

INFORME UIT-R M.2030

Coexistencia de las tecnologías terrenales de las interfaces radioeléctricas dúplex por división en el tiempo y dúplex por división en frecuencia de las IMT-2000 alrededor de 2 600 MHz y que utilizan bandas adyacentes en la misma zona geográfica

(Cuestión UIT-R 229/8)

(2003)

1 Introducción**1.1 Introducción y esquema básico**

En este Informe se analiza la coexistencia de las interfaces de radio en modo dúplex por división de frecuencia (DDF) y dúplex por división en el tiempo (DDT) de las IMT-2000. Específicamente, se estudian las características de la interferencia entre sistemas de acceso múltiple por división de código con dispersión directa de las IMT-2000 (denominados sistemas AMDC de banda ancha, en inglés WCDMA, o acceso radioeléctrico terrenal universal DDF (UTRA, *universal terrestrial radio access*, DDF)) y sistemas CDMA DDT de las IMT-2000 (UTRA DDT) en sus dos modos, es decir, DDT de alta velocidad de chip (HCR, *high chip rate*, a 3,84 Mchip/s) DDT y DDT de baja velocidad de chip (LCR, *low chip rate*, a 1,28 Mchip/s) para numerosos escenarios.

La parte principal de este documento describe la interferencia entre estaciones de base (EB-EB), cuando existe proximidad entre ellas y cuando están coubicadas en el mismo emplazamiento. Asimismo, se estudian los casos de interferencia de estación móvil (EM) a EB, EB-EM y entre EM-EM en situaciones de proximidad.

En el § 2.4-2.5, se describen las características del transmisor y del receptor. En el § 2.8 se analiza la relación entre nivel de interferencia externa, cobertura y capacidad. En el § 3.2 se describe la metodología de los escenarios de interferencia EB-EB y EM-EM determinísticos. En el § 3.3 se describen los métodos Monte Carlo. En el § 4 se presentan los resultados y en el § 5 las conclusiones.

La lectura de los § 1, § 2.1-2.3 y § 5 permite tener una visión general de los resultados.

1.2 Campo de aplicación

Para el análisis realizado en este Informe, se ha supuesto que los sistemas DDT y DDF a 2,5 GHz tienen características similares a las de los sistemas AMDC de banda ancha y DDT HCR/LCR de la Recomendación UIT-R M.1457.

1.3 Resumen

En este Informe se hace un análisis y se presentan los resultados de los efectos de la interferencia de canal adyacente en la compatibilidad entre sistemas DDF y DDT para diversos escenarios. El estudio se basa en cálculos determinísticos para escenarios de interferencia entre EB-EB de los que se derivan la distancia o separación necesaria y/o los requerimientos de aislamiento o la gama de células admisibles. La interferencia de EM sobre EM y sobre EB se analiza mediante cálculos determinísticos y estadísticos que permiten deducir la pérdida de capacidad y/o la probabilidad de interferencia.

La viabilidad de algunos de los escenarios depende de la consecución de un determinado compromiso entre factores técnicos, reglamentarios y económicos. En este Informe se reflejan puntos de vista sobre factores tales como condiciones de propagación, densidad de usuarios y emplazamientos correspondientes a distintas alternativas posibles de compromiso. Dichos puntos de vista no excluyen en absoluto otros diferentes. Las conclusiones que se exponen a continuación sólo son el resultado de los estudios realizados en este Informe.

Debe notarse que en este Informe no se analizan mejoras potenciales que pueden conseguirse utilizando técnicas de mitigación tales como la ingeniería de emplazamientos, las antenas adaptativas, etc., y que deben ser objeto de estudios adicionales.

Principales resultados

Interferencia EB-EB: Observaciones generales

- Varios de los escenarios y valores de parámetros examinados se asocian a problemas de interferencia grave.
- Las distancias de separación se han calculado sobre un intervalo de interferencia externa admisible, en el que un valor menor de distancia de separación implica un nivel superior de interferencia externa admisible planificada que, a su vez, significa una menor cobertura y/o capacidad, así como potencias de transmisión superiores para la EM del sistema interferido.
- No existe una diferencia fundamental en la magnitud de la interferencia cuando se considera la interferencia sobre el enlace descendente DDF, o sobre el enlace ascendente DDT, o cuando se considera la interferencia del enlace descendente DDT sobre el enlace ascendente DDF en cualquiera de los escenarios analizados.
- Por lo tanto, los problemas potenciales se derivan del hecho básico de que los transmisores del enlace descendente estén geográfica y espectralmente próximos a receptores del enlace ascendente sensibles, con independencia del modo dúplex de que se trate.
- Se asumen, en la mayor medida posible, los requisitos mínimos de las especificaciones proyecto de asociación tercera generación (3GPP) sobre las características de transmisores y receptores. Debe observarse que los equipos reales pueden tener mejores características de exigencia en las especificaciones.
- En varios de los escenarios se requieren distancias de separación grandes o valores de aislamiento adicionales para conseguir condiciones de baja interferencia. Algunos escenarios presentan distancias de separación reducidas y no requieren aislamiento adicional.
- En algunos escenarios de despliegue puede establecerse un cierto compromiso entre requisitos relativos a separación y características de filtrado por un lado, y a cobertura y una mayor potencia de transmisión de la EM del sistema interferido por otro.
- Existen una serie de acciones básicas que pueden tomarse aisladamente o de forma conjunta a fin de mitigar problemas de interferencia EB-EB. Todas las acciones conllevan un cierto coste u otras dificultades que deben tenerse en cuenta, pues siempre es posible un cierto compromiso.

Interferencia EB-EB en proximidad: AMDC de banda ancha/DDT a 3,84 Mchip/s

La separación requerida se encuentra comprendida entre 1 m y 15 km en función del tipo de células implicadas y la separación entre portadoras utilizadas. Los valores más bajos corresponden a escenarios entre pico células (pico-pico) y los más elevados a escenarios entre macro células (macro-macro).

Interferencia EB-EB en proximidad: AMDC de banda ancha/DDT a 1,28 Mchip/s

Los supuestos relativos a las distancias de separación de referencia permiten establecer que sólo el escenario macro-macro requiere un aislamiento adicional significativo. Para otros escenarios, el aislamiento básico es suficiente.

Coubicación BS-BS: AMDC de banda ancha/DDT a 3,84 Mchip/s

- La coubicación de EB será predominante en los sistemas futuros.
- Si hay EB macro AMDC de banda ancha y 3,84 Mchip/s coubicadas, los umbrales de ruido de ambos sistemas se ven considerablemente afectados cuando se tiene en cuenta una pérdida de acoplamiento de 30 dB.
- La cobertura y la capacidad se ven gravemente afectadas si no se proporciona el aislamiento adecuado entre las EB.
- Sobre la base de las especificaciones existentes y en los supuestos de pérdida de acoplamiento mínima (MCL, *minimum coupling loss*), incluso una banda de guarda de 5 MHz y de 10 MHz no elimina el problema.
- Se deben continuar realizando estudios destinados a definir las especificaciones de sistemas y las bandas de guarda necesarias, según proceda, que tengan en cuenta la coubicación de EB y el hecho de que en los sistemas reales se pueda lograr un cierto grado de aislamiento.

Interferencia EM-EB y EB-EM

- Para los escenarios analizados de tipo Manhattan, con usuarios uniformemente distribuidos en zonas abiertas, las simulaciones de Monte Carlo sugieren que la interferencia EM-EB y EB-EM tiene un efecto reducido o despreciable sobre la capacidad cuando se promedian sobre el sistema.

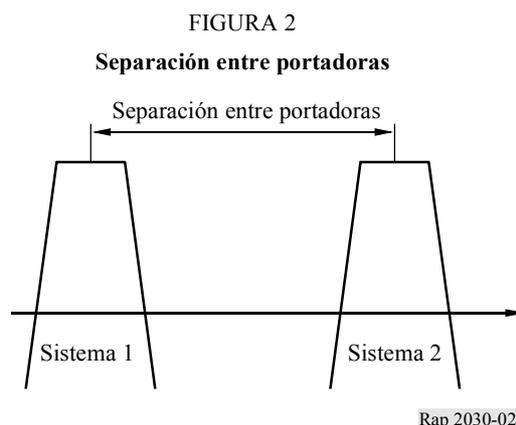
Interferencia EM-EM

- Las simulaciones de Monte Carlo sugieren que la interferencia EM-EM tiene un efecto reducido o despreciable sobre la capacidad cuando se promedia sobre el sistema y se utilizan densidades uniformes de usuarios (véase el § 4.2.2.3).
- Los cálculos EM-EM determinísticos sugieren que un móvil puede producir una interferencia grave a otro móvil que se encuentre cercano geográfica y espectralmente (véase el § 4.2.3).
- Por lo tanto, son necesarios estudios adicionales para los casos con densidades de usuarios no uniformes, ya que son situaciones más probables en sistemas reales que cubren zonas de elevada utilización (véase el § 4.2.3)
- Las interrupciones no pueden reducirse demasiado, ni aún con una reducción de la densidad de EB o de la capacidad. En lugar de ello, deben imponerse requisitos sobre el nivel de servicio.

2 Supuestos**2.1 Tecnologías de la interfaz radioeléctrica consideradas**

Las tecnologías IMT-2000 consideradas en este Informe son la correspondiente a la especificación radioeléctrica de AMDC de banda ancha con dispersión directa de IMT-2000 basada en DDF y la correspondiente a la especificación de CDMA DDT de IMT-2000 basada en DDT con dos modos, a saber, DDT HCR (a 3,84 Mchip/s) y DDT LCR (también conocida como TD-SCDMA, a 1,28 Mchip/s).

Por simplicidad, se hace referencia a ellas como sistemas DDF y DDT, respectivamente.



Por tanto, la separación entre portadoras es la mitad de la anchura de banda del sistema 1 más la mitad de la anchura de banda del sistema 2 más una posible banda de guarda adicional. Para AMDC de banda ancha DDT a 3,84 Mchip/s, la separación entre portadoras es de al menos $2,5 + 2,5 = 5$ MHz y para AMDC de banda ancha/TD-SCDMA es de al menos $2,5 + 0,8 = 3,3$ MHz.

Con una banda de guarda adicional de 5 MHz, la separación entre portadoras pasa a ser de 10 MHz y 8,3 MHz, respectivamente.

2.3.2 Escenarios de despliegue y ubicación de EB

En este estudio se han considerado distintos tipos de EB (para despliegues DDF y DDT), a saber, EB macro, micro y pico. Se supone que una EB macro está ubicada por encima de la línea de tejados, tanto en áreas de densidad elevada como de baja densidad. El objetivo principal de las EB macro es conseguir cobertura sobre un área relativamente grande.

Se supone que una EB micro está situada en el exterior y por debajo de la línea de tejados, en zonas con una elevada densidad de usuarios. Las EB micro se utilizan principalmente para mejorar la capacidad en áreas con una elevada densidad de usuarios.

Una EB pico se encuentra en interiores y se utiliza exclusivamente para cobertura a interiores. Un escenario de despliegue típico es un edificio de oficinas. La EB pico puede estar situada en cualquier piso del edificio. Sin embargo, en lo que sigue se supone que la altura de la EB pico es aproximadamente la misma que la de la EB micro.

En el Cuadro 1 se resumen los supuestos relativos a las alturas de las distintas EB. Además, se supone que la altura de construcción media es de 24 m y que, por tanto, las EB macro se sitúan 6 m por encima de la altura media de los tejados.

CUADRO 1

**Alturas estimadas de las EB macro,
micro y pico (para DDF y DDT)**

Tipo de EB	Altura (m)
Macro	30
Micro	6
Pico	6

2.4 Características del transmisor

Las características del transmisor incluyen restricciones de potencia de salida así como la ganancia de la antena transmisora.

2.4.1 Potencia de salida y ganancia de antena

En el Cuadro 2 figuran la potencia de salida máxima de una EB y la ganancia de antena para EB DDF y DDT.

CUADRO 2

Potencia de salida máxima y ganancia en transmisión de la antena para EB, macro, micro y pico (DDF y DDT)

Tipo de EB	Potencia de salida máxima (dBm)	Ganancia en transmisión de la antena (dBi)
DDF macro	43	15
DDF micro	30	6
DDF pico	24	0
DDT 3,84 Mchip/s macro	43	15
DDT 3,84 Mchip/s micro	30	6
DDT 3,84 Mchip/s pico	24	0
TD-SCDMA macro	34 ⁽¹⁾	15
TD-SCDMA micro	21 ⁽¹⁾	6
TD-SCDMA pico	12 ⁽¹⁾	3 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Se supone que la potencia del transmisor de la EB TD-SCDMA es menor que para 3,84 Mchip/s debido a la utilización de sistemas de antenas inteligentes de 8 elementos en los sistemas TD-SCDMA.

Se asume que la EB DDF transmite de forma continua mientras que la EB DDT transmite durante la mitad del tiempo (factor de actividad = 0,5).

En el Cuadro 3 figuran la potencia de salida máxima y la ganancia en transmisión de la antena de las EM DDF y DDT.

CUADRO 3

Potencia de salida máxima y ganancia en transmisión de la antena de EM DDF y DDT

Tipo de EM	Potencia de salida máxima (dBm)	Ganancia en transmisión de la antena (dBi)
DDF	21	0
DDT	21	0

2.4.2 Máscaras espectrales y valores de ACLR

Los valores de la relación de potencia de fuga del canal adyacente (ACLR, *adjacent channel leakage ratio*) de la EB del Cuadro 4 se han obtenido de [1] y [2] respectivamente. Para la EB DDT, los requisitos de ACLR hacen referencia a la situación de coexistencia con otros sistemas (DDT o DDF).

Los valores siguientes son válidos para DDT a 3,84 Mchip/s. Para DDT de 1,28 Mchip/s véase el § 2.6.

CUADRO 4

ACLR de una EB DDF y DDT

Separación entre portadoras (MHz)	ACLR de EB DDF (dB)	ACLR de EB DDT (dB)
5	45	70
10	50	70
15	67	70

Los valores de ACLR utilizados en EM DDF y DDT son los que figuran en el Cuadro 5. Los valores se han obtenido de [3] y de [4] excepto para 15 MHz, en cuyo caso se hacen hipótesis distintas.

CUADRO 5

ACLR de EM DDF y DDT

Separación entre portadoras (MHz)	ACLR de EM DDF (dB)	ACLR de EM DDT (dB)
5	33	33
10	43	43

2.5 Características del receptor

2.5.1 Ruido umbral del receptor y ganancia de antena (DDF y DDT)

Un umbral de ruido de -103 dBm y -99 dBm implica un factor de ruido de (NF, *noise figure*) de 5 dB y 9 dB respectivamente (potencia de ruido térmico -174 dBm/Hz \cdot 3,84 MHz = -108 dBm/3,84 MHz).

En el Cuadro 6 se incluyen el umbral de ruido y la ganancia en recepción de las antenas de las EB DDF y DDT. En el Cuadro 7 figuran los valores correspondientes de las EM DDF y DDT.

CUADRO 6

**Umbral de ruido del receptor y ganancia en recepción
de las antenas de EB DDF y DDT**

Tipo de EB	Umbral de ruido del receptor (dBm)	Ganancia en recepción de la antena (dBi)
DDF macro	-103	15
DDF micro	-103	6
DDF pico	-103	0
DDT macro	-103	15
DDT micro	-103	6
DDT pico	-103	0

CUADRO 7

**Umbral de ruido del receptor y ganancia en recepción
de las antenas de EM DDF y DDT**

Tipo de EM	Umbral de ruido del receptor (dBm)	Ganancia en recepción de la antena (dBi)
DDF	-99	0
DDT	-99	0

2.5.2 Sensibilidad del receptor

Los niveles de sensibilidad de referencia de la EB del Cuadro 8 (especificada para un servicio de 12,2 kbit/s con una BER no superior a 0,001) están tomados de [1] y de [2].

CUADRO 8

Sensibilidad de referencia de EB DDF y DDT

Tipo de EB	Nivel de sensibilidad de referencia de la EB (dBm)
DDF macro	-121
DDF micro	-121
DDF pico	-121
DDT a 3,84 Mchip/s macro	-109
DDT a 3,84 Mchip/s micro	-109
DDT a 3,84 Mchip/s pico	-109

Los valores de sensibilidad del receptor de la EM del Cuadro 9 se han obtenido de [3] y de [4] respectivamente.

CUADRO 9

Sensibilidad del receptor de EM DDF y DDT

Tipo de EM	Nivel de sensibilidad de referencia de la EB (dBm)
DDF	-117
DDT	-105

2.5.3 Especificaciones de la selectividad del canal adyacente (ACS, *adjacent channel selectivity*)

Los valores de la ACS de EB del Cuadro 10 se obtienen (indirectamente) de [1] y [2] excepto para 15 MHz en cuyo caso se hacen otras hipótesis. Además, en el Cuadro 11 figuran los valores de ACS de EM DDF y DDT.

Los valores siguientes son válidos para DDT a 3,84 Mchip/s. Para DDT a 1,28 Mchip/s, véase el § 2.6.

CUADRO 10

ACS de EB DDF y DDT

Separación entre portadoras (MHz)	ACS de EB DDF (dB)	ACS de EB DDT (dB)
5	46	46
10	58	58
15	66	66

CUADRO 11

ACS de EM DDF y DDT

Separación entre portadoras (MHz)	ACS de EM DDF (dB)	ACS de EM DDT (dB)
5	33	33
10	43	43

2.6 Valores resultantes de las relaciones de interferencia de canal adyacente (ACIR, *adjacent channel interference ratios*)

La ACS y la ACLR se han obtenido de las especificaciones 3GPP para una separación entre portadoras de 5 MHz y 10 MHz, habiéndose estimado su valor para la separación entre portadoras de 15 MHz.

Dichos valores de ACLR y ACS generan el valor del parámetro ACIR calculado de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}} \text{ (en términos lineales)}$$

Los valores de la columna de valores de ACIR se han redondeado.

CUADRO 12

ACIR de EB DDF sobre DDT a 3,84 Mchip/s

Separación entre portadoras (MHz)	ACLR de EB DDF (dB)	ACS de EB DDT a 3,84 Mchip/s (dB)	ACIR resultante (dB)
5	45	46	~42
10	50	58	~49
15	67	66	~63

CUADRO 13

ACIR de EB DDT a 3,84 Mchip/s sobre DDF

Separación entre portadoras (MHz)	ACLR de EB DDT a 3,84 chip/s (dB)	ACS de EB DDF (dB)	ACIR resultante (dB)
5	70	46	~46
10	70	58	~58
15	70	66	~64

CUADRO 14

ACIR de EB TD-SCDMA sobre EB DDF

Separación entre portadoras (MHz)	ACLR de EB TD-SCDMA (dB)	ACS de EB DDF (dB)	ACIR resultante (dB)
3,3	50 (en la especificación también se utiliza un valor de 50 dB para la separación entre portadoras de 3,2 MHz)	46	~45
8,3	65 (estimado)	58	~57

Obsérvese que se han estimado los valores de ACLR de TD-SCDMA para una separación entre portadoras de 8,3 MHz puesto que en la especificación normalizada no existe un valor para dicha separación.

2.7 Ganancia real de las antenas de la estación interferente y de la estación interferida

En el caso de sistemas de antenas convencionales, se considera que la ganancia real de las estaciones interferente e interferida es la suma de las ganancias de las antenas individuales en la dirección desde la estación interferente a la estación interferida, incluyendo efectos tales como la diferencia de altura y los ángulos de inclinación descendentes. En el caso especial de acoplamiento directo del eje de puntería, esta ganancia es la suma de las ganancias máximas de las antenas y puede dar lugar al caso peor del escenario de coexistencia. En el Apéndice 3 se incluye el cálculo detallado de las ganancias reales de las antenas.

Cuando los sistemas DDT conforman sus haces mediante antenas adaptativas, la situación de coexistencia debe analizarse de forma diferente y para determinar la probabilidad de interferencia es necesario un análisis estadístico como el que se obtiene mediante simulaciones de Monte Carlo. Este Informe no analiza las mejoras potenciales que puedan obtenerse como consecuencia de la utilización de antenas adaptativas, asunto éste que requiere estudios adicionales.

Distancia de separación de referencia

2.8 Relación entre la degradación admisible en la EB y la interferencia adicional en la EB

Para entender cabalmente el efecto completo que tiene una fuente de interferencia (y consiguientemente la separación requerida), es importante investigar la pérdida de cobertura y de capacidad que induce un determinado nivel de interferencia externa.

En este punto se analiza el impacto que el nivel de ruido total tiene sobre la cobertura y la capacidad, incluyendo el ruido del receptor y la interferencia externa. Dado un nivel de pérdida admisible, se determina el correspondiente nivel de interferencia admisible. Una vez determinado, la separación requerida se obtiene a partir de los Cuadros del § 4.

Existen dos posibles enfoques para estudiar el efecto de un aumento del umbral de ruido en el enlace ascendente de una célula DDF: efecto sobre la cobertura y sobre la capacidad.

En el primer enfoque, se calcula el número necesario de EB (o densidad de EB) para distintos valores del umbral de ruido total (ruido del receptor de la EB + interferencia externa) y para dos densidades distintas de usuarios. Con ello se obtiene el efecto que sobre la densidad de EB requerida tiene un aumento del umbral de ruido en sistemas macro con poca y con mucha carga. El método se describe en [5].

En el segundo enfoque, se analizan los efectos de un aumento del umbral de ruido en una red con emplazamientos fijos de EB. En este caso, el aumento del umbral de ruido produce una disminución de la capacidad del sistema.

Aunque sólo se ha investigado el efecto sobre sistemas DDF, los mismos principios se aplican a un sistema DDT, que experimentará pérdidas similares.

2.8.1 Definiciones y relaciones básicas

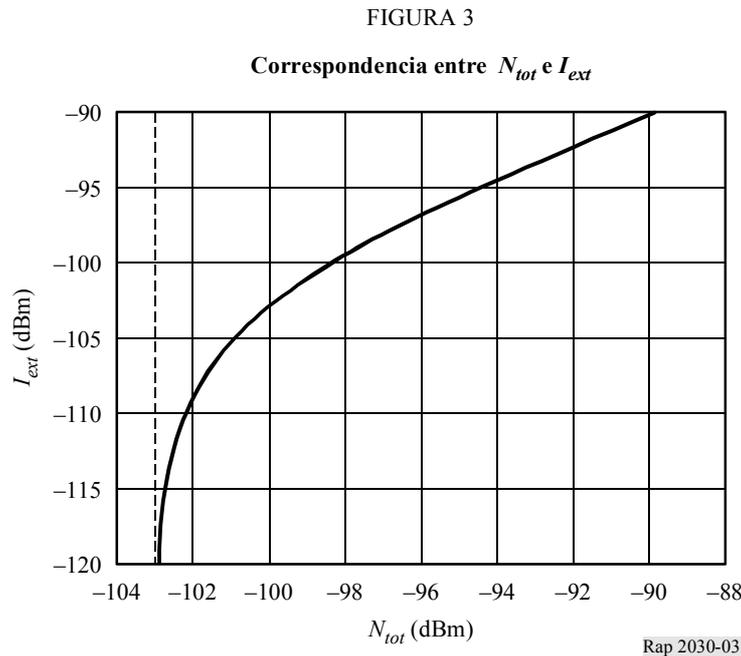
El umbral de ruido del receptor debido al ruido térmico se denomina N_{EB} y se supone fijo: $N_{EB} = -103$ dBm.

La interferencia interna en el sistema interferido consta de interferencia entre células e interferencia intra células y se denomina I_{int} mientras que la interferencia externa desde el sistema interferido se denomina I_{ext} .

El umbral de ruido que se experimenta en el sistema interferido se define como:

$$N_{tot} = N_{EB} + I_{ext}$$

En la Fig. 3 se muestra la correspondencia entre N_{tot} e I_{ext} con un valor fijo de $N_{EB} = -103$ dBm.



En un sistema sin interferencia externa el umbral de ruido total del receptor es $N_{tot} = N_{EB} = -103$ dBm.

La interferencia total, I , consta de tres componentes:

$$I = N_{EB} + I_{ext} + I_{int}$$

2.8.2 Efecto sobre la densidad de EB para una población de usuarios dada

En la Fig. 4 se muestra el efecto del aumento del umbral de ruido (causado, por ejemplo, por interferencia externa) en el enlace ascendente DDF. La densidad de EB se representa gráficamente en función del «umbral de ruido total» en el receptor de la EB DDF.

El punto de referencia se obtiene para una zona conocida con una densidad de usuarios conocida. Un sistema DDF con macro células debe cubrir la zona y proporcionar servicio a los usuarios con un criterio de calidad de servicio dado. Para minimizar los costes, se deben utilizar el menor número posible de EB. Puesto que los usuarios están limitados en potencia, el enlace ascendente limita la cobertura de las macro células.

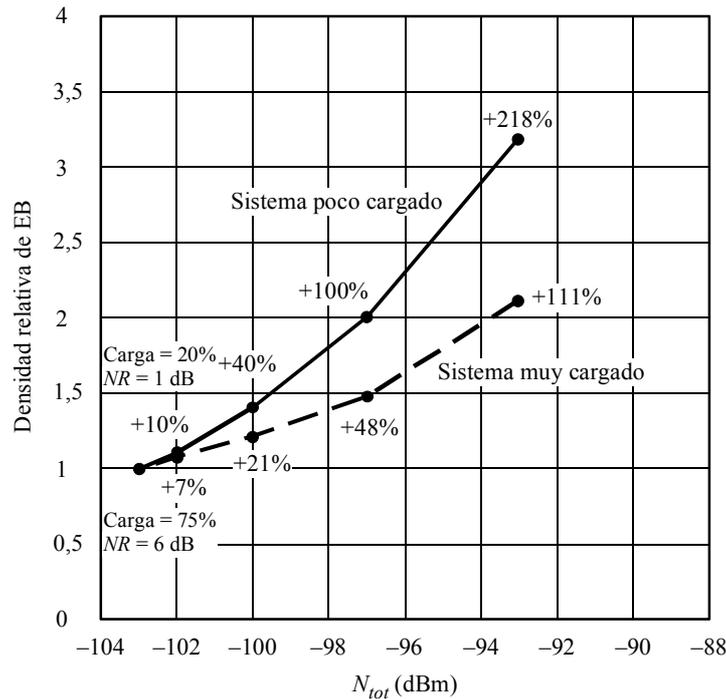
Los segmentos más a la izquierda de las curvas de la Fig. 4 se corresponden con un sistema aislado en el que no existen interferencias externas. Cuando aumenta la interferencia externa, aumenta N_{tot} , lo cual exige un plan de células más estricto para cumplir el criterio de calidad de servicio. En la Fig. 4 se representa el aumento relativo del número de EB en comparación con el caso de referencia.

Se estudian dos sistemas, uno con carga ligera del orden del 20% de la capacidad asintótica y otro con una carga elevada del 75% de la capacidad asintótica. Ello corresponde a un aumento del ruido (NR, *noise rise*) de entre 1 y 6 dB, respectivamente.

Tal como puede apreciarse, el efecto es más grave en el caso de un sistema con una carga ligera (planificado con un objetivo básico de cobertura) que en el caso de un sistema con una carga elevada (también planificado para disponer de una capacidad elevada).

FIGURA 4

Densidad relativa de EB en función del ruido del receptor



Rap 2030-04

2.8.3 Efecto sobre la capacidad de un sistema con un plan celular dado

En este escenario se supone que la densidad de EB no se ve afectada por un plan celular más comprimido, sino que será la interferencia externa la que influya en la capacidad del sistema. Se concluye que la pérdida de capacidad del enlace ascendente es función del escenario de despliegue y del plan del sistema.

El sistema debe satisfacer que el enlace ascendente cumpla con un determinado objetivo de C/I , y que la EM utilice un nivel de potencia inferior al límite de potencia de cresta hasta el borde de diseño de la célula. Por lo tanto, la interferencia total, I , en el receptor de la EB no debe superar un valor I_{acc} , nivel máximo de interferencia admisible que se desprende del criterio de tamaño de la célula.

Por lo tanto, debe cumplirse que $I = N_{EB} + I_{ext} + I_{int} \leq I_{acc}$.

El umbral de ruido experimentado en el sistema interferido es, como antes, el siguiente:

$$N_{tot} = N_{EB} + I_{ext}$$

Además de la desigualdad anterior, existe la limitación adicional de estabilidad en el sentido de que I_{int} no puede ser superior en más de 6 dB al umbral de ruido total N_{tot} que corresponde a una carga del 75% de la capacidad asintótica.

En el caso de macro células y micro células planificadas, para conseguir también cobertura en interiores, el valor de I_{acc} debe ser bastante pequeño puesto que la EB debe poder detectar la señal débil procedente de una EM situada en el borde lejano de la célula (o en interiores y con obstrucción por las paredes) con una relación C/I dada. En el caso de micro células que sólo cubran la calle, I_{acc} puede ser mayor. Las pico células son células pequeñas con muy pocos o ningún problema de cobertura, y permiten un I_{acc} mayor. En el punto siguiente se analiza este asunto con más detalle.

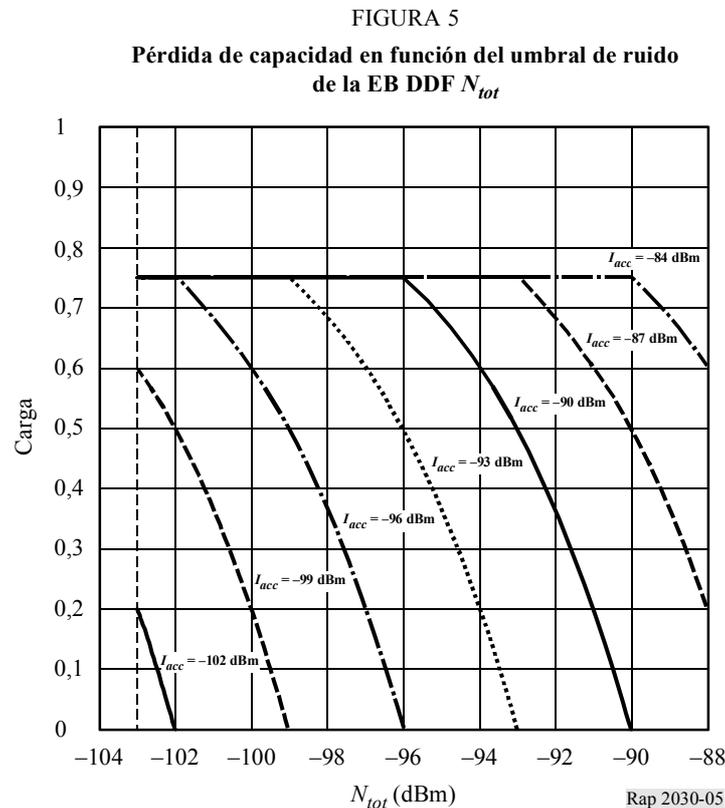
En la medida en que I_{ext} e I_{int} sean suficientemente pequeñas y se cumpla la desigualdad anterior, I_{ext} e I_{int} pueden aumentarse sin perjudicar la cobertura o la capacidad. Cuando I_{ext} aumenta (y por tanto N_{tot}), I_{int} debe también aumentar puesto que el sistema debe seguir cumpliendo los requisitos de C/I .

Sin embargo, cuando la parte izquierda de la desigualdad se hace igual a I_{acc} , cuando I_{ext} aumenta aún más se produce una de las dos situaciones siguientes:

- El valor del factor del lado izquierdo crece y supera el límite I_{acc} , violándose la desigualdad.
- La reducción de la carga del sistema, es decir de I_{int} , compensa el aumento de I_{ext} .

La primera opción reduce la cobertura y crea zonas sin servicio en el plan de cobertura celular, no analizándose en el resto de este documento. La segunda opción mantiene el plan celular pero reduce la capacidad. El objetivo del análisis siguiente es cuantificar este efecto.

La Fig. 5 muestra la carga que puede manejarse en función del ruido total del receptor N_{tot} . Puesto que por motivos de estabilidad la carga máxima está limitada al 75%, las curvas vienen limitadas por segmentos horizontales. Cada curva responde a una cierta hipótesis de I_{acc} , y todas comparten la parte primera compuesta por un segmento horizontal.



Obsérvese que para valores de $I_{acc} < -97$ dBm, la carga máxima está por debajo del 75% puesto que la sensibilidad del sistema está limitada por $N_{EB} = -103$ dBm, incluso cuando no existe interferencia externa alguna. Las curvas situadas más a la izquierda son relevantes para macro células, mientras que las curvas situadas más a la derecha lo son para pico células, siendo las curvas centrales adecuadas para micro células.

Cuanto mayores sean los valores de I_{acc} , más largo es el segmento horizontal de la curva y, por lo tanto, más interferencia externa se puede tolerar sin degradar la capacidad. Cuando la interferencia externa alcanza un punto crítico, la capacidad cae bruscamente puesto que la única forma de mantener la cobertura es desconectar usuarios para reducir la interferencia interna del sistema.

2.8.4 Niveles admisibles de degradación

Las cláusulas anteriores permiten llegar a varias conclusiones en relación con la interferencia total admisible para distintos tipos de células, y la cantidad total de ruido admisible, de forma que las pérdidas de capacidad también sean admisibles.

En el Cuadro 15 se indican gamas típicas de niveles máximos permitidos de interferencia externa para distintos tipos de células.

CUADRO 15
Niveles máximos de interferencia admisible

	Propuesta de I_{ext} (dBm)	I_{acc}		Aumento de densidad de estaciones resultante	
		Sin pérdida de capacidad (dBm)	Con una pérdida de capacidad relativa permitida del 5%	Sin pérdida de capacidad (%)	Con una pérdida de capacidad relativa del 5% (%)
Macro en zona rural	-114 a -106	-101,6 a -100,2	-101,6 a -100,2	3 a 21	3 a 21
Macro en centro ciudad	-100 a -95	-95,1 a -91	-95,1 a -91,5	52 a 129	52 a 117
Micro en exteriores	-97 a -90	-90,5 a -84,1	-90 a -83,6	60 a 183	46,5 a 170
Pico en interior de edificios	-85	Sin resultados	Sin resultados	Sin resultados	Sin resultados

En los Cuadros de este Informe en que se reflejan resultados, se han utilizado los rangos de valores de I_{ext} del Cuadro 15 para cada tipo de célula.

Debe señalarse que cuanto más bajo sea el valor admisible de I_{ext} , más se acentúa el problema potencial de interferencia, mientras que un valor elevado significa que el sistema interferido es más robusto frente a la interferencia externa. Es necesario disponer de un valor bajo en escenarios de despliegue en los que se desea una elevada sensibilidad, por ejemplo, en sistemas limitados en cobertura o en sistemas micro que han sido planificados para la cobertura de interiores. El sistema puede planificarse para un valor más elevado a cambio de un número mayor de EB y, algunas veces, de una menor capacidad, tal como se indica en los puntos precedentes. Asimismo, será necesario aumentar la potencia de todas las EM en el sistema interferido.

Los valores de I_{ext} de este Cuadro se utilizan en el § 4 para estimar las distancias de separación o la ACIR requerida.

2.8.5 Distancias de separación de referencia

La distancia de separación admisible entre EB depende del tipo de células consideradas, pero también del tipo de restricciones de despliegue o la cooperación posible en un mercado en concreto. A continuación se enumeran las distancias que se han utilizado para evaluar los efectos sobre la calidad de funcionamiento. Éstas parecen razonables a fin de permitir a ambos operadores la máxima libertad posible para realizar el despliegue de forma independiente, pero también pueden considerarse otras distancias. En mercados en los que sea posible una planificación conjunta entre operadores, las distancias de separación podrán ser mayores.

En este Informe, el Cuadro 16 se utiliza de dos formas. La distancia se utiliza como criterio prefijado cuando se calcula la ACIR requerida. Cuando se asume una ACIR fija, la distancia de separación calculada puede compararse con la del Cuadro 16 para verificar si se cumple el requisito de distancia.

CUADRO 16

Distancias de separación de referencia

Escenario	Distancia de separación de referencia (m)
Macro-macro	100
Macro-micro	50
Micro-micro	50
Macro-pico	50
Micro-pico	20
Pico-pico	10

3 Metodologías de evaluación de la interferencia**3.1 Modelos de propagación**

Todos los modelos de propagación empleados son conformes con [6], excepto el modelo de propagación de línea de visibilidad directa (LoS, *line of sight*) de doble pendiente. Además, todos los modelos están adaptados a la frecuencia de 2,6 GHz.

Los modelos de propagación sólo tienen en cuenta el comportamiento medio. En ellos no se consideran las variaciones respecto a la media debidas al desvanecimiento. Además, los modelos de desvanecimiento se utilizan originalmente para analizar la propagación entre EB y EM. Sin embargo, en este estudio también se deben considerar la propagación entre EB y entre EM. Si es posible, se utilizan los mismos modelos de propagación que en el caso de propagación de EB a EM.

Se utilizan los modelos siguientes:

- Modelo de pérdidas de trayecto en un entorno de pruebas en vehículos (véase [6])
- Modelo de pérdidas de trayecto en un entorno de pruebas de exterior hacia interiores (véase [6])
- Modelo de pérdidas de trayecto en un entorno de pruebas peatonal (véase [6])
- Modelo de pérdidas de trayecto en un entorno de pruebas en interiores (véase [6])
- Modelo de propagación LoS de doble pendiente (véase el Apéndice 2 y [7])

Modelo de pérdidas de trayecto en un entorno de pruebas en vehículos

$$L = 130,5 + 37,6 \log (R)$$

donde:

R : distancia (km).

Modelo de pérdidas de trayecto en un entorno de pruebas de exterior hacia interiores

$$L = 151,4 + 40 \log(R)$$

donde:

R : distancia (km).

Modelo de pérdidas de trayecto en un entorno de pruebas peatonal

Se supone que entre transmisor y receptor hay una esquina de 90° . Además, se supone que las alturas del transmisor y del receptor son sensiblemente inferiores a la de los edificios circundantes.

$$L = 20 \log\left(\frac{4 \pi d_n}{\lambda}\right)$$

$$d_n = \frac{d}{2} \left(2 + d \cdot \frac{q}{2}\right)$$

donde:

d : distancia (m).

Modelo de pérdidas de trayecto en un entorno de pruebas en interiores

$$L = 37 + 30 \log(R) + 18,3 n \left(\frac{n+2}{n+1} - 0,46\right)$$

donde:

R : distancia (m).

n : número de pisos en el trayecto.

Propagación LoS de doble pendiente

El modelo de propagación LoS de doble pendiente asume condiciones de propagación de espacio libre hasta el punto de inflexión o discontinuidad, d_{break} . Después de éste, la atenuación aumenta debido a las reflexiones en el suelo.

$$L_{LoS} = \begin{cases} 40,7 + 20 \log(d) & \text{para } 1 \leq d \leq d_{break} \\ 40,7 - 20 \log(d_{break}) + 40 \log(d) & \text{para } d \geq d_{break} \end{cases}$$

donde:

d : distancia (m).

El punto de inflexión se calcula como:

$$d_{break} = 4 \frac{h_{tx} \cdot h_{rx}}{\lambda}$$

donde:

h_{tx} y h_{rx} : altura (sobre la superficie reflectante) de transmisor y receptor

λ : longitud de onda.

Se supone que el punto de inflexión se produce a una distancia en la que la primera zona de Fresnel es tangente al suelo (superficie reflectante). La fórmula anterior del cálculo del punto de inflexión anterior se aproxima a este supuesto.

Ejemplo: Suponiendo una altura de 6 m para transmisor y receptor, el punto de inflexión está a 1 248 m (la frecuencia de 2,6 GHz corresponde a una longitud de onda de 0,1154 m).

Para más información sobre este modelo véase el Apéndice 2.

3.2 Cálculos determinísticos

3.2.1 Interferencia EB-EB

DDF macro – DDT macro

En proximidad: se utiliza el modelo de propagación con LoS de doble pendiente para calcular la pérdida del trayecto entre una EB DDF macro y una EB DDT macro.

Coubicadas: no se utiliza un modelo de pérdidas de trayecto. Se utiliza una pérdida de acoplamiento de 30 dB.

DDF macro – DDT micro

Se utiliza el modelo de pérdida de trayecto en vehículos, o vehicular, para modelar la propagación entre una EB DDF macro y una EB DDT micro. Se asume que la altura de la EB DDF está por encima de los tejados y que la altura de la EB DDT es significativamente más baja que los edificios circundantes.

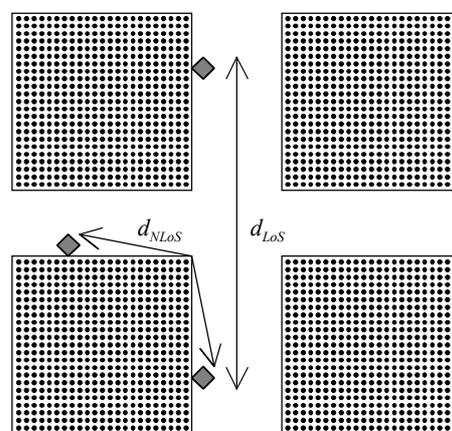
DDF macro – DDT pico

Para calcular la pérdida de trayecto entre una EB DDF macro y una EB DDT pico se utiliza el modelo de propagación desde exteriores hacia interiores. Se supone que la EB pico se encuentra dentro de un edificio, sin que haya LoS entre ambas EB (podría haber LoS, por ejemplo, cuando la EB pico estuviese situada en la parte alta de un edificio y próxima a una ventana desde la que pudiera verse la EB macro).

DDF micro – DDT micro

Para el caso DDF micro – DDT micro, se consideran dos escenarios. Se supone que las EB están situadas en la misma calle o en calles distintas respectivamente. Si están en la misma calle, se supone que existe LoS. Si están situadas en calles distintas, se supone que sólo existe una esquina (de 90°) entre ambas EB y que la distancia hasta la esquina es la misma para las dos. Los escenarios se muestran en la Fig. 6.

FIGURA 6
Propagación entre 2 EB micro en la misma calle o en calles diferentes



NLoS: no LoS

Rap 2030-06

Si las dos EB están en la misma calle, se utiliza el modelo de propagación con LoS de doble pendiente. Si están en calles distintas se utiliza el modelo de pérdidas de trayecto peatonal.

DDF micro – DDT pico

En este escenario se utiliza el modelo de pérdidas de trayecto desde el exterior hacia interiores. Se supone que NLoS entre las dos EB (la LoS se podría producir, por ejemplo, a través de una ventana entre ambas EB).

DDF pico – DDT macro

No se considera.

DDF pico – DDT micro

Se utiliza el modelo de pérdidas de trayecto desde el exterior hacia interiores (véase también el caso DDF micro – DDT pico anterior).

DDF pico – DDT pico

Se asume que las dos EB, es decir, la DDF y la DDT, están situadas en el mismo edificio pero separadas por un piso.

Ejemplo de cálculo de la interferencia sobre un receptor de EB DDF macro causada por un transmisor de EB DDT macro.

En primer lugar, se presenta un ejemplo de cómo se calcula la distancia de separación requerida cuando se dispone del valor de ACIR, y cómo se calcula la ACIR requerida cuando se conoce la distancia. En el § 2 y en el Apéndice 3 se tabulan todos los valores de ganancia de antena resultantes y de ACIR así como los intervalos relevantes de interferencia externa admisible.

Entrada:

Potencia de salida de la EB DDT	$P = 43$ dBm
Factor de actividad 0,5 de la EB DDT	$\alpha = -3$ dB
Ganancia en Tx de la antena de la EB DDT	$G_{A,Tx} = 15$ dBi
ACLR de la EB DDT	$ACLR = 70$ dB
Umbral de ruido de Rx de la EB DDF	$Rx_{ruido} = -103$ dBm
Ganancia en Rx de la antena de la EB DDF	$G_{A,Rx} = 15$ dBi
ACS de la EB DDF	$ACS = 46$ dB

Paso 1: Cálculo de la potencia efectiva de salida

La potencia efectiva de salida es la potencia transmitida media, es decir, la potencia de salida más el factor de actividad.

$$P_{media} = P + \alpha = 43 + (-3) = 40 \text{ dBm}$$

Paso 2: Cálculo de la ganancia de antena resultante

Se consideran dos EB macro situadas a la misma altura. La ganancia de antena resultante es la suma de la ganancia en transmisión (Tx) y en recepción (Rx) de ambas antenas.

$$G_A = G_{A,Tx} + G_{A,Rx} = 15 + 15 = 30 \text{ dBi}$$

Paso 3: Cálculo de la ACIR

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}} \text{ (en términos lineales)}$$

$(ACLR, ACS) = (70, 46)$ dB implica que $ACIR = 45,98 \text{ dB} \approx 46 \text{ dB}$.

Paso 4: Definición de la interferencia de canal adyacente máxima admisible

Según el Cuadro 15, N_{tot} debe ser como máximo $-102,7$ dBm lo cual, para $N_{EB} = -103$ dBm, implica que $ACI_{máx} = -114$ dBm.

Paso 5: Cálculo de la pérdida de trayecto requerida

$$L = P + G_A - ACIR - ACI_{máx} = 40 + 30 - 46 - (-114) = 138 \text{ dB}$$

Paso 6: Conversión de la pérdida de trayecto en la distancia de separación requerida según la fórmula de propagación)

$$L_{LoS} = \begin{cases} 40,7 + 20 \log(d) & \text{para } 1 \leq d \leq d_{break} \\ 40,7 - 20 \log(d_{break}) + 40 \log(d) & \text{para } d \geq d_{break} \end{cases}$$

La atenuación en el punto de inflexión a 1248 m es de 102,6 dB. Por tanto, la distancia buscada se encuentra más allá del punto de inflexión ($d > d_{break}$). La distancia de separación requerida es $d_{sep} = 9541$ m.

Cuando en lugar de ello se dispone de la distancia de separación, y la $ACIR$ requerida es el valor buscado, los Pasos 5 y 6 se modifican ligeramente para convertirse en lo siguiente:

Paso 7: Cálculo del valor de la $ACIR$ requerida

$$ACIR = P + G_A - L - ACI_{máx}$$

donde (según la fórmula de propagación) L es función del modelo de propagación (LoS en el ejemplo) y de la distancia d :

$$L_{LoS} = \begin{cases} 40,7 + 20 \log(d) & \text{para } 1 \leq d \leq d_{break} \\ 40,7 - 20 \log(d_{break}) + 40 \log(d) & \text{para } d \geq d_{break} \end{cases}$$

Si $d = 100$ m

$$ACIR = 40 + 30 - (40,7 + 20 \log(100)) - (-114) = 103,3 \text{ dB.}$$

3.2.2 Interferencia EB-EB, evaluación alternativa

La metodología utilizada en la evaluación de la interferencia EB-EB anterior, puede utilizarse para establecer un compromiso entre la potencia de transmisión necesaria para la cobertura y la potencia disponible para superar la interferencia externa. Por tanto, la pérdida de trayecto admisible en el borde de la célula se determina asumiendo el cumplimiento de los requisitos de C/I y un aumento del ruido de célula de 6 dB sobre la interferencia externa.

Se consideran tres casos:

- DDT y DDF en un despliegue micro, NLoS entre las EB.
- DDT y DDF en un despliegue micro, con LoS entre las EB.
- DDT en despliegue micro y DDF en despliegue macro.

Se consideran dos casos para la ganancia conjunta de antenas en el caso combinado macro – micro. En el caso peor, los resultados se calculan asumiendo que las antenas de las EB interferida e interferente se apuntan mutuamente en la dirección su máxima ganancia. En ese caso, la ganancia combinada de las dos antenas es de 21 dB puesto que se asume una EB macro con una ganancia de 15 dBi y una EB micro con una ganancia de 6 dBi.

Sin embargo, tal como se muestra en el Apéndice 3 la ganancia combinada de las antenas de transmisión y de recepción, cuando están suficientemente juntas, es menor o igual a 8 dB.

Por tanto, la diferencia en el nivel de interferencia entre los dos supuestos es $21 - 8 \text{ dB} = 13 \text{ dB}$. En consecuencia, la diferencia entre los rangos de células admisibles viene a ser una cantidad similar (ligeramente inferior a 13 dB, debido a la contribución del ruido térmico).

En la mayoría de los casos, se han mantenido los parámetros supuestos en el análisis anterior. En el Cuadro 17 se enumeran los parámetros modificados. En relación con el valor de los parámetros ACLR de la EB DDT, se utilizan dos conjuntos de valores. El primer conjunto corresponde a los requisitos mínimos definidos en [2], mientras que el segundo conjunto corresponde a los valores que se muestran en el Cuadro 4. El aumento de ACLR (para 5 MHz y 10 MHz) hasta 70 dB, disminuye el nivel de interferencia desde la EB interferente hacia la EB interferida, por lo que aumentan los rangos de células admisibles.

CUADRO 17

Supuestos para la evaluación alternativa de la interferencia EB-EB

Parámetro		Micro-micro, NLoS	Micro-micro, LoS	Micro-macro
Tasa de funcionamiento en transmisión de la EB		1		
Factor de actividad de la voz (dB)		-2,8		
EB DDT (conjunto 1)	ACLR1	45		
	ACLR2	55		
	ACLR3	70		
EB DDT (conjunto 2)	ACLR1	70		
	ACLR2	70		
	ACLR3	70		
ACLR1 (EB DDF)		45		
ACLR2 (EB DDF)		55		
ACLR3 (EB DDF)		67		
Distancia de acoplamiento (m)		50		
Acoplamiento (dB)		89	72	79

3.3 Simulación de Monte Carlo

3.3.1 Efectos sobre la capacidad de la interferencia EM-EB, EB-EM y EM-EM en escenarios DDF macro/DDT a 3,84 Mchip/s micro

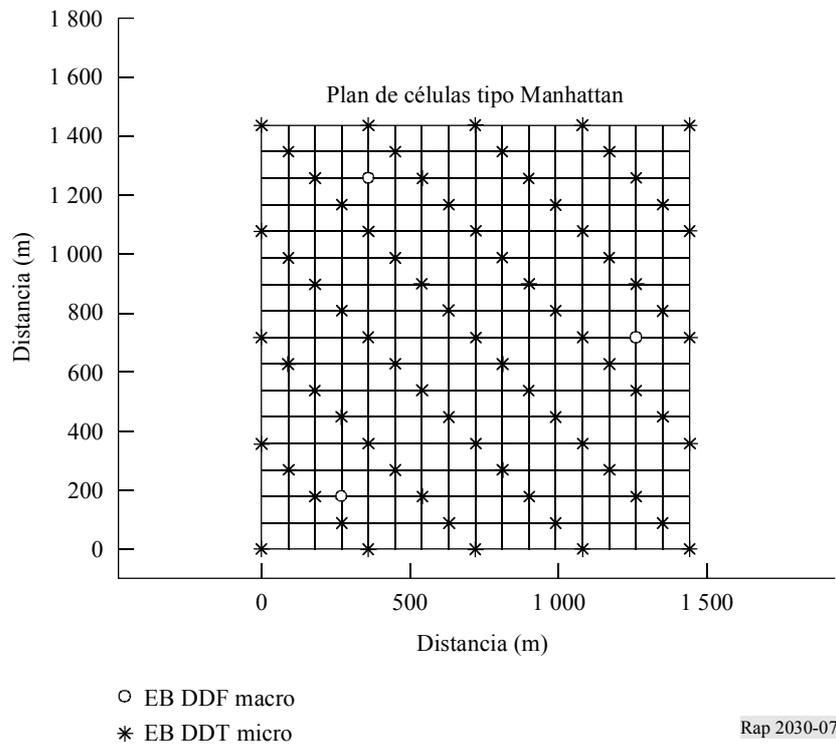
Entorno y modelos de propagación

El plan celular utilizado es el correspondiente a un entorno tipo Manhattan regular, véase la Fig. 7. La configuración del entorno es similar a lo propuesto en [6, § 6.1.5]. El tamaño de la manzana o bloque es $75 \times 75 \text{ m}$ y la anchura de la calle es de 15 m. El sistema DDT sólo se modela como micro y está compuesto por 73 EB. Se supone que el sistema DDF es macro (por encima de los

tejados) o micro. Se modelan 12 sistemas macro, sin embargo, tal como se muestra en la Fig. 7, en la evaluación de la calidad de funcionamiento sólo se utilizan 3. Las restantes 9 EB circundantes se utilizan solamente para evitar los efectos de borde. Las EB DDF micro se modelan de la misma forma que la EB DDT micro. Sin embargo, las EB DDT y DDF micro no están coubicadas, sino que están separadas entre sí un bloque.

FIGURA 7

Estructura de células utilizada



Los usuarios se encuentran en la calle y distribuidos de forma aleatoria en la zona.

El modelo vehicular de pérdida de trayecto se aplica para describir la propagación radioeléctrica entre una EB macro y un usuario. El modelo peatonal de pérdida de trayecto se utiliza entre una EB micro y un usuario y entre dos usuarios.

En el Cuadro 18 se presentan los parámetros de simulación más importantes.

CUADRO 18

***C/I* requerida y asimetría supuesta**

	Tipo de control de potencia	<i>C/I</i> requerida	Número de intervalos de tiempo por trama (sólo DDT)
Enlace descendente DDF	Basada en <i>C/I</i>	-21	—
Enlace ascendente DDF	Basada en <i>C/I</i>	-21	—
Enlace descendente DDT	Basada en <i>C/I</i>	-3	8
Enlace ascendente DDT	Basada en <i>C/I</i>	-5	7

Medidas de la calidad de funcionamiento

Los valores de las interrupciones y del bloqueo se utilizan como medidas de la calidad de funcionamiento. Las interrupciones tienen lugar cuando un usuario no puede alcanzar la *C/I* objetivo (se expresa en relación con el número total de usuarios). El bloqueo ocurre cuando un usuario no puede entrar en el sistema debido a que no hay recursos suficientes en las EB (por ejemplo, porque todos los canales están ocupados).

La capacidad se define como la carga de tráfico máxima para la que el tiempo de interrupción es inferior al 5% y la tasa de bloqueo es inferior al 2%.

Todas las evaluaciones se realizan para una separación entre portadoras de 5 y de 10 MHz.

Interferencia de EM-EB

Se describe el caso en el que terminales DDT causan interferencia sobre una EB DDF. El caso opuesto, en el que terminales DDF interfieren a EB DDT, se establece de forma equivalente.

Los usuarios DDT están distribuidos aleatoriamente en la zona de cobertura del sistema. En base a ello, puede calcularse la pérdida del trayecto, incluido el desvanecimiento por sombra, hasta las EB DDT y DDF. Los usuarios DDT se conectan a la EB DDT más próxima (en términos de pérdida de trayecto) y se atribuyen aleatoriamente a uno de los canales ascendentes (combinación de intervalo de tiempo y código).

Además, la potencia de salida de la EM DDT se calcula de forma que, si es posible, se consiga la *C/I* requerida en el lado receptor. La ACI en los receptores de las EB DDF puede calcularse de acuerdo con el valor de la potencia de salida de todos los terminales DDT. La ACI se calcula para cada intervalo de tiempo del enlace ascendente DDT y se promedia sobre toda la trama radio-eléctrica.

La ACI de cada EB, que causa una elevación del umbral de ruido del receptor de la EB DDF, es un parámetro necesario para la evaluación de la calidad del sistema DDF, realizándose entonces en el sistema DDF un procedimiento similar al anteriormente descrito. Los usuarios se consideran distribuidos aleatoriamente en el sistema, se calcula la pérdida de trayecto hasta la EB DDF y cada usuario se conecta a una o varias EB (de conformidad con los criterios de traspaso con continuidad). Además, la potencia del enlace ascendente se establece de forma que, si es posible, se consiga alcanzar la *C/I* requerida en el lado del receptor DDF. Finalmente, se evalúa la calidad de funcionamiento del sistema calculando las interrupciones (y el bloqueo).

Interferencia EB-EM

Se evalúa de forma equivalente al escenario de interferencia EM-EB anteriormente descrito, sin embargo, en este caso el interferente es una EB (DDT o DDF) y el interferido es una EM (DDF o DDT).

Interferencia EM-EM

Se evalúa de forma equivalente al escenario de interferencia EM-EB anteriormente descrito, sin embargo, en este caso el interferente es una EM (DDT o DDF) que interfiere con otra EM (DDF o DDT).

3.3.2 Efectos de la interferencia EM-EB y EM-EM en los escenarios DDF/DDT a 3,84 Mchip/s y DDF/DDT a 1,28 Mchip/s

Los modelos de pérdida de trayecto y la metodología utilizados son muy similares a los empleados por Ericsson (véase el punto anterior), por lo que a continuación sólo se hace una breve descripción del mismo. Las simulaciones se centran en la coexistencia de células macro en un entorno vehicular (caso 3: 120 km/h) con una señal de conversación de usuario de solo 8 kbit/s.

La simulación está basada en el método de Monte Carlo, que calcula las funciones de distribución acumulativas instantáneas para las C/I correspondientes a un gran número («ensayos») de distribuciones estocásticas de móviles en las células (incluyendo el control de potencia).

No se asume ningún tipo de sincronización o coordinación entre los distintos sistemas.

El objetivo del procedimiento de simulación es determinar la pérdida de capacidad relativa del sistema interferido para un enlace determinado (ascendente o descendente) debido a la presencia de un segundo sistema, el sistema interferente. La referencia a tener en cuenta para evaluar la pérdida de capacidad es la capacidad del sistema interferido sin la presencia del sistema interferente.

3.3.3 Efectos de las interrupciones debidas a la interferencia EM-EM en los escenarios DDF/DDT a 3,84 Mchip/s

Para evaluar una disposición de frecuencias específica en una banda de frecuencias, es necesario determinar las bandas de guarda entre los dos sistemas y los efectos que se producen en los canales utilizados en zonas próximas a los bordes de las células.

Si para una disposición concreta de canales disminuye la capacidad cerca del borde, ello no es necesariamente un motivo para descartar dicha disposición. No obstante, la situación es bien diferente cuando se trata de cambios en bandas de frecuencia utilizadas por sistemas en servicio que cuando se trata de la planificación de nuevas bandas de frecuencias. Ciertamente, es más problemático admitir una reducción de capacidad en un sistema en servicio debida a cambios en la utilización de una banda adyacente, que hacerlo cuando se pone en servicio una nueva banda en la que deberán coexistir dos sistemas. Ello se debe a que en el segundo caso se sabe desde el primer momento que deberá admitirse una reducción en la capacidad del sistema.

La elección de una tecnología de acceso radioeléctrico en una banda de frecuencias determinada es función de la probabilidad de interrupción en la banda y en los canales circundantes con un despliegue de red realista. Si una disposición de frecuencias no permite alcanzar un grado de interrupción satisfactorio para un despliegue realista, no deberá utilizarse.

Generalmente se realizan estudios de coexistencia para elegir las disposiciones de frecuencia a utilizar. El resultado de dichos estudios es el grado de utilización efectivo del espectro que puede conseguirse para cada disposición. Existen dos medidas que permiten expresar los méritos de una disposición de frecuencias, a saber, el grado de interrupción mínima y la pérdida de capacidad.

Los problemas derivados de un nivel de interrupción mínimo insatisfactorio pueden evitarse utilizando bandas de guarda entre los sistemas. La adición o planificación de un número suficiente de EB debe tener en cuenta el problema de la reducción de capacidad.

Las disposiciones de frecuencia para DDF (AMDC de banda ancha) y DDT (a 3,84 Mchip/s) en bandas de frecuencia adyacentes pueden dar lugar a problemas de interferencia debido a que los sistemas DDT utilizan la misma banda para los enlaces ascendente y descendente. En las zonas limítrofes entre un sistema DDT y DDF, puede ser necesario utilizar una banda de guarda, pudiendo reducirse la capacidad global de los sistemas DDT y DDF debido a la interferencia.

3.3.3.1 Simulación del método de Monte Carlo basada en un nivel de interrupciones mínimo

Una interrupción se produce cuando un usuario no puede alcanzar la $C/(I+N)$ objetivo, por lo que la conexión con la red no puede establecerse o mantenerse. En general, la interrupción dependerá del efecto combinado del ruido, la interferencia cocanal y la interferencia de canal adyacente.

Si no existe interferencia, la cobertura estará limitada por la debilidad de la intensidad de campo recibida. La interferencia debida a otros usuarios cocanal puede también causar interrupciones si el número de usuarios hace que la interferencia sea demasiado elevada, por lo que debe limitarse el número de usuarios que acceden a la red. La interferencia de las frecuencias adyacentes también puede causar interrupciones que pueden resolverse en determinados escenarios, por ejemplo, en el caso de interferencias EB-EB. En el caso de interferencia EM-EM, es particularmente importante el efecto de la ACI, pues en ese caso pueden producirse interrupciones que no son evitables durante la fase de planificación. Por lo tanto, es necesario determinar el tamaño adecuado de la banda de guarda para evitar que se produzca un nivel de interrupción inadmisibles.

En este contexto, a menudo se utiliza el término probabilidad de interferencia como una forma de medir el nivel de interferencia, tal como se hace con el término probabilidad de interrupción, es decir, es el porcentaje de usuarios para los que el nivel de interferencia (más ruido) es demasiado elevado.

El objetivo de estas simulaciones es determinar las interrupciones debidas a la interferencia de canal adyacente. El análisis se centra en las interrupciones que no pueden evitarse mediante una cuidadosa planificación de la red.

3.3.3.2 Metodología de simulación

La metodología y herramientas utilizadas para calcular las interrupciones son esencialmente las mismas que las utilizadas en la simulación de Monte Carlo para estimar la reducción de capacidad. El nivel de la señal deseada y de las señales interferentes se evalúa para cada configuración (en base a distribuciones aleatorias) para determinar si se alcanza el objetivo de $C/(I + N)$. Los resultados presentados difieren de los obtenidos mediante el modelo de reducción de capacidad en que se calcula el nivel de interrupción, en lugar de suponer un nivel de interrupción admisible en base al cual se calcule la reducción de capacidad asociada.

En los cálculos intervienen el enlace interferido y un enlace interferente (o posiblemente múltiples enlaces interferentes) que existan entre un terminal móvil y una EB. Las posiciones relativas de los terminales móviles y de las EB se definen utilizando varias distribuciones.

No se incluye el efecto de la interferencia cocanal. Como consecuencia de ello, la probabilidad de interferencia de esta simulación es inferior a la que se produce en un sistema cargado. Sin embargo, dada la dificultad de hacer una buena estimación de la carga, se considera que modelar solamente la interferencia de canal adyacente es una decisión adecuada.

En las simulaciones, los usuarios no están en movimiento y no se añaden o eliminan conexiones. Por lo tanto, la conexión sólo puede perderse durante el periodo de establecimiento ya que el entorno no cambia durante la simulación. Como resultado de ello, una conexión que se haya establecido con éxito se completará con éxito. En una situación real, los usuarios están en movimiento y, por lo tanto, un usuario que no sufra interrupciones al comienzo de una llamada puede moverse hacia una zona con una elevada interferencia en la que la llamada se interrumpa.

3.3.3.3 Interferencia EM-EM, DDF macro-DDT macro/pico

La interferencia EM-EM se evalúa mediante una simulación de Monte Carlo para separaciones de portadoras de 5 MHz y 10 MHz. La simulación supone que el espectro por debajo de 2550 MHz constituye el enlace ascendente DDF, y el espectro por encima de 2550 MHz es DDT. Se supone que el sistema DDF es exclusivamente macro, mientras que para DDT se consideran despliegues macro y pico. Nótese que los despliegues macro y pico se tienen en cuenta en simulaciones distintas.

El servicio que se considera es conversación a 8 kbit/s, tanto para DDF como para DDT.

3.3.3.4 Sistema interferido

El sistema interferido es una macro célula DDT o una pico célula DDT. Ambas posibilidades constituyen escenarios diferentes. Se analiza el enlace descendente y el terminal móvil interferido.

En el escenario de macro célula, se supone que todos los móviles DDT están en el exterior. En el escenario de pico célula, tanto la EB DDT como el terminal móvil están en interiores.

Las especificaciones figuran en los Cuadros 19, 20 (macro) y 21 (pico), y se corresponden con las especificaciones incluidas en el § 2. Los valores de ACS para un terminal móvil DDT se muestran en el Cuadro 22. La EB DDT no tiene control de potencia y transmite con una potencia fija.

Los usuarios comparten la potencia total transmitida de la EB. Se supone un número máximo de doce usuarios por cada intervalo de tiempo, resultando la potencia de transmisión disponible por usuario que figura en los Cuadros 20 y 21.

CUADRO 19

EM CDMA DDT (recepción)

<i>C/I</i>	-5 dB
Umbral de ruido	-99 dBm
Sensibilidad	-105 dBm
Altura de la antena	1,5 m
Ganancia de la antena	0 dBi

CUADRO 20

EB CDMA DDT macro (transmisión)

Potencia de transmisión total de la EB	43 dBm
Potencia de transmisión disponible por usuario	32,2 dBm
Radio fijo de cobertura	0,5 km
Altura de la antena	30 m
Ganancia de la antena	15 dBi

CUADRO 21

EB CDMA DDT pico (transmisión)

Potencia de transmisión total de la EB	24 dBm
Potencia de transmisión disponible por usuario	13,2 dBm
Radio fijo de cobertura	0,05 km
Altura de la antena	6 m
Ganancia de la antena	0 dBi

CUADRO 22

Valores de ACLR y ACS

Separación entre portadoras (MHz)	ACLR de EM DDF (dB)	ACS de EM DDT (dB)
5	33	33
10	43	43

3.3.3.5 Sistema interferente

El sistema interferente es una macro célula DDF. En este escenario se analiza el enlace ascendente (transmisión desde el terminal móvil). El móvil utiliza control de potencia, que se modela como ideal. El control de potencia ajusta la potencia recibida a un valor prefijado de sensibilidad del receptor (control de potencia basado en C).

Si el sistema interferido es DDT macro, se supone que todos los móviles DDF están en exteriores. En el caso de sistema interferido DDT pico, se supone que todos los móviles DDF están en interiores. Las especificaciones son las incluidas en el § 2, presentándose en los Cuadros 23 y 24 una descripción general del sistema. Los valores de ACLR para el terminal móvil DDF son los del Cuadro 22.

CUADRO 23

Terminal móvil AMDC de banda ancha DDF (transmisión)

Potencia de transmisión	21 dBm
Altura de la antena	1,5 m
Ganancia de la antena	0 dBi
Pasos de control de potencia	1 dB
Control de potencia: potencia mínima recibida	-121 dBm
Margen dinámico del control de potencia	70 dB

CUADRO 24

EB AMDC de banda ancha DDF (recepción)

Altura de la antena	30 m
Ganancia de la antena	15 dBi
Sensibilidad del receptor	-121 dBm
Radio fijo de cobertura	0,5 km

3.3.3.6 Modelos de pérdida de trayecto

La pérdida de trayecto se modela utilizando la pérdida de trayecto y el desvanecimiento lento (log-normal). Para un entorno de macro célula en exteriores, el modelo utilizado es función de la distancia de separación entre los dos móviles. La pérdida en espacio libre se utiliza para distancias de hasta 40 m, y el modelo de Hata (con modificaciones) para distancias superiores a 100 m. Entre ambas distancias, se utiliza una interpolación del modelo de espacio libre y del modelo de Hata. El modelo de Hata se adapta bien a ser utilizado en frecuencias de hasta 3 GHz, y en situaciones donde las antenas transmisora y receptora están por debajo del nivel de los tejados circundantes.

El modelo de propagación entre exteriores e interiores es el mismo que el de exteriores, añadiendo un factor de pérdida adicional para tener en cuenta la atenuación debida a las paredes exteriores del edificio. El modelo de propagación en interiores utiliza la pérdida en espacio libre a la que se le añade una pérdida adicional para tener en cuenta la atenuación debida a las paredes y suelos de interiores.

También puede propagarse la señal desde el interior de un edificio al interior de otro edificio. Si transmisor y receptor se encuentran en entornos de interior, pero la distancia de separación es grande, se supone que ambos están en edificios distintos. En ese caso se utiliza un modelo de propagación diferente al empleado en el caso de interiores «puro». En tal caso, la pérdida de trayecto de propagación es la suma de:

- la atenuación debida a las paredes externas del edificio para la transmisión hacia afuera del edificio;
- el modelo de Hata, tal como se ha descrito anteriormente para las pérdidas de trayecto entre edificios;
- la atenuación debida a las paredes externas para la transmisión hacia el interior del otro edificio. La pérdida total del trayecto es, por tanto, la pérdida de trayecto del modelo de Hata más dos veces la pérdida de penetración debida a las paredes externas de los edificios.

3.4 Interferencia EM-EM (determinística)

Se utiliza la misma metodología que para el caso de interferencia EB-EB (véase el § 3.2) pero con los parámetros de transmisor y receptor de EM definidos en el § 2. Sólo se investigan si existe LoS.

4 Ejemplos de cálculos y resultados

4.1 Ejemplos de cálculos

Véase el § 3.3.1.

4.2 Resultados de los cálculos

4.2.1 Resultados de cálculos de interferencia determinísticos EB-EB

4.2.1.1 Distancias de separación requeridas para la interferencia DDT/DDF

CUADRO 25
Interferencia de DDT a DDF

Descripción del escenario (modelo más adecuado)	Separación entre portadoras (MHz)	Potencia de Tx (incluido el factor de actividad) (dBm)	Ganancia efectiva de la antena (dBi)	ACIR (dB)	Nivel admisible de I_{ext} bajo/alto (dBm)	Pérdida de trayecto requerida (dB)	Distancia de separación requerida (m)
DDT macro a DDF macro (LoS)	5	40	30	46	-114/-106	138/130	9 541/6 020
	10	40	30	58	-114/-106	126/118	4 782/3 017
	15	40	30	64	-114/-106	120/112	3 385/2 136
DDT macro a DDF micro (vehicular)	5	40	15	46	-97/-90	106/99	222/145
	10	40	15	58	-97/-90	94/87	107/69
	15	40	15	64	-97/-90	88/81	74/48
DDT macro a DDF pico (exterior a interior)	5	40	15	46	-85	94	37
	10	40	15	58	-85	82	18
	15	40	15	64	-85	76	13
DDT micro a DDF macro (vehicular)	5	27	15	46	-114/-106	110/102	284/174
	10	27	15	58	-114/-106	98/90	136/83
	15	27	15	64	-114/-106	92/84	94/58
DDT pico a DDF macro (exterior a interior)	5	21	15	46	-114/-106	104/96	65/41
	10	21	15	58	-114/-106	92/84	33/21
	15	21	15	64	-114/-106	86/78	23/15
DDT micro a DDF micro (LoS)	5	27	12	46	-97/-90	90/83	290/130
	10	27	12	58	-97/-90	78/71	73/33
	15	27	12	64	-97/-90	72/65	37/16
DDT micro a DDF micro (peatonal)	5	27	12	46	-97/-90	90/83	52/33
	10	27	12	58	-97/-90	78/71	24/14
	15	27	12	64	-97/-90	72/65	15/9
DDT pico a DDF micro (exterior a interior)	5	21	6	46	-97/-90	78/71	15/10
	10	21	6	58	-97/-90	66/59	7/5
	15	21	6	64	-97/-90	60/53	5/3
DDT micro a DDF pico (exterior a interior)	5	27	6	46	-85	72	10
	10	27	6	58	-85	60	5
	15	27	6	64	-85	54	4
DDT pico a DDF pico (LoS)	5	21	0	46	-85	60	9
	10	21	0	58	-85	48	2
	15	21	0	64	-85	42	1
DDT pico a DDF pico (interior)	5	21	0	46	-85	60	1
	10	21	0	58	-85	48	1
	15	21	0	64	-85	42	<1

CUADRO 26

Interferencia DDF a DDT

Descripción del escenario (modelo más adecuado)	Separación entre portadoras (MHz)	Potencia de Tx (incluido el factor de actividad) (dBm)	Ganancia efectiva de la antena (dBi)	ACIR (dB)	Nivel admisible de I_{ext} (dBm)	Pérdida de trayecto requerida (dB)	Distancia de separación requerida (m)
DDF macro a DDT macro (LoS)	5	43	30	42	-114/-106	145/137	14 275/9 007
	10	43	30	49	-114/-106	138/130	9 541/6 020
	15	43	30	63	-114/-106	124/116	4 262/2 689
DDF macro a DDT micro (vehicular)	5	43	15	42	-97/-90	113/106	341/222
	10	43	15	49	-97/-90	106/99	222/145
	15	43	15	63	-97/-90	92/84	94/61
DDF macro a DDT pico (exterior a interior)	5	43	15	42	-85	101	55
	10	43	15	49	-85	94	37
	15	43	15	63	-85	80	16
DDF micro a DDT macro (vehicular)	5	30	15	42	-114/-106	117/109	436/267
	10	30	15	49	-114/-106	110/102	284/174
	15	30	15	63	-114/-106	96/88	121/74
DDF micro a DDT micro (LoS)	5	30	12	42	-97/-90	97/90	650/290
	10	30	12	49	-97/-90	90/83	290/130
	15	30	12	63	-97/-90	76/69	60/26
DDF micro a DDT micro (peatonal)	5	30	12	42	-97/-90	97/90	80/52
	10	30	12	49	-97/-90	90/83	52/33
	15	30	12	63	-97/-90	76/69	21/12
DDF micro a DDT pico (exterior a interior)	5	30	6	42	-85	79	25
	10	30	6	49	-85	72	10
	15	30	6	63	-85	58	5
DDF pico a DDT macro (exterior a interior)	5	24	6	42	-114/-106	102/94	58/37
	10	24	6	49	-114/-106	95/87	39/25
	15	24	6	63	-114/-106	81/73	17/11
DDF pico a DDT micro (exterior a interior)	5	30	6	42	-97/-90	91/84	31/21
	10	30	6	49	-97/-90	84/77	21/14
	15	30	6	63	-97/-90	70/63	9/6
DDF pico a DDT pico (LoS)	5	24	0	42	-85	64	7
	10	24	0	49	-85	57	4
	15	24	0	63	-85	43	2
DDF pico a DDT pico (interior)	5	24	0	42	-85	64	2
	10	24	0	49	-85	57	1
	15	24	0	63	-85	43	<1

4.2.1.2 ACIR requerida para la interferencia entre sistemas DDT a 3,84 Mchip/s y DDF

LA ACIR requerida es independiente de la separación entre portadoras. Sin embargo, la pérdida de aislamiento no es independiente de los casos de referencia que se consideren. En la última columna se compara la pérdida de aislamiento con el valor de ACIR supuesto en el Cuadro 13 para el caso DDT-a-DDF, y en el Cuadro 12 en el caso DDF-a-DDT. Por simplicidad, sólo se muestran las cifras correspondientes a una separación entre portadoras de 5 MHz.

CUADRO 27

Interferencia de DDT a DDF

Descripción del escenario (modelo más adecuado)	Potencia de Tx (incluido el factor de actividad) (dBm)	Ganancia efectiva de la antena (dBi)	Distancia de separación de referencia (m)	Pérdida del trayecto (dB)	Nivel admisible de I_{ext} en Rx (dBm)	ACIR requerida (dB)	Pérdida de aislamiento con separación entre portadoras de 5 MHz (dB)
DDT macro a DDF macro (LoS)	40	30	100	80,7	-114/-106	103,3/95,3	57,3/49,3
DDT micro a DDF macro (vehicular)	27	15	50	81,6	-114/-106	74,4/66,4	28,8/20,4
DDT pico a DDF macro (exterior a interior)	21	15	50	99,4	-114/-106	50,6/42,6	4,6/-3,4
DDT micro a DDF micro (LoS)	27	12	50	74,7	-97/-90	61,3/54,3	15,3/8,3
DDT micro a DDF micro (peatonal)	27	12	50	91,9	-97/-90	44,1/37,1	-1,9/-8,9
DDT pico a DDF micro (exterior a interior)	21	6	20	83,4	-97/-90	40,6/33,6	-5,4/-12,4
DDT micro a DDF pico (exterior a interior)	27	6	20	83,4	-85	34,6	-11,4
DDT pico a DDF pico (LoS)	21	0	10	60,7	-85	45,3	-0,7
DDT pico a DDF pico (interior)	21	0	10	85,3	-85	20,7	-25,3

CUADRO 28
Interferencia de DDF a DDT

Descripción del escenario (modelo más adecuado)	Potencia de Tx (incluido el factor de actividad) (dBm)	Ganancia efectiva de la antena (dBi)	Distancia de separación de referencia (m)	Pérdida del trayecto (dB)	Nivel admisible de I_{ext} en Rx (dBm)	ACIR requerida (dB)	Pérdida de aislamiento con separación entre portadoras de 5 MHz (dB)
DDF macro a DDT macro (LoS)	43	30	100	80,7	-114/-106	106,3/98,3	64,3/56,3
DDF macro a DDT micro (vehicular)	43	15	50	81,6	-97/-90	73,4/66,4	31,4/24,4
DDF macro a DDT pico (exterior a interior)	43	15	50	99,4	-85	43,6	1,6
DDF micro a DDT micro (LoS)	30	12	50	74,7	-97/-90	64,3/57,3	22,3/15,3
DDF micro a DDT micro (peatonal)	30	12	50	91,9	-97/-90	47,1/40,1	5,1/-1,9
DDF micro a DDT pico (exterior a interior)	30	6	20	83,4	-85	37,6	-4,4
DDF pico a DDT micro (exterior a interior)	21	6	20	83,4	-97/-90	40,6/33,6	-1,4/-8,4
DDF pico a DDT pico (LoS)	21	0	10	60,7	-85	45,3	3,3
DDF pico a DDT pico (interior)	21	0	10	85,3	-85	20,7	-21,3

4.2.1.3 Distancias de separación requeridas para la interferencia entre sistemas TD-SCDMA y DDF

CUADRO 29

Interferencia de DDT a DDF

Descripción del escenario (modelo más adecuado)	Separación entre portadoras (MHz)	Potencia de Tx (dBm)	Ganancia real de la antena (dBi)	ACIR (dB)	Nivel admisible de I_{ext} en Rx (dBm)	Pérdida de trayecto requerida (dB)	Distancia de separación requerida (m)	Aislamiento adicional requerido
DDT macro a DDF macro (LoS)	3,5	34	$15 + 15 - 6 = 24$	45	-106	140	2 700	40,9 (SI)
DDT macro a DDF micro (NLoS)	3,5	21	$15 + 6 - 3 = 8$	45	-97	131	44,7	-1,6 (NO)
DDT macro a DDF pico	3,5	12	$15 + 0 - 10 = 5$	45	-91	125	9,8	-9,3 (NO)
DDT micro a DDF macro	3,5	34	$6 + 15 - 13 = 8$	45	-106	125	31,6	-7,6 (NO)
DDT micro a DDF micro	3,5	21	$6 + 6 = 12$	45	-97	116	23,7	-11,4 (NO)
DDT micro a DDF pico	3,5	12	$6 + 0 = 6$	45	-91	110	3,3	-23,3 (NO)
DDT pico a DDF macro	3,5	34	$3 + 15 - 10 = 8$	45	-106	116	6,2	-15,3 (NO)
DDT pico a DDF micro	3,5	21	$3 + 6 = 9$	45	-97	107	3,3	-23,3 (NO)
DDT pico a DDF pico	3,5	12	$3 + 0 = 3$	45	-91	101	1,3	-35,3 (NO)

4.2.1.4 Escenarios de coubicación de sistemas AMDC de banda ancha/DDT a 3,84 Mchips/s

En este punto se describen y cuantifican distintas fuentes de interferencia entre sistemas DDF y DDT situados en bandas adyacentes cuando las EB de ambos sistemas están coubicadas. Específicamente, se tiene en cuenta la interferencia sobre el receptor de una EB DDF procedente de un transmisor de una EB DDT coubicada, y la interferencia sobre el receptor de una EB DDT procedente de un transmisor de una EB DDF coubicada.

La coubicación de varios operadores en la misma torre o edificio es una práctica común que será cada vez más frecuente en sistemas futuros conforme crezca el número de operadores y sea necesaria una mayor densidad de células para lograr una mayor cobertura y capacidad. Debido a limitaciones del despliegue, dificultades para conseguir emplazamientos y otras cuestiones logísticas y de ingeniería, es muy probable que se encuentren coubicados en el mismo emplazamiento (coubicación) sistemas AMDC de banda ancha DDT y DDF.

La interferencia máxima permitida (MAI, *maximum allowed interference*) que mantiene la insensibilidad del receptor a la misma se define como:

$$\text{MAI}_{\text{Insensib.}} (\text{dBm}) = \text{Umbral de ruido} (\text{dBm}) + \text{Factor de ruido del receptor} - 6 \text{ dB}$$

CUADRO 30

Umbral calculados para el nivel de MAI para la insensibilidad del receptor

Sistema	Umbral de ruido (dBm)	Factor de ruido del Rx (dB)	MAI (insensib.) (dBm)
AMDC de banda ancha DDT	-108	5	-109
AMDC de banda ancha DDF	-108	5	-109

La potencia de interferencia afectada que se recibe en el puerto de entrada del receptor de la estación interferida se calcula como:

$$\text{Int@_Rcep} = C_Tx_ - ACIR - MCL$$

donde:

Int@_Rcep: interferencia afectada en el puerto de entrada del receptor del sistema interferido (dBm)

C_Tx_: nivel de la potencia máxima nominal de la portadora a la salida del amplificador de transmisión (Tx) (dBm)

ACIR: $1/(1/ACS + 1/ACLR)$

MCL: pérdida de acoplamiento mínima (dBm) = 30 dB.

El Cuadro 31 muestra los cálculos de interferencia tanto en sistemas AMDC de banda ancha y DDT a 3,84 Mchip/s con separación de portadoras de 5, 10 y 15 MHz. En todos los casos se supera el valor de MAI de -109 dBm.

CUADRO 31

Valores calculados de interferencia entre sistemas DDT y DDF

Sistema interferido	C_Tx_ (dBm)	ACS de Rx	ACLR de Tx	ACIR	Int@_Rcep (dBm)	Umbral superado (-109 dBm)
AMDC de banda ancha DDT	43	46 @ 5 MHz	45 @ 5 MHz	42,46	-29,46	Sí
AMDC de banda ancha DDT	43	58 @ 10 MHz	50 @ 10 MHz	49,36	-36,36	Sí
AMDC de banda ancha DDT	43	66 @ 15 MHz	67 @ 15 MHz	63,46	-50,46	Sí
AMDC de banda ancha DDF	40,2	46 @ 5 MHz	70 @ 5 MHz	45,98	-35,78	Sí
AMDC de banda ancha DDF	40,2	58 @ 10 MHz	70 @ 10 MHz	57,73	-47,53	Sí
AMDC de banda ancha DDF	40,2	66 @ 15 MHz	70 @ 15 MHz	54,34	-54,34	Sí

NOTA – Potencia de salida del Tx de la EB DDT = 43 dBm

Factor de actividad de la EB DDT = -2,8 dB

C_Tx_ = 43 + (-2,8) = 40,2 para la potencia del Tx DDF.

Sobrecarga del receptor

Se considera que un receptor está sobrecargado cuando la potencia de entrada total recibida supera el punto de compresión a 1 dB del receptor menos un margen de seguridad (típicamente 10 dB).

$$\text{MAI_Sobrec} = \text{Punto de compresión a 1 dB} - \text{margen de seguridad}$$

Se utiliza un valor de bloqueo de -40 dBm tal como se especifica en 3GPP. La potencia total de la portadora recibida se define como:

$$C_{Rx} = C_{Tx} - ACIR - MCL$$

donde:

C_{Rx} : potencia total de la portadora recibida en el puerto de entrada de la estación interferida (dBm)

C_{Tx} : potencia total de la portadora transmitida en el puerto de salida de la estación interferente (dBm)

$ACIR$: $1/(1/ACS + 1/ACLR)$

MCL : pérdida de acoplamiento mínima (dBm) = 30 dB.

Utilizando dichos parámetros, se obtienen los resultados siguientes:

CUADRO 32

Valores calculados de la interferencia en el receptor (Rx) del sistema interferido

Sistema interferido	C_{Tx} (dBm)	ACS de Rx	ACLR de Tx	ACIR	C_{Rx} (dBm)	¿Se supera el umbral de MAI_Sobrec? (-40 dBm)
AMDC de banda ancha DDT	43	46 @ 5MHz	45 @ 5MHz	42,46	-29,46	Sí
AMDC de banda ancha DDT	43	58 @ 10MHz	50 @ 10MHz	49,36	-36,36	Sí
AMDC de banda ancha DDT	43	66 @ 15MHz	67 @ 15MHz	63,46	-50,46	No
AMDC de banda ancha DDF	40,2	46 @ 5MHz	70 @ 5MHz	45,98	-35,78	Sí
AMDC de banda ancha DDF	40,2	58 @ 10MHz	70 @ 10MHz	57,73	-47,53	No
AMDC de banda ancha DDF	40,2	66 @ 15MHz	70 @ 15MHz	54,34	-54,34	No

4.2.1.5 Pérdida de trayecto admisible en la evaluación de la interferencia EB-EB alternativa

En el Cuadro 33 se enumeran los valores de la pérdida de trayecto EM-EB admisibles en el borde de la célula para la evaluación de interferencia EB-EB descrita en el § 3.2.2, limitada por la potencia de salida de la EM y por el requisito de C/I del servicio de que se trate. El Cuadro 33 muestra el rango de células admisibles para el caso peor de inclinación de las antenas de las estaciones. El Cuadro 34 muestra lo mismo pero para una inclinación de antena realista (para casos de interferencia de EB macro a EB micro o de EB micro a EB macro). En función de los modelos de pérdida de trayecto previstos y de los requisitos del operador, dichos valores pueden corresponder o no a tamaños admisibles de células.

CUADRO 33

Tamaños de células admisibles para el caso peor de inclinación de antenas

Escenario EB-EB	Separación entre portadoras (MHz)	Rango admisible de células (pérdida de trayecto en dB) Supuestos de ACLR de EB DDT: conjunto 1	Rango admisible de células (pérdida de trayecto en dB) Supuestos de ACLR de EB DDT: conjunto 2
DDT micro → DDF macro	5	124,2	127,7
	10	134,8	139,3
	15	145,5	145,5
DDF macro → DDT micro	5	90,2	No disponible
	10	100,9	
	15	111,2	
DDT micro → DDF micro (LoS)	5	117,3	120,7
	10	127,9	132,3
	15	138,3	138,3
DDT micro → DDF micro (NLoS)	5	133,9	137,0
	10	142,0	143,7
	15	144,7	144,7
DDF micro → DDT micro (LoS)	5	105,3	No disponible
	10	115,9	
	15	125,5	
DDF micro → DDT micro (NLoS)	5	121,9	
	10	130,0	
	15	132,6	

CUADRO 34

Tamaños de células admisibles para el caso real de inclinación de antena

Escenario EB-EB	Separación entre portadoras (MHz)	Rango admisible de células (pérdida de trayecto en dB) Supuestos de ACLR de EB DDT: conjunto 1	Rango admisible de células (pérdida de trayecto en dB) Supuestos de ACLR de EB DDT: conjunto 2
DDT micro → DDF macro	5	137,1	140,5
	10	146,9	150,1
	15	152,9	152,9
DDF macro → DDT micro	5	103,2	No disponible
	10	113,8	
	15	123,7	

4.2.2 Resultados de las simulaciones de Monte Carlo

4.2.2.1 Efectos sobre la capacidad de escenarios DDF macro/DDT micro a 3,84 Mchip/s y DDF micro/DDT micro a 3,84 Mchip/s

DDF macro – DDT micro

CUADRO 35

Interferencia EM-EB (enlace ascendente)

Interferente	Interferido	Pérdida de capacidad (%)
EM DDT	EB DDF	< 1
EM DDF	EB DDT	< 1

CUADRO 36

Interferencia EB-EM (enlace descendente)

Interferente	Interferido	Pérdida de capacidad (%)
EB DDT	EM DDF	1
EB DDF	EM DDT	4

CUADRO 37

Interferencia EM-EM (enlace descendente)

Interferente	Interferido	Pérdida de capacidad (%)
EM DDT	EM DDF	< 1
EM DDF	EM DDT	2

DDF micro – DDT micro

CUADRO 38

Interferencia EM-EB (enlace ascendente)

Interferente	Interferido	Pérdida de capacidad (%)
EM DDT	EB DDF	1
EM DDF	EB DDT	< 1

CUADRO 39

Interferencia EB-EM (enlace descendente)

Interferente	Interferido	Pérdida de capacidad (%)
EB DDT	EM DDF	< 1
EB DDF	EM DDT	1

CUADRO 40

Interferencia EM-EM (enlace descendente)

Interferente	Interferido	Pérdida de capacidad (%)
EM DDT	EM DDF	< 1
EM DDF	EM DDT	1

Estudios adicionales

Hasta ahora, todas las evaluaciones se han realizado en entornos de tipo Manhattan y para servicios simétricos (con conmutación de circuitos) cuyos usuarios están todos situados en exteriores. Son, por tanto, escenarios particularmente beneficiosos.

Deben realizarse estudios adicionales, por ejemplo, para otros entornos tales como los de interiores. También debe estudiarse la cobertura en interiores para verificar cómo ello afecta a la calidad de funcionamiento. Asimismo, puede ser de interés estudiar otros tipos de servicios, por ejemplo, servicios asimétricos en modo paquete.

4.2.2.2 Efecto sobre la capacidad de los escenarios DDF macro/DDT macro a 3,84 Mchip/s y DDF macro/DDT a 1,28 Mchip/s

A continuación se resumen los resultados.

CUADRO 41

DDT a 3,84 Mchip/s/DDF

Interferente/ Interferido	Macro/Macro (%)	Micro/Micro (%)	Pico/Pico (%)	Macro/Micro (%)
EM DDF/EB DDT	< 4	< 1	< 2	< 1
EM DDF/EM DDT	< 5	< 1	< 4	< 1
EM DDT/EB DDF	< 4	< 1	< 1	< 1

CUADRO 42

DDT/DDF a 1,28 Mchip/s

Interferido (receptor)	Interferente (transmisor)	Pérdida de capacidad relativa (%)
EB DDF	1,28 Mchip/s EM DDT (conjunto = 1)	< 2
EB DDT a 1,28 Mchip/s (grupo = 1)	EM DDF	< 2
EM DDT a 1,28 Mchip/s (grupo = 1)	EM DDF	< 2
EM DDT a 1,28 Mchip/s (grupo = 3)	EM DDF	< 3

4.2.2.3 Efectos de las interrupciones producidas por la interferencia EM-EM en escenarios DDF/DDT a 3,84 Mchip/s

En los puntos siguientes se presenta el nivel calculado de interrupciones de dos formas distintas. En primer lugar, los resultados se muestran para terminales DDF distribuidos espacialmente de manera uniforme, donde se aprecia el efecto de aumentar la densidad de terminales DDF en una célula.

En segundo lugar, se muestran los resultados del nivel de interrupción que se produce cuando existen distancias de separación fijas un terminal DDF y otro DDT, al tiempo que cambia la distancia desde cada terminal a su EB. Los resultados presentados ilustran la distancia a la que el nivel de interferencia se hace más significativa.

4.2.2.3.1 DDF macro – DDT macro

En los Cuadros 43 y 44 se muestran los resultados del escenario de interferencia DDF macro a DDT macro.

Se supone que para DDF el número máximo de usuarios de conversación por cada sector es 50. Para una célula de radio de 0,5 km, ello se corresponde con una densidad de 191 usuarios/km². También se incluyen otras densidades para simular células no plenamente cargadas.

CUADRO 43

Probabilidad de interferencia para varias densidades de estaciones interferentes

Separación entre portadoras (MHz)	5	10
Densidad de interferentes (1/km ²):		
50 (%)	< 1	< 1
100 (%)	1	< 1
191 (%)	1	< 1

Cuando la distancia de separación entre los terminales móviles es fija, varía la distancia entre los terminales móviles y sus respectivas EB. Esta situación está incluida en las simulaciones de Monte Carlo realizadas.

CUADRO 44

Probabilidad de interferencia para varias distancias de separación

Separación entre portadoras (MHz)	5	10
Distancia de separación (m):		
1 (%)	24	10
3 (%)	9	3
10 (%)	2	1
30 (%)	1	< 1
100 (%)	< 1	< 1

4.2.2.3.2 DDF macro – DDT pico

En los Cuadros 45 y 46 se muestran los resultados del escenario de interferencia de DDF macro a DDT pico.

En este caso, la probabilidad de interferencia es superior al caso DDT macro. Es probable que ello se deba a las bajas intensidades de campo de la señal DDT deseada, ya que la p.i.r.e. de la EB es pequeña y las pérdidas en trayectos interiores son elevadas. Además, la potencia de transmisión con control de potencia del terminal DDF móvil será elevada debido a que la pérdida de trayecto hasta la EB situada en el exterior también será elevada.

CUADRO 45

Probabilidad de interferencia para varias densidades de estaciones interferentes

Separación entre portadoras (MHz)	5	10
Densidad de interferente (1/km ²):		
50 (%)	3	3
100 (%)	4	3
191 (%)	7	4

CUADRO 46

Probabilidad de interferencia para varias distancias de separación

Separación entre portadoras (MHz)	5	10
Distancia de separación (m):		
1 (%)	73	54
3 (%)	54	34
10 (%)	18	8
30 (%)	3	2
100 (%)	2	2

4.2.3 Resultados de cálculos determinísticos de interferencia EM-EM

Generalmente, la pérdida media de capacidad debida a la interferencia EM-EM es pequeña. Sin embargo, para una EM individual, el efecto de la interferencia EM-EM puede ser grave, e incluso se puede perder la cobertura. El impacto es función de numerosos parámetros, algunos de los cuales se enumeran a continuación:

- Distancia entre las dos EM.
- Potencia de transmisión de la EM interferente.
- Posición en la célula (de la EM afectada).

Los efectos de la interferencia EM-EM sólo se aprecian normalmente cuando la distancia entre las EM es muy pequeña. Sin embargo, si la distancia es pequeña, existe una elevada probabilidad de que exista LoS entre los terminales, lo que redundará en una pérdida por trayecto reducida.

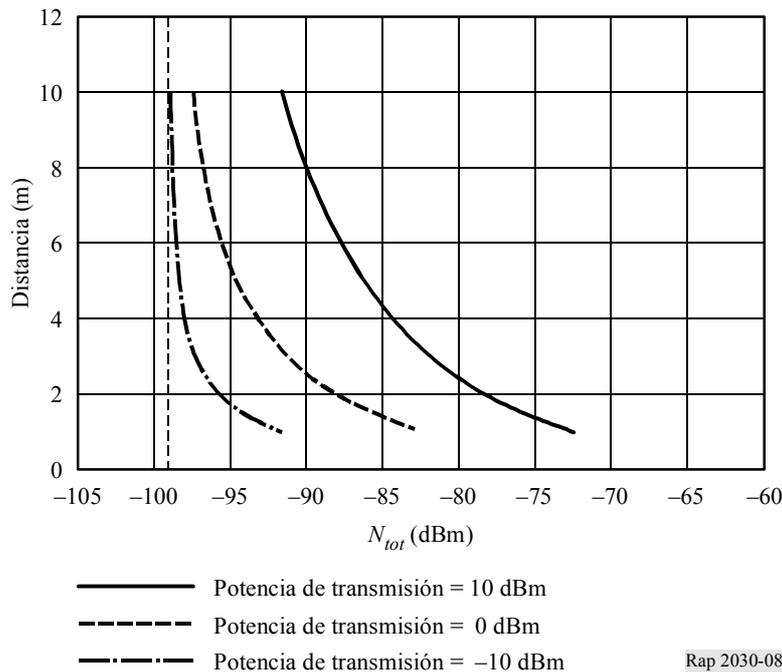
La potencia de transmisión de la EM interferente depende del escenario de despliegue (por ejemplo, la potencia de transmisión es mayor en un escenario macro en que las células son grandes, comparadas con un escenario micro en que las células son pequeñas) y de la carga del sistema.

Finalmente, el efecto es inferior si la EM afectada está próxima a su EB. En ese caso, la EB puede tener margen para aumentar la potencia en el enlace descendente a fin de superar el efecto de la interferencia.

Utilizando la misma metodología que la empleada en los casos de interferencia EB-EB, pero con los parámetros de las EM, se ha calculado la relación entre el ruido total en la EM y la distancia entre móviles para distintos valores de potencia de transmisión del sistema interferente.

La Fig. 8 muestra la distancia en función del umbral de ruido total N_{tot} en el caso de interferencia producida por una EM DDT sobre una EM DDF. Se supone que existen condiciones de propagación con LoS. Una distancia de separación pequeña junto con una potencia de transmisión elevada de la EM DDT hace que N_{tot} sea alto (compárese con el umbral de ruido en la EM, -99 dBm). Sin embargo, es difícil predecir las consecuencias de un mayor umbral de ruido, ya que ello depende de numerosos parámetros.

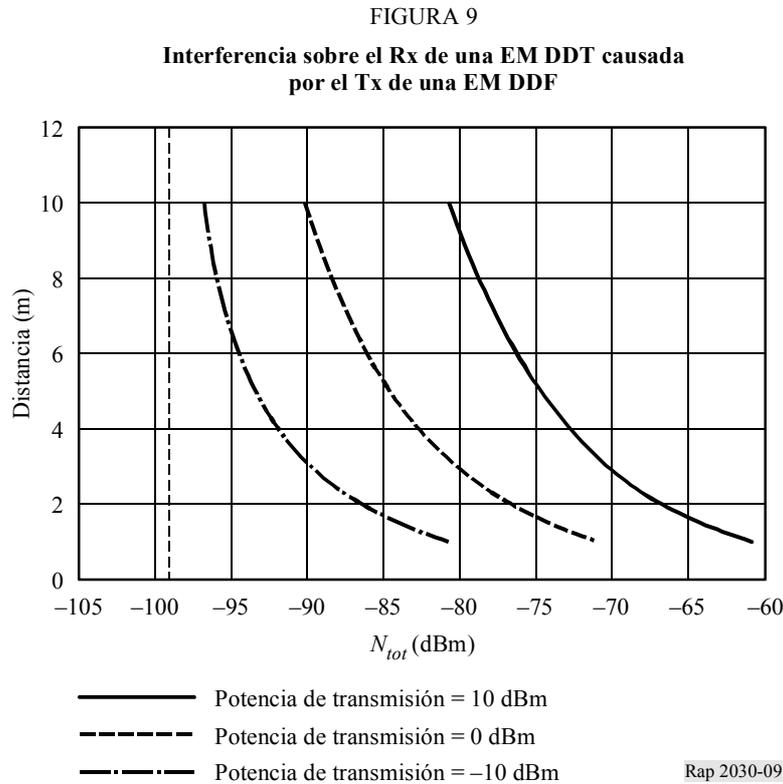
FIGURA 8
Interferencia sobre el Rx de una EM DDF causada por el Tx de una EM DDT



Sin embargo, un aumento sustancial del umbral de ruido (un elevado valor de N_{tot}) que la EB no pueda compensar mediante un aumento de la potencia emitida, produce la pérdida de cobertura de la EM interferida.

Obsérvese que las curvas están calculadas suponiendo una determinada potencia de transmisión instantánea. En el caso de DDT con una tasa de actividad de 1/15 (-11,8 dB) del tiempo y con el servicio de conversación del ejemplo, un valor instantáneo de -10, 0 ó 10 dBm se corresponde con valores promediados en el tiempo de -21,8; -11,8 y -1,8 dBm, respectivamente. Para los sistemas DDF, las potencias media e instantánea coinciden.

En la Fig. 9 se representa la situación inversa, es decir, una EM DDT interferida por una EM DDF. Debido al factor de actividad más elevado de la EM DDF, el efecto es mayor que en el caso anterior.



No es difícil imaginar escenarios comunes en los que distancias reducidas entre los móviles junto con potencias de medias a elevadas y distancias medias a grandes con la EB de servicio, produzcan un aumento muy importante del umbral de ruido total (un aumento de hasta 20-25 dB) que la EB no puede compensar. Ese es el caso de dos móviles situados en un autobús o en un tren y conectados a EB de exteriores micro o macro. La interferencia adicional será a menudo más que suficiente para que la EM interferida pierda su conexión.

Parece pues que la interferencia EM-EM tendrá consecuencias graves para los usuarios que la experimenten, mientras que otros usuarios no experimentarán ninguna degradación.

5 Conclusiones

La viabilidad de algunos escenarios está sujeta a que se alcance un cierto compromiso entre factores técnicos, reglamentarios y económicos. Este Informe refleja diferentes puntos de vista correspondientes a la elección de diversos compromisos posibles. Los puntos de vista expuestos no excluyen otros puntos de vista distintos. Las conclusiones siguientes reflejan exclusivamente los estudios realizados en este Informe.

Interferencia EB-EB: observaciones generales

- Varios escenarios y valores de parámetros examinados están asociados a problemas de interferencia grave.
- Las distancias de separación se han calculado para un intervalo de interferencia externa admisible en el que una menor distancia de separación implica valores elevados de la interferencia externa admisible planificada, lo cual, a su vez, implica una cobertura y/o capacidad más reducida y una potencia de transmisión superior para la EM del sistema interferido.

- La magnitud de la interferencia no varía sustancialmente cuando se considera la del enlace descendente DDF sobre el enlace ascendente DDT, o la del enlace descendente DDT sobre el enlace ascendente DDF en cualquiera de los escenarios analizados.
- Por lo tanto, los problemas potenciales provienen del hecho básico de que los transmisores del enlace descendente están geográfica y espectralmente cercanos a receptores sensibles del enlace ascendente, con independencia del método dúplex utilizado.
- En la mayor medida posible se asumen los requisitos mínimos de las especificaciones 3GPP relativos a las características del transmisor y del receptor. Obsérvese que los equipos reales pueden presentar mejores características que las requeridas por las especificaciones.
- Cuando se analizan varios escenarios, se necesitan valores elevados de distancia de separación o un aislamiento adicional para estar en situación de baja interferencia (véanse los § 4.2.1.1 y 4.2.1.2). Algunos escenarios presentan distancias de separación reducidas y no requieren aislamiento adicional.
- En algunos escenarios de despliegue, se puede llegar a compromisos entre distancias de separación, por un lado, y cobertura y potencia de transmisión máxima de la EM del sistema interferido por otro (véase el § 4.2.1.4)

EB (EB-EB) próximas entre sí: AMDC de banda ancha/DDT a 3,84 Mchip/s (véase el § 4.2.1.1)

CUADRO 47

Interferencia EB-EB entre sistemas AMDC de banda ancha/DDT a 3,84 Mchip/s

Escenario	Separación entre portadoras (MHz)	Separación requerida de DDT a DDF (m)	Separación requerida de DDF a DDT (m)	Separación de referencia (m)	Aislamiento adicional requerido (dB)
Macro-a-macro (LoS)	5-15	2 136-9 541	2 689-14 275	100	+49,3
Macro-a-micro (vehicular)	5-15	48-222	61-341	50	+20,4
Micro-a-micro (LoS)	5	130-290	290-650	50	+8,3
	10	33-73	130-290	50	–
	15	16-37	26-60	50	–
Micro-a-micro (peatonal)	5	33-52	52-80	50	+8,3
	10-15	9-24	12-52	50	–
Micro-a-macro (vehicular)	5-15	58-284	69-341	100	–
Pico-a-macro (exterior a interior)	5-15	15-65	11-58	50	–
Pico-a-micro (exterior a interior)	5-15	3-15	6-31	20	–12,4
Micro-a-pico (exterior a interior)	5-15	4-10	5-25	20	–11,4
Pico-a-pico (LoS)	5-15	1-9	2-7	10	–0,7
Pico-a-pico (interior)	5-15	1	1	10	–25,3

Las distancias de separación se han calculado con las ganancias de antena del Cuadro 49 del Apéndice 3. En el Cuadro 47 se muestran los resultados obtenidos a partir de los Cuadros 25 y 26 del § 4.2.1.1. Para el conjunto completo de resultados, véanse dichos Cuadros.

EB próximas entre sí (EB-EB): AMDC de banda ancha/DDT a 1,28 Mchip/s (véase el § 4.2.1.3)

CUADRO 48

EB-EB: AMDC de banda ancha/TD-SCDMA

Escenario	Separación entre portadoras (MHz)	Aislamiento adicional requerido (dB)	Distancia de separación de referencia (m)	Aislamiento adicional requerido (dB)
Macro-a-macro	3,5	40,9 (SÍ)	100	2 700
Macro-a-micro	3,5	-1,6 (NO)	50	44,7
Macro-a-pico	3,5	-9,3 (NO)	20	9,8
Micro-a-macro	3,5	-7,6 (NO)	50	31,6
Micro-a-micro	3,5	-11,4 (NO)	50	23,4
Micro-a-pico	3,5	-23,3 (NO)	50	3,3
Pico-a-macro (exterior a interior)	3,5	-15,3 (NO)	10	6,2
Pico-a-micro (exterior a interior)	3,5	-23,3 (NO)	50	3,3
Pico-a-pico (interior a interior)	3,5	-35,3 (NO)	10	1,3

EB coubicadas (EB-EB): AMDC de banda ancha/DDT a 3,84 Mchip/s (véase el § 4.2.1.4)

- La coubicación de EB será predominante en el futuro.
- Cuando las EB macro AMDC de banda ancha y DDT a 3,84 Mchip/s están coubicadas, el umbral de ruido de ambos sistemas se ve muy afectado si la pérdida de acoplamiento es de 30 dB.
- La cobertura y la capacidad se ven gravemente afectadas si no se proporciona un aislamiento adecuado entre EB.
- Sobre la base de las especificaciones existentes y de los supuestos de MCL, incluso una banda de guarda de 5 MHz o de 10 MHz no elimina el problema.
- Deben continuarse los estudios para definir las especificaciones del sistema y las bandas de guarda necesarias, según proceda, teniendo en cuenta la coubicación de EB y considerando que en los sistemas reales puede conseguirse un cierto grado de aislamiento.

Soluciones propuestas para la interferencia EB-EB

Existen una serie de actuaciones básicas que pueden acometerse individualmente o combinadas para combatir los problemas de interferencia EB-EB. Todas tienen un coste asociado y otras dificultades que deben tenerse en cuenta, pues siempre es posible alcanzar un cierto nivel de compromiso.

- La instalación de filtros de mayor calidad de funcionamiento en el transmisor y en el receptor.
- La planificación conjunta de varios sistemas para que las EB estén alejadas de las EB de cualquier sistema interferido. Si existen varios operadores, es necesaria la colaboración entre competidores.

- La consideración de bandas de guarda adecuadas para los diversos escenarios a fin de permitir flexibilidad en el despliegue.
- El hecho de que los sistemas interferentes sean de baja potencia reduce el problema, pero también reduce la cobertura y la flexibilidad del despliegue.
- El hecho de que los valores exactos de las bandas de guarda, los requisitos de los filtros, etc., dependan de diversos factores, sin que en este Informe se ofrezca una respuesta definitiva a esta cuestión.
- La planificación de un nivel de interferencia más elevado en el receptor de la EB, teniendo en cuenta los compromisos que es necesario adoptar. Ello incluye ciertos límites en el tamaño de la célula y un nivel de potencia del transmisor móvil más elevado en el sistema interferido, y las consecuencias que ello conlleva.

Interferencia de EM a EB y viceversa (EM-EB y EB-EM)

- En el caso de los escenarios de tipo Manhattan estudiados con usuarios uniformemente distribuidos en exteriores, las simulaciones de Monte Carlo sugieren que la interferencia EM-EB y EB-EM tendrá un efecto pequeño o despreciable en la capacidad cuando se promedie sobre todo el sistema.

Interferencia EM-EM

- Las simulaciones de Monte Carlo sugieren que la interferencia EM-EM tendrá un efecto pequeño o despreciable sobre la capacidad cuando ésta se promedie sobre todo el sistema y se utilicen densidades de usuarios uniformes (véase el § 4.2.2.3).
- Los cálculos de interferencia EM-EM determinísticos sugieren que un móvil puede producir interferencia grave sobre otro móvil cercano geográficamente y espectralmente (véase el § 4.2.3).
- Por lo tanto, es necesario realizar estudios en los que se consideren distribuciones de usuarios no uniformes, que es una situación más realista en sistemas implementados en zonas de alta utilización (véase el § 4.2.3)
- El nivel de interrupciones no pueden reducirse mucho, ni aún a expensas de la densidad de EB o de una disminución de capacidad. En lugar de ello, los requisitos deben fijarse en relación con el nivel de servicio.

Referencias Bibliográficas

- [1] 3GPP TS 25.104 v3.4.0. Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD).
- [2] 3GPP TS 25.105 v3.4.0. UTRA (BS) TDD: Radio transmission and reception.
- [3] 3GPP TS 25.101 v3.4.0. User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD).
- [4] 3GPP TS 25.102 v3.4.0. User Equipment (UE) radio transmission and reception (TDD).
- [5] HOLMA, H. y TOSKALA, A. [2000] *WCDMA for UMTS – Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. John Wiley & Sons.
- [6] 3GPP TR 25.942 v2.1.3. RF system scenarios.
- [7] RAPPAPORT, T. S. [1996] *Wireless Communications – Principles and Practice*, Prentice Hall PTR.
- [8] SMG2 UMTS L1 Tdoc 679/98. Coupling Loss analysis for UTRA – additional results, Siemens.

Apéndice 1

ACLR, ACS y ACIR

ACLR: Relación de potencia en el canal adyacente (ACLR, *adjacent channel leakage power ratio*)

ACS: Selectividad del canal adyacente (*adjacent channel selectivity*)

ACIR: Relación de potencia interferente del canal adyacente (*adjacent channel interference power ratio*)

ACLR es la relación entre la potencia transmitida en la portadora y la potencia que pasa a las bandas de frecuencia vecinas. Por tanto, ACLR es una medida de la calidad de funcionamiento del transmisor.

Por su parte, ACS es una medida de la calidad de funcionamiento del receptor. ACS representa el grado de supresión de la potencia del canal adyacente (en relación con la potencia del canal propio).

Conjuntamente, ACLR y ACS representan la protección de la interferencia del canal adyacente. Dicho factor de protección se denomina ACIR y se define como:

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

donde ACLR y ACS se expresan como relaciones, no en dB.

Para cumplir los requisitos específicos de ACIR, los valores de ACLR y ACS deben ser mayores que el de ACIR. Si ACLR y ACS son iguales, su valor debe ser al menos dos veces el de ACIR (3 dB, si se expresa en dB).

Apéndice 2

Obtención del modelo de propagación con LoS de doble pendiente

El modelo se construye de la forma siguiente:

- Se suponen condiciones de propagación en espacio libre para distancias pequeñas, d . Mediante las ecuaciones 3.3 y 3.6 incluidas en [7] y para $f=2,6$ GHz, se obtiene la pérdida de trayecto en base a $40,7 + 20 \log_{10}(d)$, con ganancias de antena de valor unidad.
- Para grandes distancias, y para el modelo de reflexión, la dependencia con la distancia viene dada por $40 \log_{10}(d)$ (véase [7, p. 89]).
- La intersección entre la primera zona de Fresnel y el terreno se produce a la distancia de Fresnel (véase [7, p. 89]): $d_{break} = 4 \frac{h_{tx} \cdot h_{rx}}{\lambda}$

- Las condiciones de propagación en espacio libre son aplicables hasta la distancia de Fresnel.
- Una estimación conservadora sobre la distancia a la que se encuentra el punto de inflexión es hacerla coincidir con la distancia de Fresnel.
- La combinación de los factores anteriores constituye el modelo con LoS y de doble pendiente.

En realidad, el parámetro atenuación comienza a variar de forma continua desde «20», a la distancia de Fresnel, hasta «40» a distancias suficientemente grandes. La introducción de un punto de inflexión a la distancia de Fresnel, sobrevalora la pérdida de propagación para distancias superiores al punto de inflexión.

Por lo tanto, a distancias superiores al punto de inflexión, se infravalora la potencia interferente en el receptor interferido. Dado que el modelo que se plantea en este Informe se utiliza en estudios de interferencias, puede considerarse que se trata de un modelo muy conservador.

Por ejemplo, en el caso de escenarios de interferencia EM-EM, las distancias son sensiblemente inferiores a la distancia del punto de inflexión, por lo que el modelo se corresponde con la propagación en espacio libre.

Apéndice 3

Ganancia de antena real de las antenas de las estaciones interferente e interferida

Existen dos criterios básicos relativos a la ganancia real de las antenas de las estaciones interferente e interferida.

- Considerar que la ganancia real es la suma simple de la ganancia máxima de las antenas de la estación interferente y de la estación interferida (véase el § 1).
- Considerar que la ganancia real es la ganancia en la dirección entre ambas antenas (véanse los § 2 y 3, donde los diagramas verticales de antena son distintos).

1 Suma de las ganancias máximas de las antenas de las estaciones interferente e interferida

En general, la ganancia de antena resultante depende de la ganancia de antena del transmisor y del receptor, así como de la dirección de ambas antenas.

Si las antenas están situadas a la misma altura, se supone que la ganancia de antena resultante es la suma de las ganancias de las antenas Tx y Rx. Sin embargo, si las alturas de las antenas son significativamente diferentes, la ganancia de antena resultante es la ganancia de la que está situada al nivel más elevado. En el Cuadro 49 se representan las ganancias de antena resultantes de las distintas combinaciones de EB (la ganancia en Tx y Rx de la antena de una EB es la misma). La altura de una EB macro es de 30 m y la de estaciones micro y pico es de 6 m por encima del suelo. Por lo tanto, se considera que las EB de los modelos micro y pico están situadas a la misma altura. Las EB macro están situadas por encima de las EB micro y pico.

El Cuadro 49 es válido para sistemas DDT a 1,28 Mchip/s y a 3,84 Mchip/s.

CUADRO 49

Ganancia de antena resultante

	EB DDF macro (15 dBi)	EB DDF micro (6 dBi)	EB DDF pico (0 dBi)
EB DDT macro (15 dBi)	30	15	15
EB DDT micro (6 dBi)	15	12	6
EB DDT pico (0 dBi)	15	6	0

2 Suma de las ganancias de las antenas en las direcciones de la estación interferente y de la estación interferida (diagrama de radiación vertical de la antena definida por el ángulo a 3 dB y a 10 dB)

En lo que sigue se utilizan escenarios macro y micro para analizar la ganancia de las antenas en una configuración de red real.

El valor real del aislamiento entre antenas es función del ángulo de inclinación, la anchura vertical del haz y la ganancia de la antena. En la práctica, para reducir la interferencia entre células, el lóbulo principal de la antena está inclinado un cierto ángulo, siendo éste dependiente de la altura de la antena, del radio de la célula, de la anchura vertical del haz y de otros factores [8].

Cuando coexisten sistemas TD-SCDMA y DDF en bandas adyacentes y en la misma zona, la ganancia de la antena depende de la directividad del diagrama de radiación de las antenas de las estaciones interferente e interferida, así como del ángulo de inclinación de ambas.

Anchura del haz de la antena

La anchura del haz de la antena en que la potencia se reduce 3 dB, θ , puede estimarse mediante:

$$\theta = 180/G$$

Donde G es la ganancia máxima de la antena.

A efectos de cálculos de ingeniería, la anchura del haz de la antena para una reducción de potencia de 10 dB, puede estimarse que es, aproximadamente, 2θ .

Ganancia de antenas reales entre una EB macro y una EB micro

En el caso de los escenarios de micro a macro, las alturas de las antenas difieren significativamente; la ganancia real de antena de ambos sistemas debe calcularse sumando las ganancias de la antena transmisora (Tx) y receptora (Rx) en la dirección desde la EB macro a la EB micro, tal como se representa en la Fig. 3.

Supuestos:

Distancia de separación de referencia:	$D = 50$ m
Ganancia en Tx de la antena de la EB micro:	$G_{A,Tx} = 6$ dBi
Ganancia en Rx de la antena de la EB macro:	$G_{A,Rx} = 15$ dBi
Altura media de la antena de la célula macro:	30 m
Altura media de la antena de la célula micro:	6 m
Ángulo de inclinación descendente de la antena de la EB macro:	$4,43^\circ$
Ángulo de inclinación descendente de la antena de Tx micro:	$2,5^\circ$

Anchura vertical del haz de la antenna de la EB macro:

$$\theta_{macro} = 180/G_{macro} = 5,7^\circ$$

Anchura vertical del haz de la antenna de la EB micro:

$$\theta_{micro} = 180/G_{micro} = 45,2^\circ$$

Ángulo c :

$$c = \text{tg}^{-1}((h_1 - h_2)/D) = \text{tg}^{-1}(Dh/D) = 25,64^\circ$$

Ángulo a :

$$a = c - 4,43 = 21,21^\circ$$

Ángulo b :

$$b = c + 2,5 = 28,14^\circ$$

Del análisis anterior, se desprende que el ángulo a es mayor que la anchura vertical del haz, θ_{macro} , por lo que la atenuación en dicha dirección es 10 dB inferior a su ganancia máxima. Por tanto, la ganancia con la que contribuye la EB macro es inferior a 5 dB ($15 - 10 = 5$).

El ángulo de inclinación b es mayor que la anchura vertical del haz $\theta_{micro}/2$, por lo que la atenuación en dicha dirección es 3 dB inferior a su ganancia máxima.

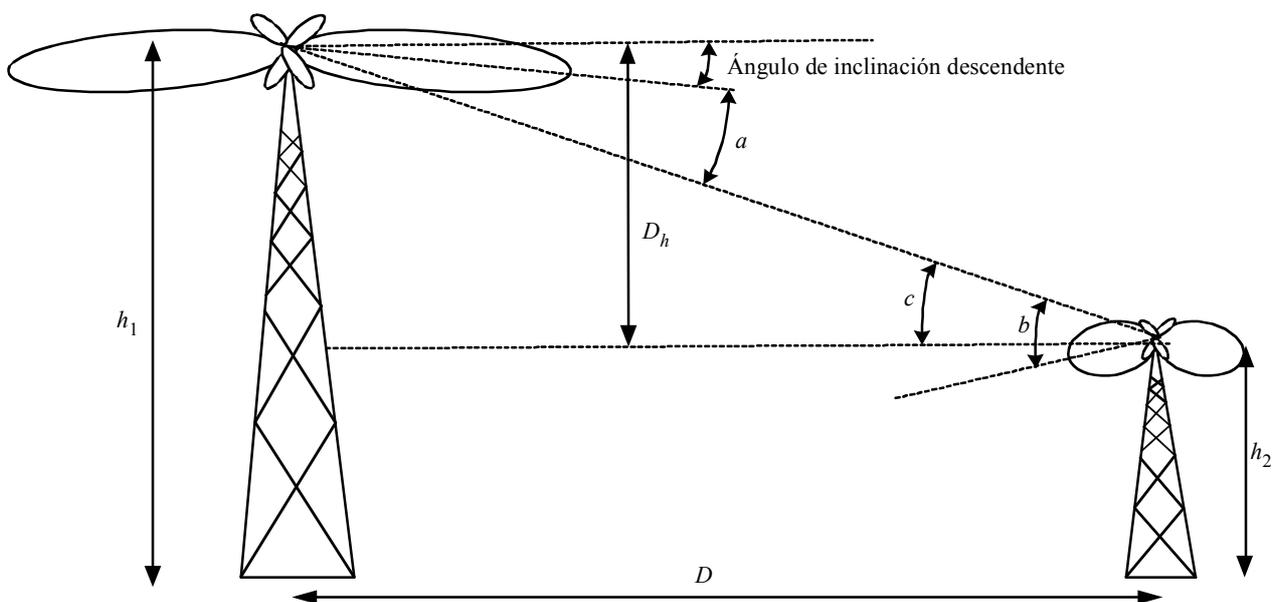
Por tanto, la ganancia real de la EB micro es menor de 3 dB ($6 - 3 = 3$).

La ganancia real de las antenas transmisora y receptora puede estimarse mediante la fórmula:

$$G_{real} = G_{macro}(a) + G_{micro}(b) < 5 + 3 = 8 \text{ dB}$$

FIGURA 10

Diagrama de las antenas de las EB para macro células y micro células



Si aumenta la distancia entre la antena transmisora y la antena receptora, el ángulo de inclinación descendente debe disminuir, de forma que la ganancia real de las antenas transmisora y receptora aumenta. Sin embargo, la pérdida de trayecto de las estaciones interferente e interferida aumenta más rápidamente que el aumento de ganancia, por lo que el aislamiento total entre estación interferente y estación interferida es mayor si aumenta la distancia entre antena transmisora y receptora.

Utilizando el método indicado para los escenarios de interferencia entre estaciones de células macro y manteniendo las antenas a la misma altura, la ganancia real de las antenas transmisora y receptora debe ser al menos 6 dB inferior a la suma de las ganancias máximas de las dos antenas.

3 Suma de la ganancia de las antenas en las direcciones de la estación interferida e interferente (diagrama de radiación vertical de la antena conforme con la Recomendación UIT-R F.1336)

Los cálculos realizados aprovechan el enfoque propuesto en el § 2 y lo amplían a todos los escenarios posibles (tal como se propone en el Cuadro 49). El diagrama de radiación vertical en células macro y micro se obtienen a partir de la Recomendación UIT-R F.1336, empleando un factor de forma K de valor 0,2 para cualquier ángulo de inclinación ($2,5^\circ$ en cualquier escenario de despliegue de células); se supone que las antenas son sectoriales de 120° . En el caso de pico células, se supone que la antena es omnidireccional.

Este punto es conforme con el Informe UIT-R M.2039 – Características de los sistemas IMT-2000 terrenales para los análisis de compartición de frecuencias/interferencia».

Los supuestos relativos al factor de forma K y a los ángulos de inclinación, pueden ser modificados en un futuro próximo.

Diagramas de radiación de las antenas (células macro y micro)

La Recomendación UIT-R F.1336 define diagramas de radiación de referencia de antenas omnidireccionales, sectoriales y otros tipos de antenas de sistemas de punto a multipunto para su utilización en estudios de compartición en la gama de frecuencias de 1 GHz a aproximadamente 70 GHz.

En el caso de antenas sectoriales, dicha Recomendación incluye las ecuaciones siguientes:

$$G(\theta) = \text{máx} \{ G_1(\theta), G_2(\theta) \}$$

$$G_1(\theta) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_3} \right)^2$$

$$G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \log \left[\left(\text{máx} \left\{ \frac{|\theta|}{\theta_3}, 1 \right\} \right)^{-1,5} + K \right]$$

donde:

$G(\theta)$: ganancia relativa a una antena isótropa (dBi)

G_0 : ganancia máxima en el plano horizontal o cerca del mismo (dBi)

θ : valor absoluto de ángulo de elevación relativo al ángulo de ganancia máxima (grados)

θ_3 : anchura del haz a 3 dB en el plano vertical (grados)

K : parámetro que tiene en cuenta niveles de lóbulos laterales superiores de lo que sería previsible para una antena con características de funcionamiento de lóbulo lateral mejoradas (valor típico: $K = 0,7$ entre 1 y 3 GHz).

La relación entre la ganancia (dBi) y la anchura del haz a 3 dB en el plano de elevación (grados) para una antena sectorial, es la siguiente:

$$\theta_3 = \frac{31000 \times 10^{-0,1G_0}}{\varphi_s}$$

donde φ_s es la anchura del haz de 3 dB del sector en el plano acimutal (grados).

Ganancias de antena resultantes

La geometría de los escenarios es la misma que en el § 2, Fig. 10. Utilizando la notación de la Fig. 10 y:

- Alturas de antenas h_1 y h_2 (macro: 30 m, micro: 6 m).
- Ángulos de inclinación de las antenas macro y micro: 2,5° descendente para inclinación 1 e inclinación 2.

Se obtiene lo siguiente:

Ángulo a :

$$a = \text{sen}^{-1} \left(\frac{h_1 - h_2}{\sqrt{(h_1 - h_2)^2 + D^2}} \right) - \text{inclinación 1}$$

Ángulo b :

$$b = \text{sen}^{-1} \left(\frac{h_1 - h_2}{\sqrt{(h_1 - h_2)^2 + D^2}} \right) - \text{inclinación 2}$$

La ganancia resultante de las antenas de las dos EB se obtiene utilizando las fórmulas de la Recomendación UIT-R F.1336 (la pérdida del alimentador FL_{EB} es 2 dB para todas las EB consideradas):

$$G_{\text{resultante}} = G_{EB1}(a) + G_{EB2}(b) - 2FL_{EB}$$

Características de la EB

- Ganancia de la antena: 17 dBi (macro), 8 dBi (micro), 2 dBi (pico)
- Factor de forma K de la Recomendación UIT-R F.1336: 0,2 (macro y micro), y 1 (pico)
- Sector de las antenas (macro y micro): 120°
- Alturas de las antenas: 30 m (macro), 6 m (micro), 2 m (pico)
- Pérdidas de los alimentadores: 2 dB.

De donde se obtienen los valores que figuran en el Cuadro 50:

CUADRO 50

Ganancia de antena resultante

	DDF macro EB (15 dBi)	DDF micro EB (6 dBi)	DDF pico EB (0 dBi)
EB DDT macro (15 dBi)	23	0-15	0-15
EB DDT micro (6 dBi)	0-15	12	5
EB DDT pico (0 dBi)	0-15	5	0