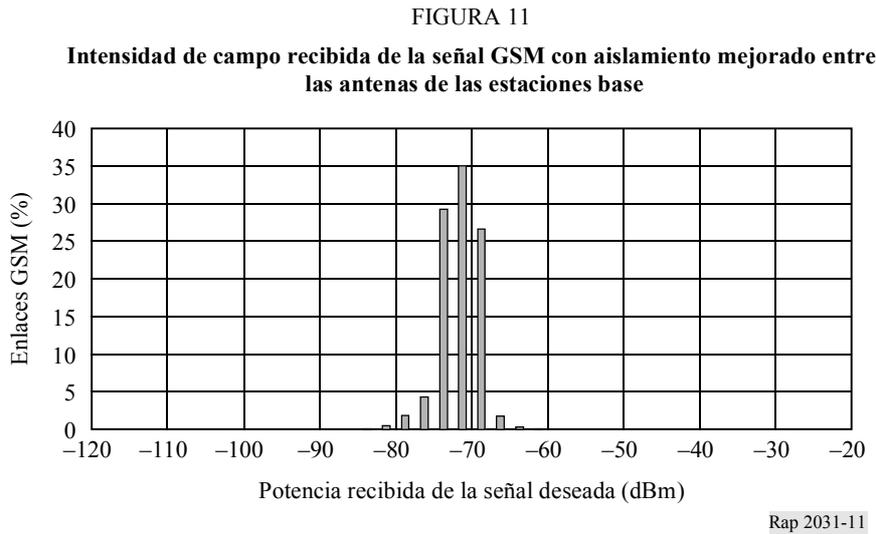
Nótese que la distribución de la potencia interferente de la Fig. 10 es estrecha. Ello valida el enfoque del cálculo determinístico de la interferencia de la estación base WCDMA sobre las estaciones base GSM⁶. Por el contrario, la distribución de la potencia de la señal deseada es más amplia, lo cual significa que el supuesto de potencia deseada recibida utilizada en los cálculos determinísticos debe ser validada cuidadosamente comparándola con la distribución de potencia real. En tal circunstancia, un caso peor de intensidad de campo deseada recibida 27 dB por encima del nivel de sensibilidad ocurrirá con una probabilidad inferior al 1%.

Interferencia WCDMA (MCL = 60 dB, incluidas las ganancias de las antenas; ACLR_{7,8 MHz} = 63,7 dB; radio de célula = 577 m)

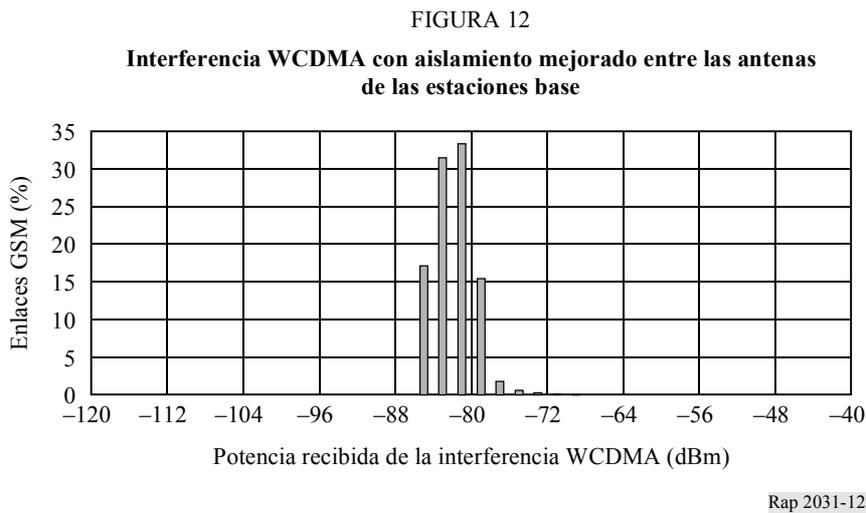
Cuando se aumentan los aislamientos de las antenas del BTS GSM y de la estación base WCDMA a un valor más realista de 60 dB, el nivel de la interferencia WCDMA disminuye en el mismo orden de magnitud. Ello confirma que la distribución de la interferencia global de una estación base WCDMA coubicada con el BTS GSM interferida es dominante frente a otras contribuciones de interferencias entre sistemas de estación base WCDMA más alejadas, así como frente a la interferencia intrasistema.

Gracias a dicha reducción de potencia interferente, aumenta la eficiencia del control de potencia GSM. En la Fig. 11 se aprecia que la parte derecha de la distribución de la potencia deseada se acorta en comparación con la de la Fig. 12. Ello puede explicarse porque los usuarios GSM más próximos a su estación base pueden reducir su potencia de transmisión a valores 30 dB inferiores gracias al mecanismo de control de potencia.

⁶ La distribución de la potencia interferente se extiende sobre 6 dB debido al factor de reutilización de frecuencia de 9 empleado en la red GSM simulada y a la pendiente de 0,68 dB/200 kHz de ACLR de la estación base WCDMA. En la Fig. 10 se ilustra la reducción de la potencia interferente gracias a la reutilización de frecuencia GSM.



La Fig. 11 también muestra que el sistema GSM se puede operar incluso en condiciones de limitación por interferencia. Menos del 1% de los enlaces ascendentes GSM experimentarán valores de potencia recibida inferiores a -80 dBm.



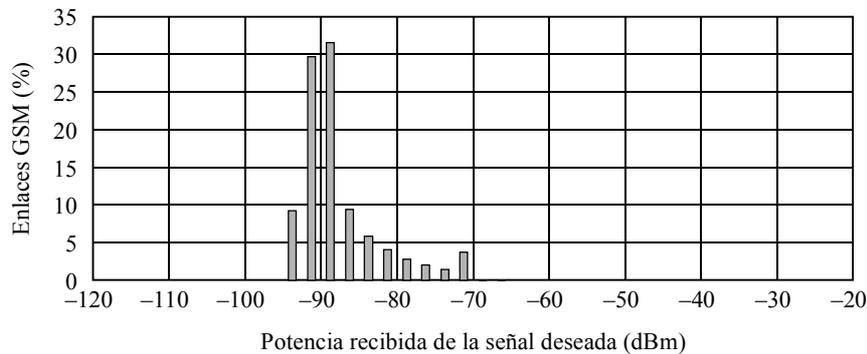
Interferencia WCDMA (MCL = 60 dB incluyendo las ganancias de las antenas; $ACLR_{7,8 \text{ MHz}} = 83,7 \text{ dB}$; radio de célula = 577 m)

Cuando se considera un filtrado adicional de las emisiones no deseadas de la estación base WCDMA de 20 dB para separación de frecuencias superiores a 7,8 MHz, las interrupciones del sistema GSM pueden reducirse a niveles comparables a los que se encuentran en sistemas GSM completamente aislados de interferencia WCDMA. En las Figs. 13 y 14 puede apreciarse, en comparación con las Figs. 7 y 8, que las distribuciones de potencia han convergido aún más hacia las distribuciones de potencia observadas cuando no existe interferencia WCDMA.

Estas observaciones confirman el hecho de que cuando se consideran valores de MCL y características de filtros de emisión WCDMA realistas, se consigue aislar el sistema GSM de la interferencia WCDMA.

FIGURA 13

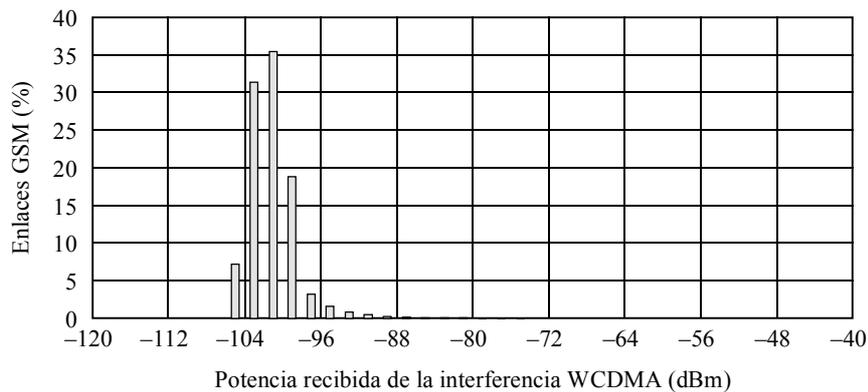
Intensidad de campo recibida de la señal GSM con aislamiento mejorado entre las antenas de las estaciones base y filtrado adicional de las emisiones no deseadas WCDMA



Rap 2031-13

FIGURA 14

Interferencia WCDMA con aislamiento mejorado entre las antenas de estaciones base coubicadas y filtrado adicional de las emisiones no deseadas WCDMA



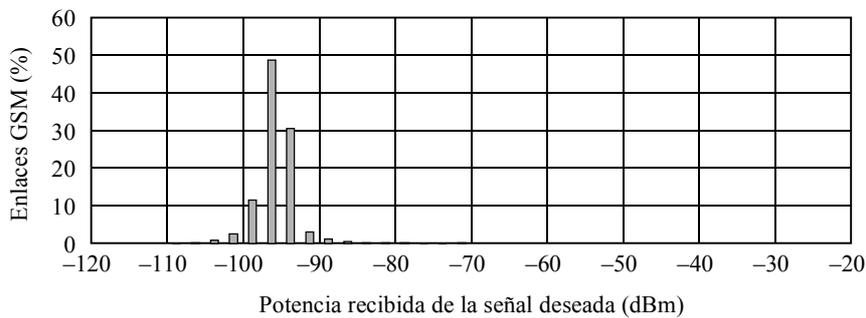
Rap 2031-14

Interferencia WCDMA (MCL = 65 dB incluyendo las ganancias de las antenas; $ACLR_{7,8 \text{ MHz}} = 83,7 \text{ dB}$; radio de célula = 2 400 m)

En este caso, se analiza la influencia que sobre las distribuciones de potencia tiene que existan células de mayor radio. Se ha estudiado el caso de una célula de 2400 m de radio, cuyos resultados se presentan en las Figs. 15 y 16. Cuando se aplica un aislamiento de 65 dB entre las dos antenas que se interfieren, y se disminuye en 20 dB los requisitos de emisiones no deseadas de las estaciones base WCDMA respecto a los valores actualmente especificados, para separaciones de frecuencia superiores a 7,8 MHz, las interrupciones del enlace ascendente GSM son de alrededor del 4%. Ello vuelve a demostrar que cuando se utilizan métodos de ingeniería de coubicación para mejorar el aislamiento entre antenas y se consideran niveles realistas de emisiones no deseadas de las estaciones base WCDMA para desplazamientos de frecuencia superior a 7,8 MHz, el nivel de interrupciones se reduce a niveles razonables incluso en el caso de células de mayor tamaño.

FIGURA 15

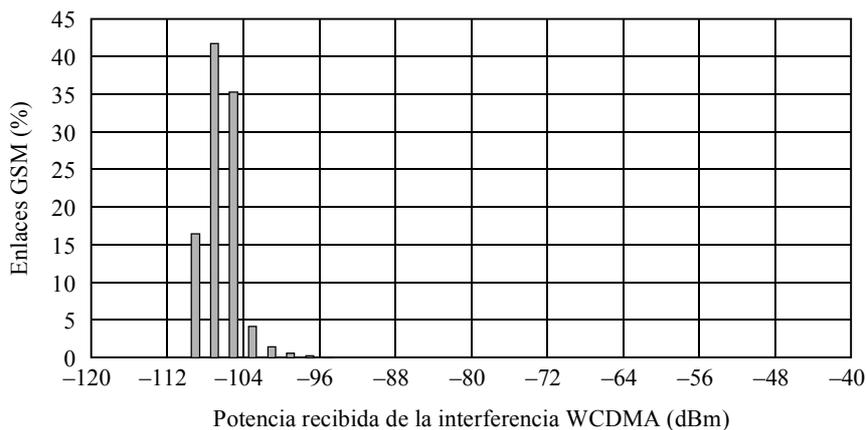
Intensidad de campo recibida de la señal GSM para células más grandes, con aislamiento mejorado entre las antenas de las estaciones base y filtrado adicional de las emisiones no deseadas WCDMA



Rap 2031-15

FIGURA 16

Interferencia WCDMA para células más grandes, con aislamiento mejorado entre las antenas de estaciones base coubicadas y filtrado adicional de las emisiones no deseadas WCDMA



Rap 2031-16

Las distribuciones de potencia utilizadas en las simulaciones muestran también que las señales GSM se reciben por encima del nivel de sensibilidad (más de 20 dB por encima en algunos escenarios) debido a la adaptación del sistema GSM con control de potencia al entorno interferente. Ello permite concluir que la intensidad de campo de la señal GSM recibida que se debe utilizar en los cálculos determinísticos debe elegirse de conformidad con el escenario de despliegue considerado y teniendo en cuenta los mecanismos de adaptación típicos GSM, tales como el control de potencia. Las simulaciones de Monte Carlo han sido una herramienta muy valiosa en el análisis de los supuestos de los cálculos determinísticos.

Las distribuciones de potencia extraídas de las simulaciones de Monte Carlo confirman que cuando se utilizan valores de MCL y características de los filtros de emisión WCDMA realistas, puede conseguirse un aislamiento total de los sistemas GSM respecto a la interferencia WCDMA, incluso para células de radio superior a 577 m. Por ejemplo, un valor de MCL de 60 dB y un $ACLR_{7,8 \text{ MHz}}$ de 83,7 dB proporcionaría un aislamiento del sistema GSM de la interferencia WCDMA para células de un radio de 577 m, tal como se ha mostrado en las Figuras anteriores.

4.1.2 Distancia de separación mínima de 58 m, 115 m, 289 m y 577 m entre las dos estaciones base que se interfieren

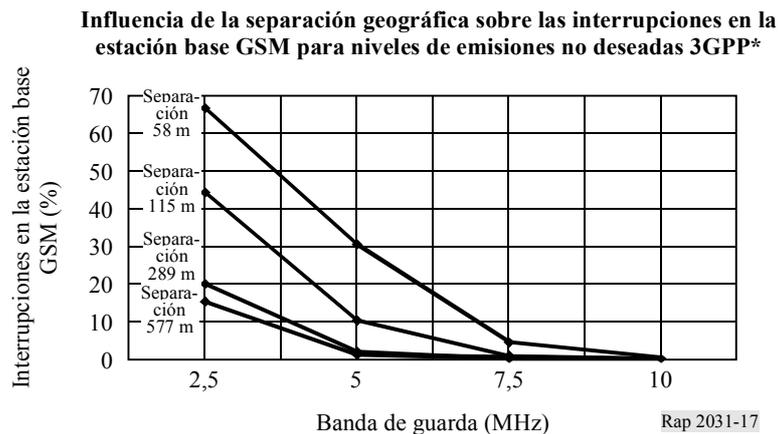
La separación geográfica entre las estaciones base de las redes que se interfieren (véase el § 2.1 de la metodología de simulación que se detalla en el Apéndice 1) se ha aumentado desde 0 m (cubicación) hasta el radio de la célula (máxima separación). Se ha estudiado la influencia de la separación geográfica sobre el nivel de interrupciones en la estación base GSM.

La Fig. 17 muestra el nivel de interrupciones de la estación base GSM para separaciones de 58 m, 115 m, 289 m y 577 m (valor del radio de la célula en las simulaciones) para emisiones no deseadas de la estación base WCDMA al nivel actualmente especificado.

Los resultados de la simulación muestran que el nivel de interrupciones es inferior al 2% para separaciones de 289 m y 577 m, cuando las emisiones no deseadas de la estación base WCDMA están al nivel de las especificaciones 3GPP.

Si los niveles de las emisiones no deseadas de la estación base WCDMA se reducen 10 dB, las simulaciones muestran que las interrupciones en la estación base GSM no serán superiores al 0,2% para una banda de guarda de 5 MHz, cualquiera que sea la separación geográfica de entre el conjunto de valores antes mencionados.

FIGURA 17



* Véase la Nota de pie de página³.

4.1.3 Resumen del análisis de Monte Carlo para el escenario de interferencia entre estaciones base BS-BS

El análisis de Monte Carlo ha mostrado que en sistemas reales el nivel de interrupciones en las estaciones base GSM coubicadas con estaciones base WCDMA puede reducirse, cuando sea necesario, utilizando las técnicas siguientes:

- mejora de la pérdida de acoplamiento mínima entre las antenas de las estaciones base mediante ingeniería de emplazamientos;
- filtrado adicional a los límites o máscaras de emisión de la estación base WCDMA;
- separación geográfica entre las estaciones base que se interfieren.

Sobre la base del anterior análisis de Monte Carlo, el Cuadro 3 muestra posibles conjuntos de valores de MCL y de filtrado de antena para conseguir un nivel de interrupciones en la estación base GSM coubicada inferior al 5% con una banda de guarda de protección entre dos bandas adyacentes de 5 MHz y una célula de 577 m de radio.

CUADRO 3

**Conjunto de valores de MCL y de filtrado adicional
que permiten conseguir un nivel de interrupciones
inferior al 5% en sistemas GSM coubicados**

MCL (dB)	Filtrado adicional (dB)
60	0
50	10
40	20

La coordinación entre los operadores coubicados puede asimismo permitir la reducción de la interferencia a niveles aceptables.

4.2 Escenario de interferencia entre estaciones móviles MS-MS

Las simulaciones de Monte Carlo para una banda de guarda de 5 MHz entre la banda del enlace descendente WCDMA y la banda del enlace ascendente GSM de conformidad con los parámetros que se detallan en el Apéndice 1, han demostrado que el enlace descendente WCDMA no sufre una pérdida de capacidad significativa cuando se considera la interferencia producida por estaciones móviles GSM.

Se ha supuesto la coubicación de las estaciones base y se ha implementado una única portadora GSM por estación base. Asimismo, se ha tenido en cuenta analíticamente la influencia de otras tres portadoras reduciendo la relación ACI (ACIR) de la estación móvil GSM respecto al equipo de usuario WCDMA en 3,2 dB⁴.

5 Conclusiones

Considerando los aspectos técnicos de las disposiciones de canales adyacentes entre sistemas GSM y WCDMA en las bandas de 1 800 MHz, tanto el método de Monte Carlo como el análisis determinístico concluyen que la coubicación de estaciones base GSM y WCDMA con una banda de guarda de 5 MHz da lugar a una interferencia inadmisibles en la estación base GSM con las actuales especificaciones 3GPP.

Los cálculos determinísticos muestran que para facilitar la coexistencia sin necesidad de coordinación, la banda de guarda debe ser superior a 5 MHz.

Sin embargo, las simulaciones de Monte Carlo permiten concluir que una separación geográfica moderada entre las estaciones base GSM y WCDMA permite la coexistencia de sistemas WCDMA y GSM con una banda de guarda de 5 MHz.

Las simulaciones de Monte Carlo muestran además que la coubicación podría ser posible con una banda de guarda de 5 MHz si se mejoran las pérdidas de acoplamiento entre las antenas de las estaciones base y/o los límites de emisiones no esenciales para la protección de los servicios en bandas adyacentes. Las simulaciones de Monte Carlo han mostrado que para células de 577 m de radio, una mejora total de 30 dB superior a las actuales especificaciones 3GPP permitiría la coubicación de emplazamientos de estaciones base GSM y WCDMA con una banda de guarda de 5 MHz.

Apéndice 1

Simulaciones de Monte Carlo

1 Metodología

La metodología de simulación se basa en la técnica de Monte Carlo, es decir, una técnica estadística que considera muchos instantes independientes en el tiempo. Para cada instante, o ensayo de simulación, se construye un escenario utilizando una serie de variables aleatorias (por ejemplo, las posiciones de los usuarios en el sistema). Si se considera un número suficiente de ensayos, la probabilidad de que ocurra un evento (como por ejemplo, la probabilidad de que un usuario sea interferido) puede estimarse con una gran precisión.

En la metodología utilizada, se considera que dos operadores que no se han coordinado (con sistemas WCDMA 1800 y GSM 1900 respectivamente) realizan un despliegue de red en la misma zona geográfica, cada uno con su propia estructura de células hexagonales. En general, los usuarios se distribuyen en el sistema celular de forma uniforme. Inicialmente están asignados a una estación base (GSM) o a varias estaciones base (en las tecnologías WCDMA el terminal puede realizar un traspaso con continuidad (*soft handover*) si el balance del enlace desde dos o más estaciones base resulta atractivo). Para cada sistema WCDMA, se utiliza una ventana de traspaso con continuidad para determinar si la estación móvil puede comunicarse con varias estaciones base. El tamaño de la ventana determina la diferencia entre la señal recibida con mayor intensidad y la señal más débil permitida. En el enlace ascendente, se supone que existe diversidad de selección con conmutación. En el enlace descendente, se asume una combinación que produce una relación máxima – las relaciones C/I se suman para determinar la relación C/I resultante de la estación móvil.

Una vez que se ha asignado a cada estación móvil una o varias estaciones base, se calcula la intensidad de campo de la señal recibida en cada estación base (enlace ascendente) o en cada estación móvil (enlace descendente). Se consideran las estaciones base y móviles de ambos operadores.

La señal recibida consta de las intensidades de campo de las señales deseadas e interferentes. La señal interferente es una combinación de interferencia intrasistema y entre sistemas, en la que la interferencia intrasistema consta de:

- interferencia generada por otros enlaces de comunicación en la misma célula. En este caso, se tiene en cuenta un factor de ortogonalidad (sólo en el enlace descendente WCDMA);
- interferencia generada por enlaces de comunicación en todas las células circundantes;
- interferencia generada por canales de difusión (sólo en el enlace descendente);

y la interferencia entre sistemas consta de:

- interferencia generada por todos los enlaces de comunicación del segundo operador.

Los mecanismos de interferencia entre sistemas considerados incluyen las emisiones no deseadas y el bloqueo del receptor. En este análisis se supone que los operadores utilizan canales adyacentes y que dichos mecanismos se corresponden con la ACLR y la selectividad de canal adyacente (ACS). La combinación de ambos efectos es la relación ACIR y puede expresarse como:

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}}$$

Una vez que se han calculado los niveles de interferencia, se ejecuta un bucle de control de potencia. El algoritmo de control de potencia WCDMA y GSM basado en la relación C/I es un proceso iterativo que converge de forma positiva cuando cada enlace de comunicación consigue su relación C/I objetivo. El algoritmo utilizado para los enlaces directo e inverso utiliza un paso cuyo tamaño es adaptativo. En cada iteración, la potencia suministrada a cada enlace se actualiza con un valor que es función de la diferencia entre la C/I real y la C/I objetivo.

Cuando el control de potencia ha convergido, el sistema asume que está en estado estacionario y se realizan diversos registros. La capacidad del sistema puede definirse de varias formas, utilizando el criterio de las interrupciones del sistema o el criterio del aumento del ruido.

Se considera que se produce una interrupción del sistema cuando un enlace de comunicaciones no alcanza la relación $C/(N + I)$ requerida.

Un usuario móvil experimenta una interrupción si:

- está indisponible, es decir, la intensidad de campo no es suficiente para la sensibilidad del receptor. Ello ocurre cuando el usuario móvil está demasiado alejado de la estación base;
- está interferido, es decir, se cumple el requisito de sensibilidad, pero la relación C/I está por debajo de la C/I requerida.

La interrupción del sistema es difícil de obtener teóricamente, pero puede estimarse mediante simulación:

$$\text{Interrupción del sistema} = \frac{\text{Número de usuarios interferidos} + \text{Número de usuarios no disponibles}}{\text{Número total de usuarios}}$$

2 Supuestos de la simulación de Monte Carlo

En el Cuadro 4 se señalan algunas de las características de los sistemas WCDMA 1800^{2,4} y GSM 1900⁷ utilizadas como parámetros de entrada en las simulaciones.

⁷ Radio transmission and reception – 3GPP TS 05.05. v7.5.0.

CUADRO 4

Características de los sistemas WCDMA 1800 y GSM 1900

	WCDMA 1800	GSM 1900
<i>Servicios</i>	Conversación a 8 kbit/s (factor de actividad del 100%)	
Relación de protección (dB)	-18,9 ⁽¹⁾	6
Velocidad de chips (Mchip/s)	3,84	-
<i>Enlace radioeléctrico</i>		
Umbral de ruido (dBm)	-96 (MS)	-113 (BS)
Sensibilidad (dBm)	-114,9 (MS)	-107 (BS)
Potencia de Tx mínima (dBm)	15 (BS)	0 (MS)
Potencia de Tx máxima (dBm)	Total 43 30 por usuario (BS)	30 (MS)
Ganancia de la antena de la estación móvil (MS) (dBi)	0	
Ganancia de la antena de la estación base (BS) (dBi)	11	

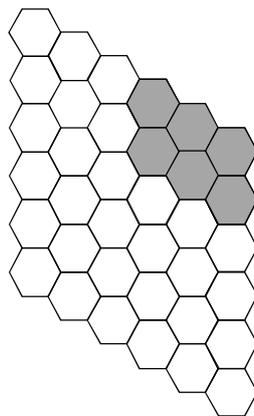
⁽¹⁾ $E_b/N_0 = 7,9$ dB; ganancia de procesamiento 26,8 dB.

2.1 Configuración de células en las simulaciones

- En las simulaciones se utilizan células omnidireccionales;
- se considera un factor de reutilización de frecuencias de 9 para GSM;
- se utiliza una red de 36 células tal como se señala en la Fig. 18.

FIGURA 18

Estructura básica de 36 células de cada operador y grupo de 9 células del operador GSM



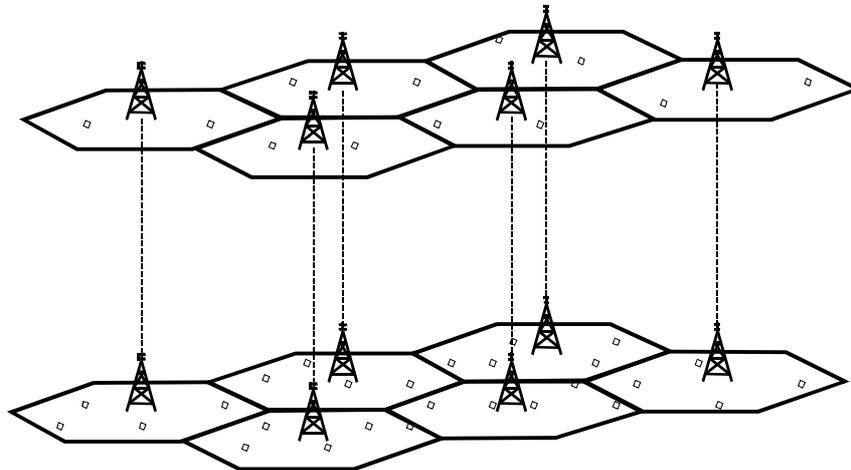
Rap 2031-18

- Se utiliza una técnica envolvente para conseguir el efecto de una estructura celular continua;
- los sistemas se despliegan de conformidad con el modelo macro-macro;
- el radio de la célula es de 577 m;

- la separación geográfica entre operadores es un parámetro de la simulación (véanse las Figs. 19 y 20).

FIGURA 19

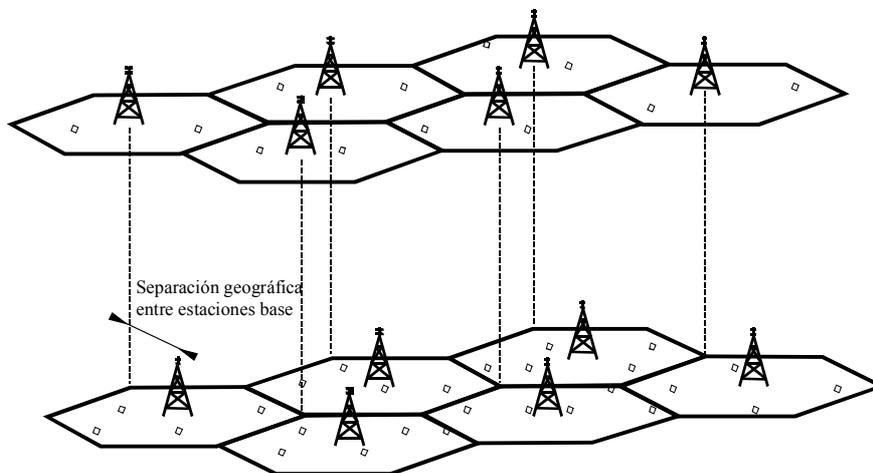
Configuración de la simulación con separación mínima entre estaciones base



Rap 2031-19

FIGURA 20

Configuración de la simulación con separación máxima entre estaciones base



Rap 2031-20

2.2 Propagación

2.2.1 Pérdida de acoplamiento mínima

Los valores de la MCL considerados en este estudio son conformes a las hipótesis de 3GPP²:

- escenario MS-BS: 70 dB (incluyendo las ganancias de las antenas);
- escenario BS-BS: 30 dB (incluyendo las ganancias de las antenas);
- escenario MS-MS: 40 dB (incluyendo las ganancias de las antenas).

2.2.2 Modelo de propagación MS-BS²

En el entorno macro, la potencia recibida en el enlace descendente o ascendente puede expresarse como:

$$R_x_PWR = T_x_PWR - \text{Máx (pérdida de trayecto} - G_Tx - G_Rx, MCL)$$

donde:

- R_x_PWR: potencia de la señal recibida
- T_x_PWR: potencia de la señal transmitida
- G_{Tx}: ganancia del transmisor (Tx) de la antena
- G_{Rx}: ganancia del receptor (Rx) de la antena
- MCL: pérdida de acoplamiento mínima.

Se han supuesto una ganancia de antena de 11 dB (incluyendo las pérdidas del cable) para la estación base y 0 dB para la estación de usuario.

En el estudio sólo se han considerado modelos de propagación de macro células:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida de trayecto} = & 40(1 - 4 \times 10^{-3} D_{hb}) \log_{10}(R) - 18 \log_{10}(D_{hb}) + 21 \log_{10}(f) \\ & + 80 \text{ dB} + \log F \end{aligned}$$

donde:

- R*: distancia de separación entre estación base y estación móvil (km)
- f*: frecuencia portadora (MHz)
- D_{hb}*: altura de la antena de la estación base (m) medida desde nivel medio de los tejados
- $\log F$: distribución log-normal del efecto de sombra, que presenta una desviación típica de 10 dB.

La altura de la antena de la estación base es de 15 m por encima del nivel medio de los tejados (*D_{hb}* = 15 m). Considerando una frecuencia portadora de 1800 MHz y una altura de antena de estación base de 15 m, la expresión de la pérdida de trayecto puede simplificarse y queda:

$$\text{Pérdida de trayecto} = 127,2 + 37,6 \log_{10}(R) + \log F$$

2.2.3 Modelo de propagación entre estaciones móviles MS-MS

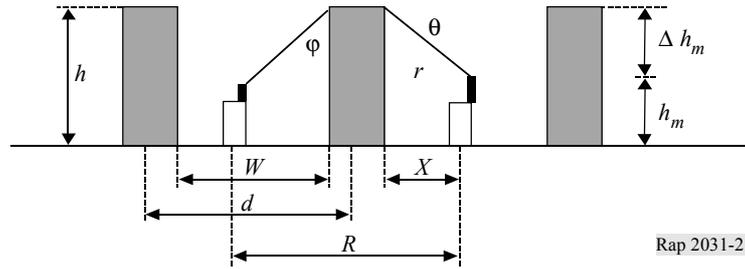
El modelo de propagación MS-MS debe ser válido para antenas transmisora y receptora situadas a la misma altura. A tal fin, se utiliza el modelo basado en la fórmula de pérdida de trayecto enunciada por H. Xia^{8, 9}, más específicamente el modelo en el que la antena de la estación base está situada por debajo de la altura media de los tejados. La diferencia con la fórmula inicial es que la altura de la antena de la estación base se sustituye por la altura de la estación móvil, es decir, 1,5 m. Se considera que ésta es una aproximación razonable para el escenario considerado.

⁸ Xia, H. H. [noviembre de 1997] A simplified analytical model for predicting path loss in urban and suburban environments. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*. Vol. 46, 4, p. 1040-1046.

⁹ ETSI STC SMG2 UMTS L1 No. 9 Tdoc 679/98.

FIGURA 21

Cálculo de la pérdida de propagación – Modelo de Xia adaptado al caso MS-MS



Rap 2031-21

Pérdida de trayecto =

$$-10 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{2\sqrt{2\pi R}} \right)^2 - 10 \log_{10} \left[\frac{\lambda}{2\pi^2 r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right] - 10 \log_{10} \left\{ \left[\frac{d}{2\pi R} \right]^2 \frac{\lambda}{\sqrt{(\Delta h_m)^2 + d^2}} \left(\frac{1}{\phi} - \frac{1}{2\pi + \phi} \right)^2 \right\}$$

$$\begin{cases} r = \sqrt{(\Delta h_m)^2 + x^2} \\ x = \frac{w}{2} \\ \theta = \arctg \left(\frac{\Delta h_m}{x} \right) \\ \phi = \arctg \left(\frac{\Delta h_m}{d} \right) \end{cases}$$

donde:

h : altura media de los edificios (12 m)

r : distancia entre el último punto de difracción y la altura de la estación móvil

h_m : altura de la estación móvil (1,5 m)

x : distancia horizontal entre el último punto de difracción y la altura de la estación móvil (15 m)

R : distancia entre dos estaciones móviles

d : separación media entre edificios (80 m)

w : anchura de la calle (30 m).

$$\Delta h_m = h - h_m$$

Para tener en cuenta el hecho probable de que dos estaciones móviles separadas menos de 100 m tengan LoS entre ellas, se aplica el modelo de espacio libre con una probabilidad que es función de la distancia entre las dos estaciones móviles. El modelo de espacio libre aplicado es el siguiente:

$$Pérdida de trayecto = 38,5 + 20 \log_{10}(R)$$

2.2.4 Modelo de propagación entre estaciones base BS-BS

Puesto que se supone que las dos redes de estaciones base están desplegadas en un entorno macro celular, se ha utilizado el modelo de propagación de espacio libre con una pendiente de 2,0 para caracterizar la propagación entre las dos estaciones base que se interfieren:

$$\text{Pérdida de trayecto} = 38,5 + 20 \log_{10}(d)$$

donde d es la distancia entre las dos estaciones base.

2.3 Criterios de selección de células

En el caso del sistema WCDMA, el modelo de traspaso es un traspaso con continuidad (*soft handover*) no ideal. El conjunto activo para el equipo de usuario se selecciona de entre un conjunto de estaciones base candidatas para el traspaso. Dicho conjunto se compone de estaciones base cuyas pérdidas de trayecto están dentro del margen de traspaso, es decir, estaciones base cuyo piloto se recibe con mayor intensidad que el piloto de la estación base de más intensidad menos el margen de traspaso. Se supone un margen de traspaso con continuidad de 3 dB. El conjunto activo de estaciones base se selecciona aleatoriamente de entre las estaciones base candidatas; un equipo de usuario puede estar conectado simultáneamente a un máximo de dos estaciones base.

En el sistema GSM, se selecciona la estación base con la mayor ganancia de enlace con el usuario.

2.4 Modelado de la ACIR

Las contribuciones de la ACS y ACLR del sistema GSM a los valores de ACIR de los escenarios MS-MS y BS-BS puede despreciarse en comparación con la contribución de los ACR y ACLR del sistema WCDMA 1800. Por lo tanto, la expresión de la ACIR del § 1 se simplifica de la forma siguiente:

$$ACIR_{WCDMA\ 1800\ BS} \rightarrow GSM\ BS = ACLR_{WCDMA\ 1800\ BS}$$

$$ACIR_{GSM\ MS} \rightarrow WCDMA\ 1800\ MS = ACS_{WCDMA\ 1800\ MS}$$

2.4.1 Máscara de emisión de la estación base WCDMA

La especificación 3GPP TS 25.104³ contiene límites máximos o máscaras específicas para las emisiones fuera de banda de estaciones base o equipos de usuario WCDMA, que se establecieron en el contexto del funcionamiento en la banda de frecuencias WCDMA. Dichas máscaras pueden traducirse a valores de ACIR cuando el sistema interferido es un sistema GSM de banda estrecha.

En el Cuadro 5 se muestran los valores de ACIR calculados a partir de las especificaciones actuales de 3GPP para estaciones base WCDMA que interfieren a una estación base GSM.

CUADRO 5

Máscara de emisión de una estación base WCDMA

Separación entre portadoras (MHz)	Máscara de emisión (dB)
7,8	63,7
8,0	64,4
8,2	65
8,4	65,7
8,6	66,4
8,8	67,1
9,0	67,8
9,2	68,4
9,4	69,1

Cuando se consideran diseños de filtros para la estación base, es razonable asumir para dichas separaciones de frecuencia valores de ACIR 20 dB superiores a los de las especificaciones anteriores.

2.4.2 Máscara de recepción de un equipo de usuario WCDMA

La especificación 3GPP TS 25.101¹⁰ contiene valores específicos de ACS y características de bloqueo para el receptor del equipo de usuario WCDMA, establecidas en el contexto del funcionamiento en las bandas centrales de WCDMA. Dichas máscaras o valores límite pueden traducirse en valores de ACIR cuando se trata de un sistema interferente GSM de banda estrecha que interfiere a un sistema WCDMA.

CUADRO 6

Máscara de recepción de un equipo de usuario WCDMA

Separación entre portadoras (MHz)	Máscara de emisión (dB)
7,8	37
8,0	37,3
8,2	37,6
8,4	37,8
8,6	38,1
8,8	38,4
9,0	38,7
9,2	39,0
9,4	39,2

¹⁰ UE Radio Transmission and Reception (FDD) – 3GPP TS 25.101 v3.5.0.

2.5 Cálculo de los niveles de interferencia

Estas fórmulas son válidas para el despliegue de una red que no sea de salto de frecuencia.

2.5.1 Sistema interferido WCDMA

La contribución de interferencia ($I_{GSM\ MS \rightarrow WCDMA\ MS}$) de una estación móvil (MS) GSM sobre una estación móvil (MS) WCDMA es la siguiente:

$$I_{GSM\ MS \rightarrow WCDMA\ MS} = ACIR(MS_{GSM} \rightarrow UE_{WCDMA}, f_{MS}) \times \frac{P_{MS}}{Nb_TS}$$

donde:

f_{MS} : frecuencia utilizada por la estación móvil GSM

$P_{MS,i}$: potencia recibida de la estación móvil GSM

Nb_TS : número de intervalos de tiempo por trama de la tecnología AMDT (es decir, 8 en GSM).

El factor $\frac{1}{Nb_TS}$ se deriva del hecho de que un móvil GSM sólo transmite durante $\frac{1}{Nb_TS}$ del tiempo.

La interferencia intrasistema es conforme con los supuestos de 3GPP²: en el caso de una red WCDMA en el enlace descendente se utiliza un factor de ortogonalidad de 0,4.

2.5.2 Sistema interferido PCS

La contribución de interferencia ($I_{WCDMA\ BS \rightarrow GSM\ BS}$) de una estación base (BS) WCDMA sobre una estación base (BS) GSM es la siguiente:

$$I_{WCDMA\ BS \rightarrow GSM\ BS} = ACIR(BS_{WCDMA} \rightarrow BS_{GSM}, f_{BS}) \times P_{BS}$$

donde:

f_{BS} : frecuencia utilizada por la estación base WCDMA

P_{BS} : potencia recibida de la estación base IMT-2000.

Cuando se añade la interferencia intrasistema, se supone que las células GSM están sincronizadas. La contribución de interferencia de una estación móvil cocanal se calcula como la potencia media recibida en la estación base interferida durante su intervalo de tiempo de operación. Se desprecia la contribución a la interferencia de la estación móvil del canal adyacente.

Se asume que las 4 portadoras en la misma BTS GSM están separadas entre sí 1 800 kHz (despliegue con un factor de reutilización de frecuencia de 9).

2.6 Cálculo de la C/I

La relación C/I o S/I es la relación entre la señal deseada y la interferencia total que sufre el usuario. Para un sistema WCDMA (si se utiliza el traspaso con continuidad) en el enlace descendente se asume una combinación que da lugar a una relación máxima – las relaciones C/I se suman para determinar la relación C/I resultante en la estación móvil.

2.7 Algoritmo del control de potencia

En las simulaciones se utiliza un algoritmo con pasos de C/I de tamaño variable. En este tipo de algoritmo, los niveles de potencia cambian según una relación iterativa que viene dada por:

$$Potencia[t+1] = Potencia[t] \cdot \left(A \cdot \left(\frac{\left(\frac{C}{I}\right)_{objetivo}}{\left(\frac{C}{I}\right)_{medida}[t]} \right) + B \right)$$

donde $A + B = 1$ y $A, B \geq 1$ (por ejemplo, $A = 0,9$ y $B = 0,1$). La variable t representa el índice de la iteración.

Para el sistema GSM, se añade un margen de 5 dB a la relación C/I objetivo en el enlace ascendente para modelar un control de potencia lento no ideal.

2.8 Métricas de capacidad

La capacidad del enlace descendente del sistema interferido WCDMA se define como la carga del sistema que produce un nivel de interrupciones del 5%. Se está estudiando cuál es la pérdida de capacidad de WCDMA teniendo en cuenta la interferencia procedente de usuarios GSM.

El enlace ascendente del sistema interferido GSM siempre está completamente cargado, y se observa un aumento de las interrupciones en el sistema cuando se introduce interferencia procedente de una estación base WCDMA.
