

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1236*

COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE LOS ENLACES PARA ACTIVIDADES FUERA DEL VEHÍCULO ESPACIAL (EVA) DEL SERVICIO DE INVESTIGACIÓN ESPACIAL Y LOS ENLACES DE LOS SERVICIOS FIJO Y MÓVIL EN LA BANDA DE 410-420 MHz

(Cuestión UIT-R 212/7)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los servicios fijo y móvil explotan y prevén explotar diversos sistemas en la banda de 410-420 MHz;
- b) que el servicio de investigación espacial prevé explotar enlaces para actividades fuera del vehículo espacial (EVA) en la banda de 410-420 MHz en las comunicaciones espacio-espacio, a un máximo de 5 km de un vehículo espacial orbital tripulado;
- c) que la protección de los servicios fijo y móvil puede lograrse estableciendo límites adecuados de densidad de flujo de potencia (DFP) en las emisiones de actividades extravehiculares;
- d) que el entorno de interferencia para el servicio de investigación espacial en la banda de 410-420 MHz puede frecuentemente ser un factor a tener en cuenta al determinar la distancia máxima operacional de los sistemas EVA;
- e) que el Anexo 1 contiene un método para evaluar la protección de los servicios fijo y móvil y para predecir el entorno de radiofrecuencia de los sistemas EVA,

recomienda

1 que, en la banda de frecuencias de 410-420 MHz, y suponiendo condiciones de propagación del espacio libre, la densidad máxima de flujo de potencia en la superficie de la Tierra producida por las emisiones EVA situado en órbita baja, para todas las condiciones y métodos de modulación, no exceda de:

-153	dB(W/m ²)	para	$0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$
$-153 + 0,077(\theta - 5)$	dB(W/m ²)	para	$5^\circ < \theta \leq 70^\circ$
-148	dB(W/m ²)	para	$70^\circ < \theta \leq 90^\circ$

siendo θ el ángulo de llegada de la onda radioeléctrica (grados sobre la horizontal) y para 4 kHz de anchura de banda de referencia;

2 que los sistemas EVA se diseñen optimizando las distancias operacionales y se exploten aprovechando al máximo las técnicas de funcionamiento, tales como la diversidad de frecuencias y la previsión de los horarios de actividad, para reducir los posibles efectos de interferencia.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de los Grupos de Trabajo 8A y 9D de Radiocomunicaciones.

Compartición de frecuencias entre los enlaces para EVA del servicio de investigación espacial y los enlaces de los servicios fijo y móvil en la banda de 410-420 MHz

1 Introducción

La Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) efectuó una atribución con carácter secundario al servicio de investigación espacial en la banda de 410-420 MHz para las operaciones espacio-espacio. Estas operaciones, que se limitan a una distancia de 5 km de un vehículo espacial orbital tripulado, sirven para las comunicaciones de las EVA entre astronautas y entre éstos y los vehículos espaciales primarios o de base. En el futuro, a medida que se desarrollen instalaciones espaciales permanentes, las necesidades y requisitos de las EVA aumentarán también para poder dar apoyo a muchas de las actividades espaciales planificadas y previstas. Esta situación se presentará sin duda al considerar la construcción, mantenimiento y explotación de las instalaciones espaciales.

El presente Anexo es una actualización de la labor efectuada por el ex CCIR 1991 y muestra los requisitos de comunicaciones de las EVA en la banda de 410-420 MHz e identifica las características típicas de comunicaciones de los servicios fijo y móvil en dicha banda. En el Anexo se analiza la interferencia causada por los sistemas EVA de investigación espacial a los sistemas de los servicios fijo y móvil, en términos de densidad de flujo de potencia que incide en la superficie de la Tierra. Para evaluar la interferencia causada a los enlaces EVA de investigación espacial se utiliza un sistema representativo del servicio fijo y uno representativo del servicio móvil.

2 Objetivos y requisitos del servicio de investigación espacial

El objetivo principal de los enlaces espacio-espacio del servicio de investigación espacial en la banda de 410-420 MHz es el establecimiento de comunicaciones de gran calidad para los astronautas que salen del vehículo espacial e intervienen en actividades fuera de éste. Dichos enlaces sirven para atender a los tres requisitos siguientes de las comunicaciones que han de ser:

- un medio directo de comunicaciones vocales entre astronautas que participan en operaciones EVA;
- un medio directo de comunicaciones vocales entre un astronauta y el vehículo espacial primario;
- un medio directo de comunicaciones de datos entre un astronauta y el vehículo espacial primario.

Los astronautas se comunican a través de una unidad de movilidad EVA (EMU) sujeta al traje de supervivencia del astronauta. Aunque puede que no se requiera frecuentemente establecer comunicaciones, la capacidad de establecimiento del enlace debe estar disponible en cualquier momento. Podrán comunicarse simultáneamente con el vehículo espacial primario un máximo de cuatro astronautas.

Las altitudes orbitales típicas de las operaciones EVA oscilan entre 333 y 460 km con ángulos de inclinación de hasta 60°. La distancia máxima operacional para las comunicaciones entre astronautas es de 500 m. En las comunicaciones entre un astronauta y el vehículo espacial primario, la distancia máxima operacional es de 1000 m.

3 Descripción y características del sistema

Las comunicaciones necesarias en este sistema se agrupan en los tres enlaces siguientes:

- enlaces entre dos (o más) astronautas (EMU-EMU),
- enlaces entre un astronauta y el vehículo de base (EMU-base), y
- enlaces entre el vehículo de base y uno o más astronautas (base-EMU).

El Cuadro 1 enumera las características de comunicación y el Cuadro 2 muestra las ecuaciones del enlace de este sistema. Las Figs. 1 y 2 muestran los diagramas de radiación de antena de la EMU y del vehículo de base.

CUADRO 1

Características del sistema EVA

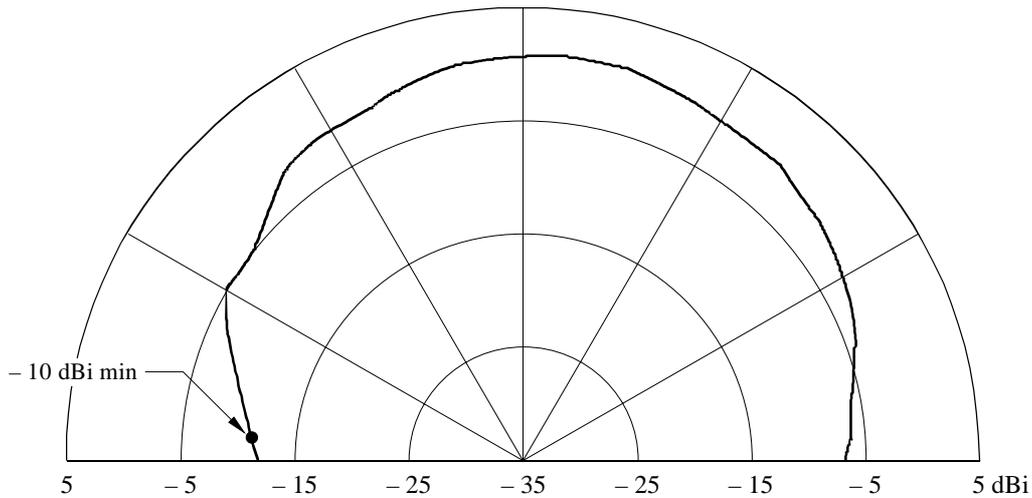
Frecuencia (MHz)	415	
Modulación	AMDT/CPFSK	
Velocidad de datos en ráfagas (kbit/s)	695	
Anchura de banda (kHz)	800	
Proporción de bits erróneos necesaria	1×10^{-5}	
Relación E_b/N_0 necesaria (dB)	12,6	
	EMU	Vehículo de base
<i>Parámetros del transmisor:</i>		
Potencia del transmisor (dBW)	-6,0	-6,0
Pérdidas de la línea del transmisor (dB)	-0,2	-7,0
Ganancia máxima de la antena (dBi)	1,5	3,0
Ganancia mínima de la antena (dB)	-10,0	-6,0
Polarización de la antena	Lineal	Circular
p.i.r.e. máxima (dBW)	-4,7	-10,0
<i>Parámetros del receptor:</i>		
Ganancia máxima de la antena (dBi)	1,5	3,0
Ganancia mínima de la antena (dB)	-10,0	-6,0
Pérdidas del cable de antena (dB)	-0,2	-7,0
Temperatura de ruido del sistema (K)	1 820	2 754

CUADRO 2

Balances del enlace de un sistema EVA

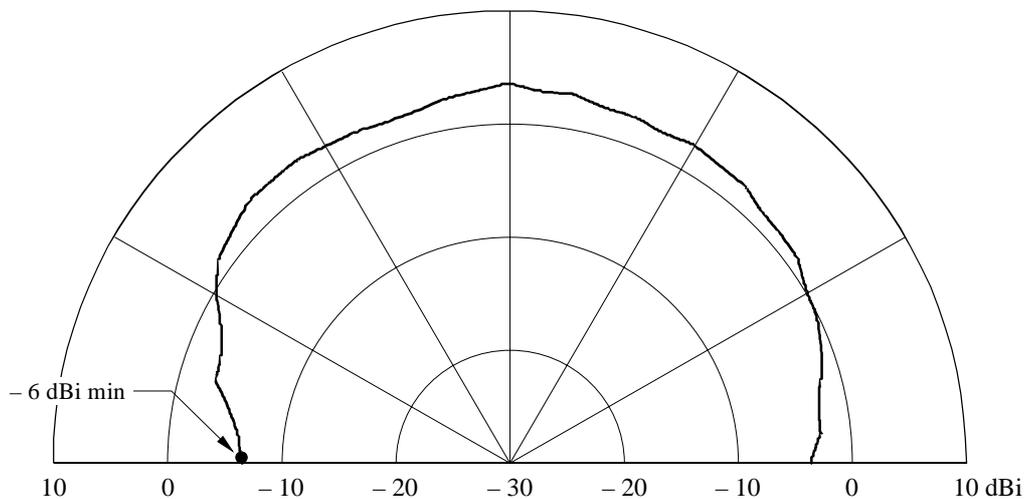
	EMU-EMU	EMU-base	Base-EMU
<i>Sistema de transmisión:</i>			
Potencia del transmisor (dBW)	-6,0	-6,0	-6,0
Pérdidas de la línea del transmisor (dB)	-0,2	-0,2	-7,0
Ganancia mínima de la antena (dB)	-10,0	-10,0	-6,0
p.i.r.e. (dBW)	-16,2	-16,2	-19,0
Distancia máxima (m)	500	1 000	1 000
Pérdidas espaciales (dB)	-78,8	-84,8	-84,8
<i>Sistema de recepción:</i>			
Ganancia mínima de la antena (dB)	-10,0	-6,0	-10,0
Pérdidas del cable de antena (dB)	-0,2	-7,0	-0,2
Pérdidas de polarización (dB)	-3,0	-3,0	-3,0
Potencia recibida (dBW)	-108,2	-117,0	-117,0
Temperatura de ruido del sistema (K)	1 820	2 754	1 820
Densidad espectral de ruido (dB(W/Hz))	-196,0	-194,2	-196,0
Anchura de banda de la velocidad binaria (dB(Hz))	58,4	58,4	58,4
Pérdidas de implementación (dB)	-3,0	-3,0	-3,0
Relación E_b/N_0 recibida (dB)	26,4	15,8	17,6
Relación E_b/N_0 requerida (dB)	12,6	12,6	12,6
<i>Margen del enlace (dB)</i>	<i>13,8</i>	<i>3,2</i>	<i>5,0</i>

FIGURA 1
Diagrama de la antena de la EMU



1236-01

FIGURA 2
Diagrama de la antena del vehículo de base



1236-02

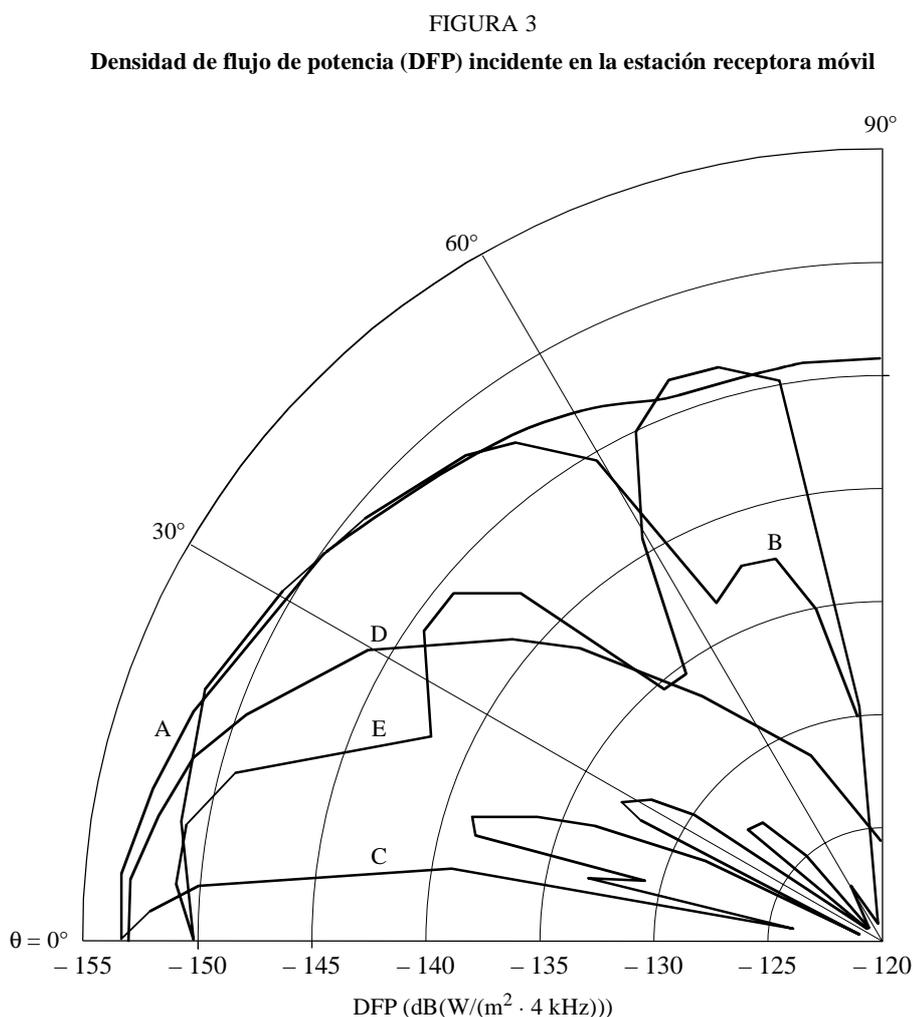
4 Interferencia en los enlaces de los servicios fijo y móvil procedente de los enlaces EVA del servicio de investigación espacial

El Informe UIT-R M.358 «Relaciones de protección e intensidades mínimas de campo necesarias en los servicios móviles», especifica que una degradación de la relación señal/ruido inicial de 20 dB a una relación señal/(ruido más interferencia) de 14 dB constituye una relación de protección aceptable. Estos 6 dB de degradación corresponden a una relación señal/interferencia de 15,26 dB. Este criterio se utilizó para determinar los valores de la intensidad de campo no deseada permitida y el correspondiente de densidad de flujo de potencia procedente de los enlaces EVA para proteger las estaciones receptoras móviles terrenales. A un ángulo de elevación de 0°, se estableció para una estación de

base una intensidad de campo no deseada de $-1,4 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ en una banda de 16 kHz , lo que corresponde a una densidad de flujo de potencia de $-153,2 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 4 \text{ kHz}))$. Para una estación móvil, se estableció una intensidad de campo no deseada de $+1,6 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ en una banda de 16 kHz , lo que corresponde a una densidad de flujo de potencia de $-150,2 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 4 \text{ kHz}))$.

Las curvas B, C, D y E de la Fig. 3 muestran los valores del caso más desfavorable de intensidad de campo no deseada (expresada en términos de densidades de flujo de potencia incidentes en la estación receptora móvil) en función del ángulo de elevación del satélite, teniendo en cuenta la variación de la ganancia de la antena receptora al aumentar los ángulos de elevación. Una intensidad de campo interferente menor (a la izquierda) de los valores que dan las curvas cumpliría los criterios.

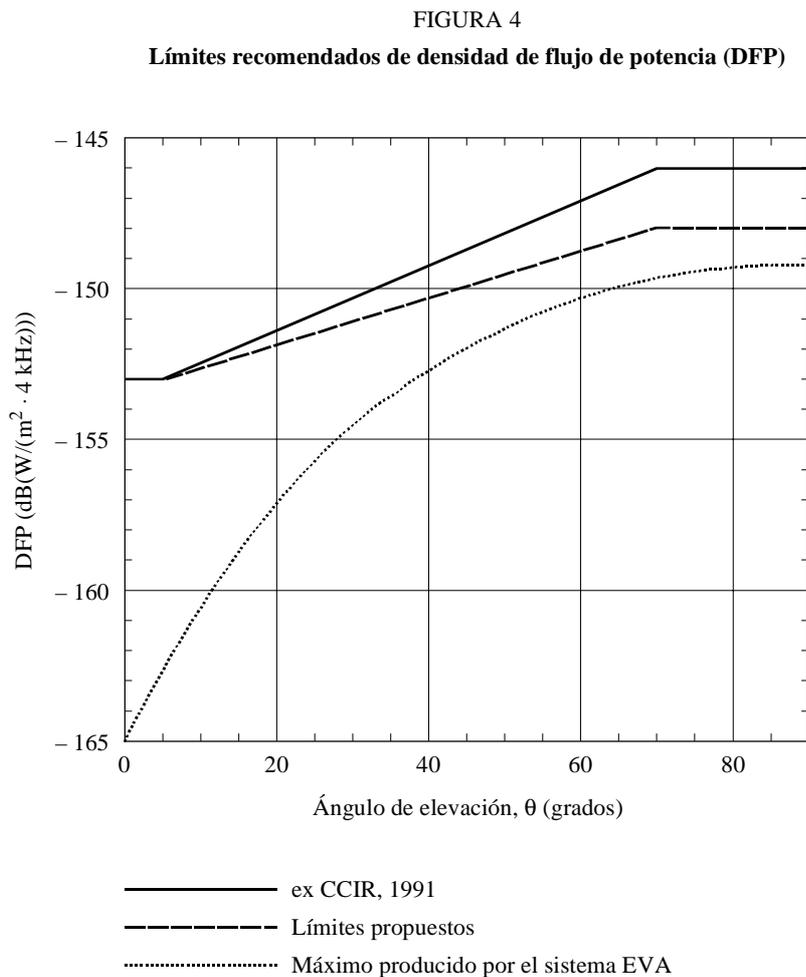
La curva A de la Fig. 3 muestra los límites de densidad de flujo de potencia establecidos por el ex CCIR, 1991. Como puede verse en la Figura, la intensidad de campo interferente cumple los criterios en la mayoría de los puntos y es marginal para los ángulos de elevación más desfavorables.



- Curvas A: DFP máxima producida en la superficie de la Tierra por los enlaces EVA (altitud orbital: 333 km)
 B: DFP máxima para cumplir los criterios del Informe UIT-R M.358; antena de estación de base de 5 dBi
 C: DFP máxima para cumplir los criterios del Informe UIT-R M.358; antena de estación de base de 12 dBi
 D: DFP máxima para cumplir los criterios del Informe UIT-R M.358; antena de vehículo de 1/4 de longitud de onda
 E: DFP máxima para cumplir los criterios del Informe UIT-R M.358; antena de vehículo de 5 dBi

La situación de compartición entre los transmisores EVA y los sistemas fijos terrenales es similar a aquella en que intervienen estaciones de base móviles con antenas de 12 dBi. Los sistemas fijos típicos tienen transmisores de 25 W y utilizan antenas de 10 dBi de ganancia con un máximo apuntando hacia el horizonte.

La tecnología actual permite aplicar restricciones mayores a los sistemas EVA, con lo cual se deja un mayor margen para proteger los servicios fijos y móviles en la banda. La Fig. 4 muestra los límites recomendados que acordó el ex CCIR, 1991, los nuevos límites recomendados propuestos y la densidad máxima de flujo de potencia incidente en la superficie de la Tierra producida por el sistema EVA.



Límites de DFP recomendados por el ex CCIR, 1991:

- 153 dB(W/m²) en cualquier banda de 4 kHz $0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$
- $153 + 0,108(\theta - 5)$ dB(W/m²) en cualquier banda de 4 kHz $5^\circ < \theta \leq 70^\circ$
- 146 dB(W/m²) en cualquier banda de 4 kHz $70^\circ < \theta \leq 90^\circ$

Nuevos límites propuestos de la DFP:

- 153 dB(W/m²) en cualquier banda de 4 kHz $0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$
- $153 + 0,077(\theta - 5)$ dB(W/m²) en cualquier banda de 4 kHz $5^\circ < \theta \leq 70^\circ$
- 148 dB(W/m²) en cualquier banda de 4 kHz $70^\circ < \theta \leq 90^\circ$

5 Interferencia causada a los enlaces EVA del servicio de investigación espacial por las estaciones de los servicios fijo y móvil

Al considerar la interferencia causada a los enlaces EVA es necesario adoptar dos hipótesis respecto al desarrollo de un conjunto de características de transmisión representativas y una distribución mundial de las estaciones de servicio móvil. A continuación se explican dichas hipótesis:

– Características de los emisores móviles representativos

Las características de los sistemas móviles en la banda de 410-420 MHz se basaron en datos de la Lista Internacional de Frecuencias (LIF) y en la utilización en los Estados Unidos de América. Las características de las estaciones típicas de base y móvil son las siguientes:

	Base	Móvil
Potencia (W)	100,0	100,0
Potencia (dBW)	20,0	20,0
Ganancia máxima (dB)	12,0 ó 5,0	5,0
Anchura de banda (kHz)	16,0	16,0

En algunas partes del mundo pueden utilizarse generalmente potencias inferiores. La Fig. 5 muestra cuatro diagramas de antena utilizados típicamente en el servicio móvil: una antena de estación de base de 12 dBi, una antena de estación de base de 5 dBi, una antena de vehículo en dipolo de un cuarto de longitud de onda y una antena de vehículo de 5 dBi. Para este análisis, se supone que la población de transmisiones móviles está compuesta de la combinación siguiente de antenas, utilizando los niveles de potencia del transmisor mencionados anteriormente.

25% son estaciones de base que utilizan un diagrama de antena de estación de base de 12 dBi (véase la Fig. 5a))

25% son estaciones de base que utilizan un diagrama de antena de estación de base de 5 dBi (véase la Fig. 5b))

25% son estaciones móviles que utilizan un diagrama de antena en dipolo de un cuarto de longitud de onda (véase la Fig. 5c))

25% son estaciones móviles que utilizan un diagrama de antena de estación móvil de 5 dBi (véase la Fig. 5d)).

Las pérdidas de línea, aunque se supone que son cero en el presente análisis, reducirán normalmente la p.i.r.e. en 3 dB.

– El número y la distribución de los emisores simultáneos

La medida en que los servicios móviles utilizan en todo el mundo la banda de 410-420 MHz puede estimarse sólo aproximadamente, pues no hay un requisito internacional de registro de todos los sistemas que funcionan en la banda. A los efectos de este análisis, fue por tanto necesario suponer algún tipo de distribución a nivel mundial de estos sistemas. Dicha distribución se basaba en las consideraciones siguientes:

– La identificación de las 479 ciudades más grandes del mundo, lo que se representa en la Fig. 6.

– Los sistemas móviles se utilizarán principalmente en dichas grandes ciudades y alrededor de ellas.

– Basándose en las estadísticas de Estados Unidos de América, se supone que hay una estación terrenal por 6 224 personas, en las ciudades más pobladas del mundo.

– Para las zonas distintas de las grandes ciudades: en cada país en que el número de teléfonos por habitante supera el 1% de la tasa americana (utilizando el anuario mundial de 1990), se divide el país en cuadrados de unos 100 km. Cada uno de estos cuadrados representa el emplazamiento de 33 estaciones terrenales. Los emplazamientos de estas zonas rurales se representan en la Fig. 7.

– Se supone que cada estación móvil funciona con un ciclo de trabajo del 20%.

FIGURA 5
Diagramas de antena de sistemas móviles

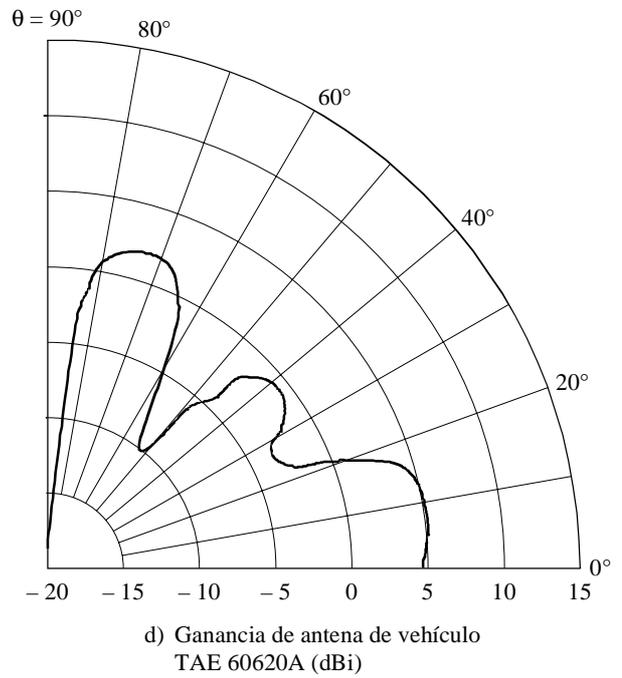
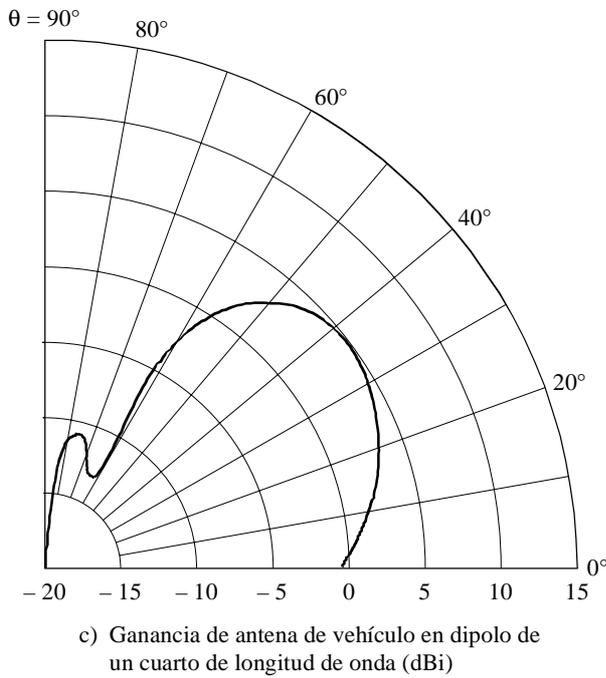
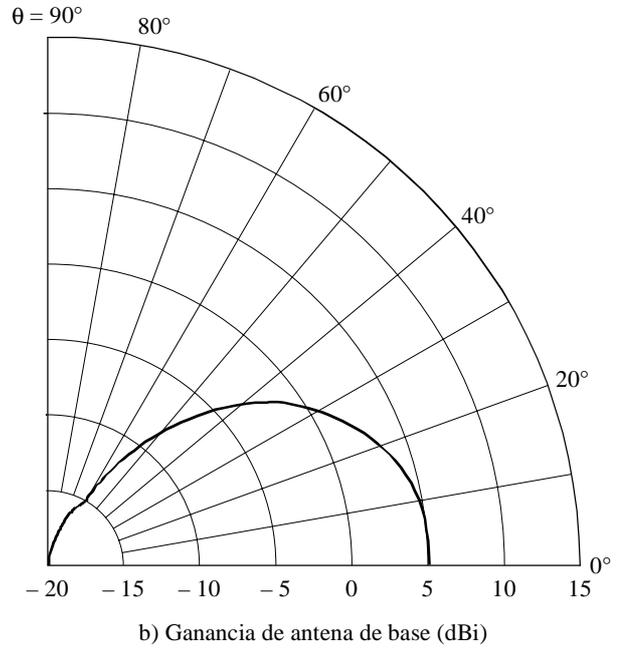
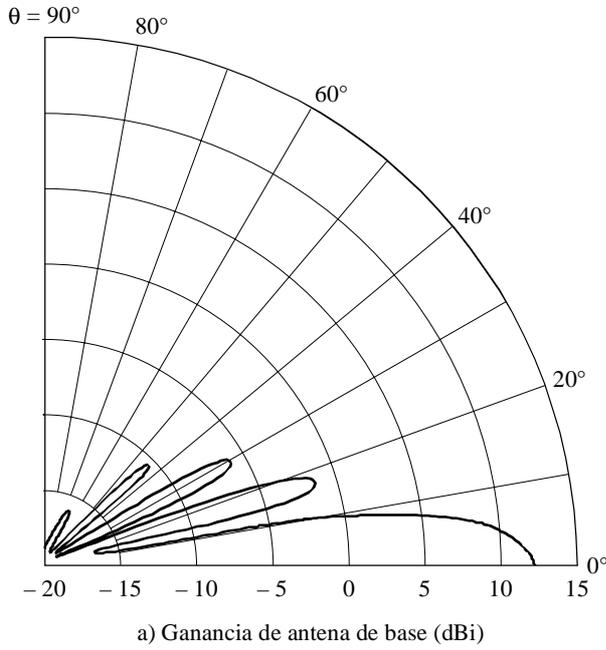
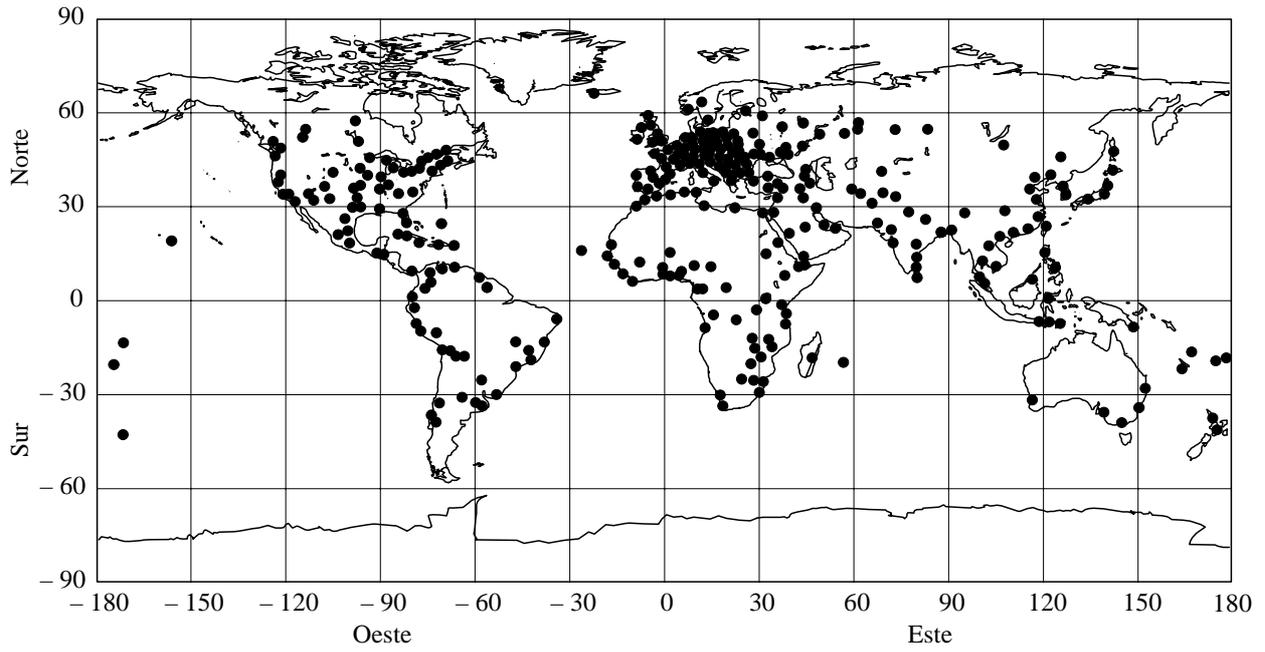
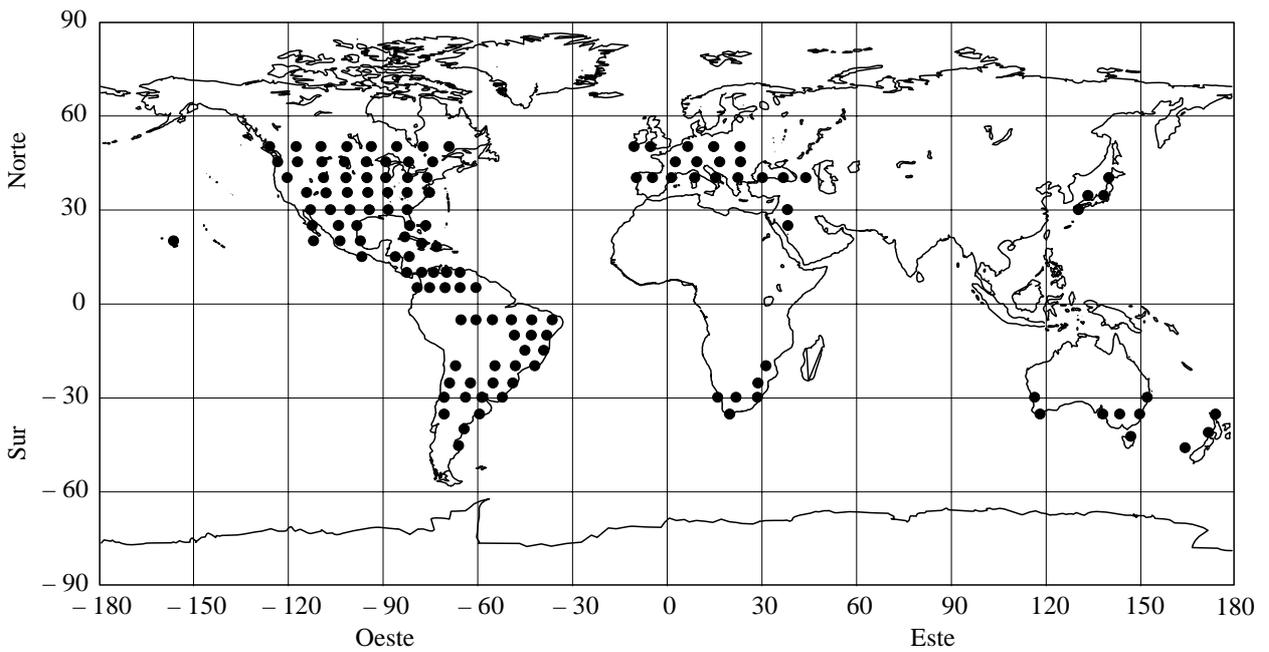


FIGURA 6
Ciudades más pobladas del mundo



1236-06

FIGURA 7
Zonas rurales utilizadas en el modelo de interferencia



1236-07

Utilizando el modelo de distribución descrito, se calculó para cada punto de la órbita el nivel de potencia interferente en las altitudes orbitales de 333 km y 460 km, con una inclinación de 60° . Se calculó la interferencia como el nivel de potencia en dB(W/MHz) que recibiría una antena isótropa. El nivel máximo de interferencia obtenido fue de $-91,7$ dB(W/MHz) incidente en el satélite a una altura de 333 km. La Fig. 8 muestra el nivel de interferencia en función del porcentaje del tiempo de las simulaciones. Los niveles de interferencia recibida fueron máximos en los Estados Unidos de América y en Europa. La Fig. 9 representa un mapa de los emplazamientos en la órbita de los sistemas EVA en que el nivel de interferencia era máximo.

FIGURA 8
Nivel de interferencia que incide en la órbita del sistema EVA
en función del tiempo

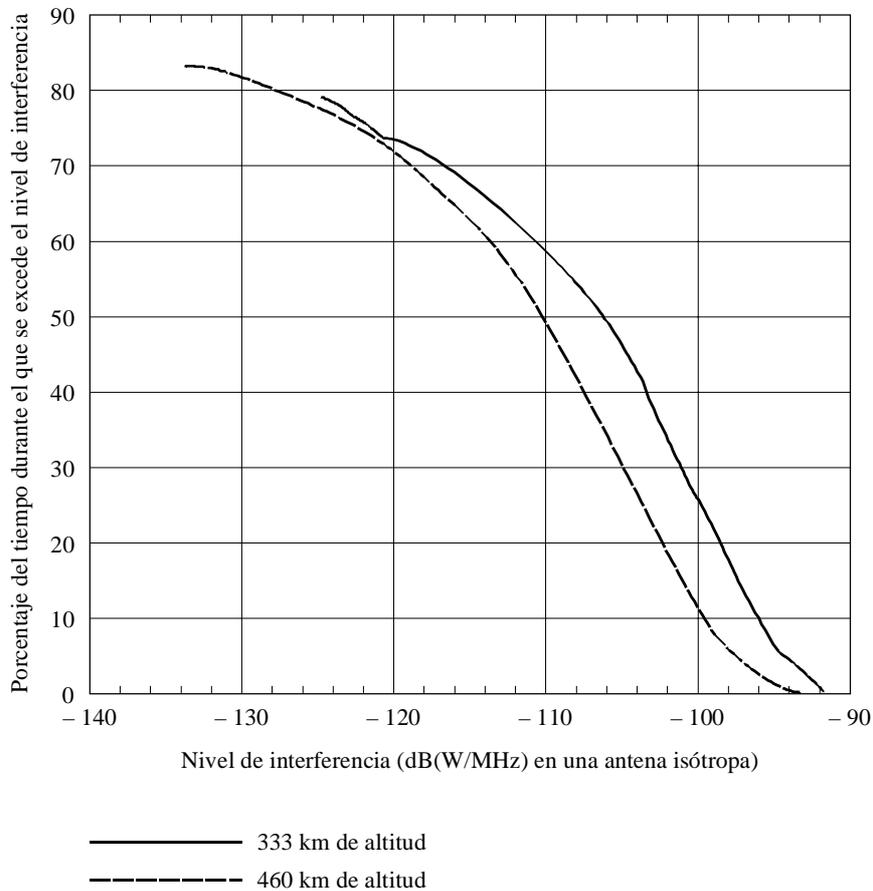
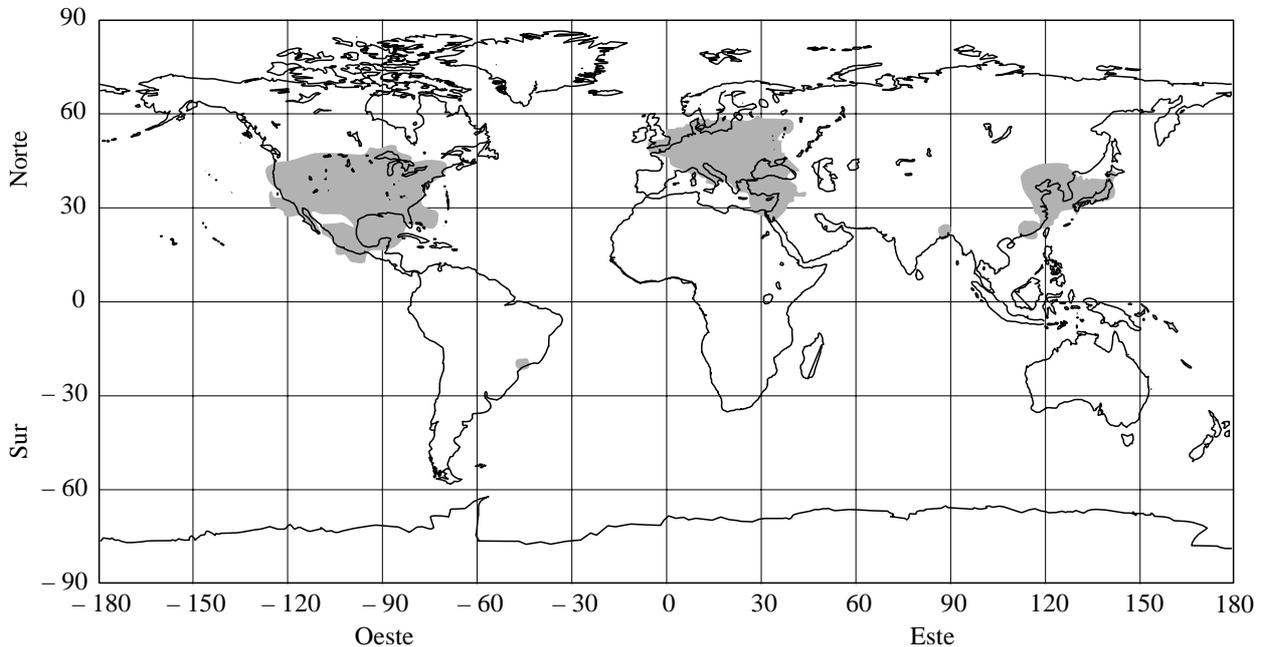


FIGURA 9
Zonas de la órbita del sistema EVA en que se recibía la interferencia máxima



1236-09

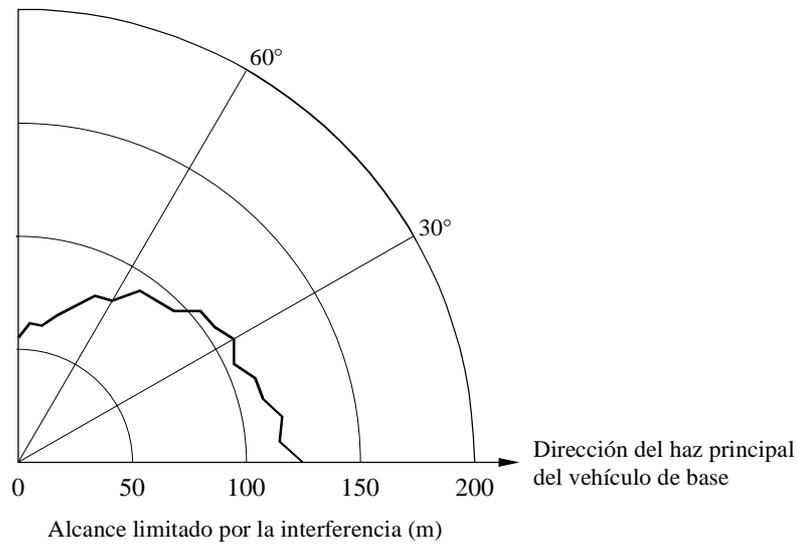
5.1 Distancia operacional obtenible

Al analizar el efecto de la interferencia causada a los receptores EVA se adoptaron una serie de hipótesis:

- Se utilizaba el enlace EVA con el margen de enlace mínimo (del Cuadro 2) al analizar la interferencia causada al sistema EVA. Este enlace es el de la EMU que transmite al vehículo de base.
- Se suponía que el nivel de interferencia de $-91,7$ dB(W/MHz) tenía el mismo efecto en los receptores del vehículo de base que el ruido aleatorio.
- Se suponía que la interferencia entra por el sector de ganancia máxima de la antena receptora del vehículo de base.
- Se suponía que la señal deseada entra por el sector de ganancia mínima de la antena del vehículo de base.
- Se suponía que no había pérdidas debidas a la desadaptación de polarización entre la estación móvil y la estación de base EVA receptora.

La distancia a la que puede lograrse el enlace se obtenía añadiendo los $-91,7$ dB(W/MHz) al nivel de ruido en la ecuación del enlace EMU-base que figura en el Cuadro 2 y resolviendo ésta para la distancia operacional. Dicha distancia variará alrededor del vehículo espacial de base pues la ganancia de la antena de dicho vehículo varía tal como se representa en la Fig. 2. Esta variación de la distancia en función de la dirección define de hecho la zona de servicio alrededor del vehículo de base para la cual pueden realizarse las comunicaciones EVA. Tal como se ve en la Fig. 10, pueden lograrse distancias comprendidas entre 55 m y 125 m, dependiendo de la dirección, a partir del vehículo de base.

FIGURA 10
Distancia operacional obtenible en las condiciones
más desfavorables



1236-10

Estas distancias serán mayores en situaciones mejores que la de peor caso, tales como cuando hay una ganancia de antena superior a la mínima o cuando no hay pérdidas de línea al incluir las pérdidas de polarización con la interferencia. Las distancias serán superiores a dichos mínimos durante más del 99% del tiempo. Si se incluyen unas pérdidas de línea de 3 dB en los emisores móviles, la gama de distancias que puede lograrse mejora en 41%. Para reducir más los efectos de la interferencia, se prevé la utilización de sistemas multicanal con capacidad de recibir en el canal menos interferido.