

RECOMENDACIÓN UIT-R RS.1346*

**COMPARTICIÓN ENTRE EL SERVICIO DE AYUDAS A LA METEOROLOGÍA
Y LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE IMPLANTACIÓN
MÉDICA (MICS) QUE FUNCIONAN EN EL SERVICIO MÓVIL
EN LA BANDA DE FRECUENCIAS 401-406 MHz**

(Cuestión UIT-R 144/7)

(1998)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la banda 401-406 MHz está atribuida al servicio de ayudas a la meteorología con carácter primaria;
- b) que la Recomendación UIT-R RS.1165 especifica las características técnicas de los sistemas de radiosonda del servicio de ayudas a la meteorología y que la Recomendación UIT-R RS.1262 especifica los criterios de compartición y coordinación para los sistemas de ayudas a la meteorología que funcionan en la banda 401-406 MHz;
- c) que los sistemas de comunicaciones de implantación médica están compuestos por un dispositivo de implantación que se instala dentro del cuerpo humano, y de un programador concebido para el funcionamiento en radiocomunicación a dos metros del cuerpo cuya función es la programación y las comunicaciones ocasionales con el dispositivo de implantación;
- d) que los sistemas de comunicaciones de implantación médica exigen una banda única disponible en todo el mundo y que puede funcionar en el servicio móvil actualmente atribuido con carácter secundario en la banda 401-406 MHz;
- e) que con un límite de -16 dBm en la p.i.r.e. de los sistemas de comunicación de implantación médica (MICS) no se producirá interferencia perjudicial de los sistemas de ayudas a la meteorología procedente de los MICS;
- f) que las técnicas de reducción de la interferencia utilizadas por el equipo de los sistemas de comunicaciones de implantación médica que se describen en el Anexo 1 ofrecen un gran nivel de protección de su funcionamiento respecto a las posibles interferencias de los sistemas de ayudas a la meteorología,

recomienda

- 1 que se considere factible la compartición en la banda 401-406 MHz entre los sistemas de ayudas a la meteorología y los sistemas de comunicación de implantación médica que cumplan los puntos 2 y 3 del *recomienda* y las características técnicas y operacionales que se describen en el Anexo 1;
- 2 que la p.i.r.e. de los transmisores de los sistemas de comunicaciones de implantación médica se limiten a -16 dBm (25 µW) en una anchura de banda 300 kHz, a fin de dar la protección adecuada a los sistemas de ayudas a la meteorología;
- 3 que los sistemas de comunicaciones de implantación médica utilicen las técnicas de reducción de la interferencia indicadas en el Anexo 1 para la protección de su funcionamiento.

ANEXO 1

**Viabilidad de la compartición cocanal entre las ayudas a la meteorología
y los dispositivos médicos implantables de potencia extremadamente
reducida en la banda 401-406 MHz****1 Antecedentes**

Millones de personas en todo el mundo dependen de dispositivos médicos implantados para mantener y mejorar la calidad de su vida. Las implantaciones activas realizan una variedad creciente de funciones terapéuticas: regulación de los ritmos cardíacos (mediante marcapasos y/o desfibrilación), control del dolor, administración de productos

* La Comisión de Estudio 7 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación.

farmacéuticos, control de la incontinencia y tratamiento de convulsiones neurológicas, por sólo nombrar algunos. A medida que la tecnología continúa evolucionando y aumenta la edad de la población, el servicio a la humanidad de estos dispositivos aumentará rápidamente partiendo de una base ya amplia.

Los enlaces de comunicación con los dispositivos médicos implantados sirven para diversos fines, aumentando constantemente las nuevas oportunidades de mejorar la calidad de la vida del paciente. Hoy en día, los enlaces de comunicaciones se utilizan para ajuste de parámetros de dispositivos (por ejemplo, ritmo de marcapasos), la transmisión de información almacenada (por ejemplo, electrocardiogramas almacenados) y la transmisión en tiempo real de información de control vital durante periodos cortos (por ejemplo, actuación cardíaca durante el procedimiento de implantación). Un sistema de comunicaciones para dispositivos de implantación médica incluye un programador y un dispositivo de implantación. El programa transmite datos al dispositivo implantado y recibe datos de éste. El programador funciona fuera del cuerpo humano y contiene un transceptor de potencia extremadamente reducida y una antena. El dispositivo implantado contiene también un transceptor de potencia extremadamente reducida y una antena, pero funciona dentro del cuerpo humano. El dispositivo implantado recibe datos del programador y transmite otros a éste. La actual tecnología basada en la inducción de RF no sirve para los requisitos de velocidades de datos superiores (por ejemplo, 100 kbit/s).

Los sistemas de comunicaciones para los dispositivos de implantación médica son inherentemente portátiles. Los pacientes se desplazan por todo el mundo y pueden encontrarse lejos de su médico principal cuando se produce una emergencia y surge la necesidad del dispositivo de comunicaciones. De igual manera, los programadores suelen desplazarse entre instalaciones médicas y países. Este requisito de movilidad y las limitaciones al diseño del sistema exigen la disponibilidad de al menos un canal único entre 250 y 450 MHz de utilización mundial. Para que los sistemas de comunicaciones de implantación médica (MICS) funcionen satisfactoriamente es vital identificar una banda única en todo el mundo de 3 MHz que utilicen todos los fabricantes. La única opción viable parece ser el funcionamiento en un tramo de la banda (401-406 MHz).

Para que los MICS funcionen correctamente, la potencia radiada equivalente debe estar comprendida entre -20 dBm ($10 \mu\text{W}$) a -16 dBm ($25 \mu\text{W}$). Esta PER reducida junto a que el enlace se utiliza casi exclusivamente en interiores y en zonas urbanas, elimina prácticamente las posibilidades de que las operaciones MICS interfieran con las ayudas a la meteorología. Véase también que como el fin principal del dispositivo es terapéutico, el enlace de comunicaciones se utiliza únicamente durante el 0,005% de la vida del dispositivo, lo cual limita aún más su potencia de interferencia.

2 Características de los MIC

2.1 Frecuencia de funcionamiento

El objetivo del tramo 401-406 MHz como banda de frecuencias para el funcionamiento de los MIC es el resultado de muchos factores. La banda de frecuencia seleccionada debe ser capaz de servir para transmisiones de gran velocidad de datos, permitir diseños de pequeñas antenas, caer en un tramo de ruido relativamente reducido del espectro, propagarse aceptablemente a través del tejido humano y ser factible para circuitos que exijan una potencia eléctrica mínima.

2.2 Anchura de banda total requerida

Las operaciones MICS requieren 3 MHz de espectro disponible para la creación de 10 canales como mínimo. Dichos canales se utilizan para evitar fuentes interferentes y para el funcionamiento simultáneo de dispositivos múltiples en las mismas zonas (tales como clínicas con salas múltiples). Los estudios internacionales sobre el espectro demuestran que incluso con 3 MHz disponibles, sólo serán utilizables en muchos entornos uno o dos canales.

2.3 Cálculo del balance del enlace de los MICS

Los parámetros utilizados para el análisis de los enlaces MIC son:

	Enlace ascendente (Implantación $\Rightarrow$ Programador)	Enlace descendente (Programador $\Rightarrow$ Implantación)
Frecuencia	403,5 MHz $\pm$ 1,5 MHz	
Tipo de modulación	MDF	
Anchura de banda de ruido del receptor	200 kHz	25 kHz
Ruido ambiental a la entrada del receptor	20 dB por encima de kTB	$\cong kTB$ (debido a las pérdidas de tejido)
Factor de ruido en el receptor	4 dB	9 dB
Nivel mínimo de ruido en el receptor	-101 dBm	-121 dBm
Ganancia de la antena de recepción	2 dBi	-31,5 dBi
SRN requerida (BER = 1E-5)	14 dB	
Pérdidas en el espacio libre a 2 m	30,5 dB	
Margen de desvanecimiento ⁽¹⁾ (con diversidad)	10 dB	
Exceso de pérdida ⁽²⁾ (polarización, etc.)	15 dB	
Ganancia de la antena transmisora	-31,5 dBi	2 dBi
Potencia en la antena	-2 dBm	-22 dBm
Potencia radiada equivalente	-33,5 dBm (en la superficie del cuerpo)	-20 dBm ⁽³⁾

- ⁽¹⁾ Utilizando la misma antena seleccionada para el enlace ascendente y reduciendo el tiempo del mensaje del enlace descendente en relación con la tasa de desvanecimiento de 4 Hz, la reciprocidad del enlace mantiene la profundidad del desvanecimiento en el enlace descendente en 10 dB, a pesar de la ausencia de diversidad espacial en este sentido.
- ⁽²⁾ El exceso de pérdidas en el enlace es el resultado de la orientación del paciente, la falta de puntería de la antena, las obstrucciones (tales como las de un médico) en la línea principal de visión y de las pérdidas de polarización. Estos procesos estadísticamente independientes pueden plasmarse en un modelo significativo añadiendo 15 dB de margen. Véase que en las pérdidas de polarización se producen a diversos niveles para todas las configuraciones de antena.
- ⁽³⁾ Para este análisis, se utilizaron -20 dB(10 μ W) como potencia radiada equivalente. Conviene adoptar un margen adicional siempre que pueda obtenerse sin poner en peligro un funcionamiento sin interferencia en la banda de las ayudas a la meteorología y que pueda lograrse con las limitaciones del diseño que impone el entorno en que funcionarán las estaciones MICS.

2.4 Ciclo de trabajo

Los objetivos primarios de los dispositivos con capacidad MICS son el diagnóstico y la terapia. Como la utilización de sistemas de comunicaciones reduce la vida del dispositivo para estas operaciones, se utilizan únicamente cuando es necesario. Como ejemplo, los sistemas de comunicaciones inductivos de RF en baja frecuencia de hoy en día se activan durante únicamente el 0,005% del tiempo de vida del dispositivo implantado (unas 4 horas en 9 años). En el caso del dispositivo de programación utilizado por el médico, el ciclo de trabajo será muy superior. Cuando se trata de una clínica con múltiples programadores, la utilización total de la banda puede acercarse al 50% durante las horas de trabajo.

3 Análisis de la susceptibilidad de las ayudas a la meteorología a la interferencia MICS

3.1 Interferencia causada a las radiosondas

El mantenimiento de la viabilidad de una amplia infraestructura de ayudas a la meteorología tiene gran importancia para el público. Los usuarios de la banda son las radiosondas, los cohetes de sondeo, las radiosondas con paracaídas y las plataformas de recogida de datos. Entre estos usuarios, las radiosondas parecen presentar la susceptibilidad máxima a la interferencia. Ha de limitarse la p.i.r.e. de los programadores MICS para lograr las comunicaciones deseadas sin causar interferencia a las ayudas a la meteorología.

La Recomendación UIT-R RS.1262 especifica que la potencia interferente recibida durante no más del 20% del tiempo sea $-161,9$ dBW/300 kHz. Utilizando el modelo de propagación normalizado del CCIR¹ y un valor de 20 dB para la atenuación de los edificios, se obtiene que un dispositivo MICS debe estar en un radio de 421 m para interferir con el funcionamiento de una radiosonda². Véase la hipótesis conservadora de que las frecuencias MICS y de la radiosonda están perfectamente alineadas.

Evidentemente, la potencia de transmisión extremadamente reducida del equipo MICS reduce considerablemente el potencial de interferencia. No obstante, la probabilidad de interferencia se reduce también por otros factores que, aunque son difíciles de cuantificar siguen siendo importantes:

División en canales. El funcionamiento de los MICS se efectuará por canales, seleccionando cada uno de ellos sobre la base del nivel de ruido ambiental mínimo. Una radiosonda que funcione en una determinada frecuencia actuará como una fuente de ruido de banda estrecha en la banda MICS, haciendo que el equipo MICS seleccione un canal distinto. Así pues, cuando un programador MICS detecte una radiosonda, responderá de forma que aquella y el programador MICS no se interfieran entre sí.

Densidad de la fuente interferente. Debido a la atenuación de las ondas emitidas a partir del cuerpo, el programador es la única fuente potencial de interferencia para los usuarios de las ayudas a la meteorología. Además, la proliferación de los dispositivos implantados viene limitada por las necesidades médicas y no por los deseos del consumidor. Ello hace que el número de fuentes interferentes potenciales disminuya hasta un nivel muy inferior del que cabría esperar de una aplicación de consumo o comercial.

Ciclo de trabajo de la fuente interferente. Los dispositivos implantados tienen un ciclo de trabajo de comunicaciones de aproximadamente el 0,005% de su vida útil. El programador, cuyo número es de varios órdenes de magnitud inferior, puede tener un ciclo de trabajo muy superior.

Ciclo de trabajo del enlace descendente. Debido a la atenuación de los tejidos, la única posibilidad de interferencia con las ayudas a la meteorología procede de la comunicación con el dispositivo implantado. El intercambio de comunicaciones será probablemente semidúplex y muy asimétrico, produciéndose la transmisión hacia el dispositivo implantado únicamente durante una fracción del tiempo en que el enlace está activo. Normalmente, el enlace descendente actuará únicamente 10 ms de cada 250 ms de comunicación.

Así pues, el radio típico de la interferencia de un programador MICS con una radiosonda será muy inferior a 500 m. En el caso poco habitual en que el programador MICS esté dentro de este alcance, la probabilidad de interferencia se verá reducida por la necesidad de que el equipo MICS utilice un algoritmo de evitación de interferencia para funcionar en un canal con nivel de ruido reducido. La utilización de un ciclo de trabajo pequeño y de un funcionamiento semidúplex en el equipo MICS, junto con el ciclo de trabajo del sistema de radiosonda, reduce también la posibilidad de interferencia en las ayudas a la meteorología.

3.2 Interferencia causada al dispositivo de distancia de la radiosonda

La señal MICS no interferirá con el dispositivo de medida de distancia de la radiosonda. La potencia de transmisión de 25 W de dicho dispositivo es 60 dB superior a la potencia de transmisión del MICS. Con la fórmula indicada a continuación puede predecirse la relación portadora/interferencia (véase que con este modelo se llega a una relación C/I

¹ OKUMURA y otros [1968].

² KOZONO, S. y WATANABE, K. [octubre de 1977] Influence of environmental building on UHF land mobile radio propagation. *IEEE Trans. Commun.*, Vol. Com-25; WALKER, E. H. [noviembre de 1983] Penetration of radio signal into building in the cellular radio environment. *Bell Sys. Tech. J.*, 62: 9 Pt. I; RAPPAPORT, Ted. *Wireless Communications* (Prentice Hall PTR), p. 131-132; [Tur87] TURKMANI, A. M. D., PARSON, J. D. y LEWIS, D. G. [diciembre de 1987] Radio propagation into buildings at 441, 900, and 1400 MHz. Proc. of the 4th International Conference on Land Mobile Radio; [Tur92] TURKMANI, A. M. D. y TOLEDO, A. F. [1992] Propagation into and within buildings at 900, 1 800, and 2 300 MHz. IEEE Vehicular Technology Conference.

superior si se incluyen las pérdidas de edificios y de la directividad de la antena MICS). El caso más desfavorable se produce al final del vuelo, cuando el globo alcanza la distancia máxima respecto al transmisor ($x < 250$ km, altura > 25 km). En estas condiciones puede predecirse una C/I de 37 dB.

$$C/I = 4,34(12,89 + 2 \ln((2rh) + x^2 + h^2 + r^2)^{1/2} - r) - \ln(x^2 + h^2))$$

siendo:

h : altura (km)

x : distancia (km)

r : radio equivalente de la Tierra (km).

4 Análisis de la reducción de la interferencia MICS

Evidentemente, es vital que los pacientes no sufran efectos perjudiciales de interferencia. Ello debe cumplirse para la interferencia potencial procedente de las ayudas a la meteorología, la de otros elementos radiantes intencionales y de elementos no intencionales. El daño al paciente puede producirse de tres maneras: el circuito de comunicaciones del dispositivo implantado agota la batería en respuesta a una activación falsa; el enlace no está disponible cuando se necesita; y los datos se ven contaminados por la interferencia. El equipo MICS puede proteger al paciente y a los dispositivos implantados utilizando diversas técnicas.

4.1 Tolerancia a falsas alarmas

Para cumplir los requisitos de longevidad del dispositivo, los circuitos de comunicaciones de la implantación MICS deben activarse únicamente durante la comunicación. No obstante, también es necesario que el enlace esté disponible a petición. Para cumplir estos requisitos contradictorios, puede utilizarse la detección de un campo magnético intenso incontinuo (> 14 Gauss) que active el circuito de comunicaciones del dispositivo de implantación. Al detectar el campo magnético, el sistema pondría en marcha un algoritmo de identificación de canal y de adquisición. Si no se logra el establecimiento del enlace, el circuito de comunicaciones de la implantación volvería al estado de reposo, conservando la energía de la batería. Este método se utiliza actualmente en la mayoría de los dispositivos implantados y tiene una tasa de falsas alarmas extremadamente reducida.

En casos tales como los de vigilancia en domicilios en los que no hay el requisito de la disponibilidad a petición, el sistema puede actuar con un intervalo largo (generalmente durante menos de 1 s cada 30 a 120 min) para determinar si se desea el establecimiento de un enlace. La presencia de interferencia prolonga el proceso de calificación de la señal y de adquisición del canal, desperdiciando energía de la batería. Para evitarlo, el microprocesador puede programar un intervalo de adaptación superior hasta que amaine la interferencia. A efectos de localización de averías, el transceptor MICS puede también informar del problema durante la siguiente transacción satisfactoria.

4.2 Tolerancia a la interferencia

Las señales interferentes reducen la disponibilidad del canal. Los peligros para la señal se encuadran en tres categorías: de impulsos, de banda estrecha y de banda ancha. En los párrafos siguientes se describen las estrategias de gestión de la interferencia para cada uno de ellos.

Por definición, la interferencia impulsiva dura muy poco y a menudo presenta una amplitud superior a las de los niveles de la señal MICS. El equipo MICS puede tratar este tipo de interferencia mediante un protocolo de comunicaciones. Pueden utilizarse la ARQ (pedido de repetición automática) o FEC (corrección de errores directa) para mitigar los efectos de los errores en los datos causados por el ruido impulsivo.

Las fuentes de interferencia de banda estrecha son las que tienen anchuras de banda comparables a la forma de onda MICS e inferiores. Esta fuente de interferencia procede generalmente de otras comunicaciones que utilizan la misma banda. El equipo MICS evitará las fuentes de interferencia de banda estrecha utilizando la agilidad de frecuencias (cambio de la frecuencia de transmisión) y la disposición en canales. Esta técnica es necesaria dada la dinámica de la utilización a nivel mundial del espectro y la presencia de otros elementos radiantes intencionales y no intencionales. En la categoría de fuentes interferentes de banda estrecha se incluyen los usuarios de las ayudas a la meteorología en la banda. La posibilidad de que una radiosonda interfiera con una estación MICS es prácticamente nula. Dada la anchura de banda transmitida típica de una radiosonda de 300 kHz y la disponibilidad de 3 MHz de espectro para las operaciones MICS, habría de haber al menos 10 radiosondas en un radio de 1 km para perturbar un dispositivo MICS que emplee hasta 300 kHz de anchura de banda por transmisión. De igual manera, las plataformas de recogida de datos también presentan una probabilidad reducida de interferencia. Suelen estar a grandes distancias geográficas respecto a los emplazamientos MICS y el pequeño ciclo de trabajo de dichas plataformas es otra ventaja en relación con las operaciones MICS.

Las fuentes interferentes de banda ancha tienen una banda que excede la forma de onda MICS potencialmente muy superior. Dichas fuentes de interferencia pueden cumplir toda la banda de 3 MHz, siendo posible evitar dicha interferencia mediante la simple acción de modificar la frecuencia de transmisión. En tal caso, las fuentes de interferencia de banda ancha plantean un gran problema a las operaciones MICS. Si una fuente interferente de banda ancha inutiliza todo un canal, la primera defensa sería explotar el sistema con un alcance reducido. Las señales en la superficie del cuerpo son aproximadamente 1 000 veces más intensas que a 2 m, lo que ofrece la oportunidad de mejorar la SNR en 30 dB, aproximándose al paciente. Como recurso último, los sistemas iniciales pueden establecerse con la tecnología de acoplamiento inductivo en RF de baja frecuencia y transceptores MICS, lo que permite la utilización de los sistemas antiguos como sustitución de seguridad.

Ejemplo de un tipo de fuente interferente de banda ancha son los radares secundarios que funcionan en esta banda de las ayudas a la meteorología en algunos países para el seguimiento de radiosondas. Se ha analizado teóricamente el potencial de interferencia de dichos transmisores de tierra en los MICS. Los resultados preliminares indican que con una distancia de separación de 1,1 km se producen señales no deseadas en los MICS cuya densidad de potencia espectral es igual a la del ruido del sistema MICS. En la práctica, una distancia de separación de sólo 200 m debe ser suficiente para el funcionamiento seguro. En estos cálculos se supone el seguimiento direccional de la antena de los puntos del radar secundario en la dirección del MICS. Otra hipótesis es que el radar emite una señal de onda continua en banda ancha. Aunque no es probable que las señales de impulsos exijan distancias de separación significativamente superiores, la influencia exacta de los radares secundarios reales cocanal se determinará en los ensayos sobre el terreno.

4.3 Mantenimiento de la integridad de los datos

Para garantizar la seguridad del paciente es fundamental que todos los datos enviados y recibidos por el dispositivo y desde éste sean precisos. A fin de cumplir este requisito, el equipo MICS puede utilizar diversas técnicas de detección de errores. En primer lugar, mediante números y/o direcciones se identifican todos los enlaces. En segundo lugar, llegado al establecimiento, los códigos de redundancia cíclica (CRC) validan todos los datos transmitidos. El análisis muestra que con estos códigos se reduce la probabilidad de que se produzcan parámetros de la implantación programados incorrectamente a un valor de dos mil millones. En tercer lugar, cada operación tiene un juego de instrucciones válidas limitado. Por último, se logra una protección adicional con la separación geográfica, los tiempos de funcionamiento y la reducción de la coincidencia del funcionamiento cocanal.

Evidentemente la probabilidad de que establezca una sesión y el usuario de las ayudas a la meteorología cause errores en la programación es fundamentalmente cero. Lo que es más importante, el usuario de ayudas a la meteorología no constituye la amenaza de interferencia más importante. Los datos medidos muestran que es habitual encontrarse con fuentes interferentes de origen desconocido en la banda. Los diseñadores de equipo MICS comprenden que es su responsabilidad garantizar que las señales de los usuarios de ayudas a la meteorología (y de otros elementos radiantes) no estarán en condiciones de perjudicar a los pacientes.

5 Resumen

El desarrollo continuo de los dispositivos médicos implantados exige contar con enlaces de datos de gran velocidad (100 kbit/s), inalámbricos de pequeño alcance y de potencia extremadamente reducida. El despliegue satisfactorio de esta tecnología exige la identificación de una banda de 3 MHz de espectro adecuado en todo el mundo. El funcionamiento con una p.i.r.e. de -16 dBm o inferior en un tramo de la banda de ayudas a la meteorología de 401-406 MHz permite el funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones de implantación médica con muy poca probabilidad de interferencia en los usuarios primarios de ayudas a la meteorología en dicha banda. No cabe prever interferencia perjudicial en el sistema de comunicaciones de la implantación médica.
