

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1347

FIABILIDAD DE LA COMPARTICIÓN ENTRE LOS RECEPTORES DEL SERVICIO DE RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE Y LOS SERVICIOS DE EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (ACTIVO) Y DE INVESTIGACIÓN ESPACIAL (ACTIVO) EN LA BANDA 1 215-1 260 MHz

(Cuestión UIT-R 218/7)

(1998)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra) tiene una atribución con carácter primario en la banda de frecuencias 1 215-1 260 MHz;
- b) que los sensores activos a bordo de vehículos espaciales que funcionan en los servicios de exploración de la Tierra por satélite y de investigación espacial tienen atribuciones con carácter secundario, según la Nota S5.333, en la banda de frecuencias 1 215-1 300 MHz;
- c) que los estudios de compartición han mostrado la compatibilidad entre los receptores del servicio de radionavegación por satélite, incluyendo los receptores L5 y los sensores activos a bordo de vehículos espaciales en las fases de adquisición y seguimiento (véase el anexo);
- d) que los ensayos de compatibilidad han demostrado la viabilidad de la compatibilidad entre los receptores GPS del servicio de radionavegación por satélite en la fase de seguimiento y los radares de apertura sintética (véase el anexo),

recomienda

1 que, a la vista de los *considerando* c) y d), se considere factible la compartición entre el servicio de radionavegación por satélite y los radares de apertura sintética a bordo de vehículos espaciales en la banda de frecuencia 1 215-1 260 MHz.

ANEXO

Interferencia potencial procedente de los sensores activos a bordo de vehículos espaciales en los receptores del servicio de radionavegación por satélite que funcionan en la banda 1 215-1 260 MHz**1 Introducción**

La banda de frecuencias 1 215-1 260 MHz está atribuida al servicio de radionavegación por satélite (SRNS) y se utiliza por el sistema mundial de determinación de la posición (GPS) y para el sistema mundial de navegación por satélite (GLONASS-M). La banda 1 215-1 300 MHz se utiliza por los sensores de microondas activos a bordo de vehículos espaciales según las disposiciones de la Nota S5.333 del Reglamento de Radiocomunicaciones. El único sensor activo que necesita utilizar esta banda es el radar de apertura sintética (SAR). Este anexo presenta los análisis de compatibilidad de radares típicos de apertura sintética (SAR) a bordo de vehículos espaciales con los receptores GPS y GLONASS-M para las fases de adquisición y seguimiento, y ofrece resultados de pruebas de compatibilidad entre el SAR y el GPS para la fase de seguimiento. Además, se está considerando para esta banda el sistema GPS L5.

2 Características técnicas de un SAR espacial

El Cuadro 1 muestra las características técnicas de dos radares de apertura sintética normalizados que utilizan la banda 1 215-1 300 MHz. Los parámetros de estos sistemas ofrecen una gama de posibles características de utilización, representativas de un SAR operacional. Las características elegidas en este análisis son las que se darían en un caso más desfavorable de interferencia en el receptor del servicio de radionavegación por satélite.

3 Características y criterios de protección de los sistemas GPS y GLONASS-M

La Recomendación UIT-R M.1088 da las características y la descripción de un Sistema mundial de determinación de la posición (GPS) que deben utilizarse al evaluar la compartición entre otros servicios y un receptor GPS. El proyecto de nueva Recomendación UIT-R M.1317 da las características y la descripción de un Sistema mundial de navegación por satélite (GLONASS-M) que han de utilizarse al evaluar la compartición entre un receptor GLONASS-M y otros servicios. Se está considerando en esta banda el sistema GPS L5. Se han presentado las características de dicho GPS L5 y son similares a las del código de adquisición aproximada (CA/GPS) que se describe en la Recomendación UIT-R M.1088. Se prevé que el funcionamiento del GPS L5 sea como el del código C/A GPS en presencia de señales de interferencia.

CUADRO 1

Características técnicas de los radares de apertura sintética a bordo de vehículos espaciales en la banda 1 215-1 300 MHz

	SAR normalizado 1	SAR normalizado 2
Potencia radiada de cresta (W)	3 200	1 200
Modulación de impulsos	Modulación MF lineal	Modulación MF lineal
Anchura de banda del impulso (MHz)	40,0	15,0
Duración del impulso (μ s)	33,8	35,0
Frecuencia de repetición de impulsos (pips)	1 736,0	1 607,0
Ciclo de trabajo (%)	5,9	5,6
Ganancia máxima de antena (dBi)	36,4	33,0
Orientación de la antena (grados respecto al nadir)	20,0	35,0
Polarización de la antena	Lineal vertical/horizontal	Lineal horizontal
Altitud orbital (km)	400	568

Los receptores GPS y GLONASS-M son susceptibles a la interferencia por impulsos y continua en las fases de adquisición y de seguimiento. En el caso de interferencia potencial procedente de un SAR, la interferencia entra en la categoría de impulsos. La interferencia por impulsos puede afectar al receptor del SRNS de dos maneras. Dando lugar a la saturación o al fundido del preamplificador. El efecto principal de la interferencia por impulsos es que da lugar a una limitación del receptor. Ello se produce cuando se recibe un nivel de señal suficientemente intenso como para saturar el diodo limitador de alto nivel, situado en el primer paso de RF del receptor con el que se evita el fundido de los pasos siguientes del receptor. Cuando se produce esta limitación, la señal deseada relativamente reducida quedará bloqueada durante el periodo del impulso de transmisión y durante cualquier periodo de recuperación que sea necesario para el receptor del SRNS. Si este periodo de pérdida de señal es corto en relación con la longitud binaria de información del GPS, no habrá una repercusión apreciable en el comportamiento del receptor. El otro efecto posible de la interferencia se produce cuando un nivel de potencia de RF de cresta o medio sea suficientemente intenso como para averiar el diodo. Si ocurre así, es posible que se funda el preamplificador y se produzca un daño en el receptor. El Cuadro 2 resume las características técnicas pertinentes de dos sistemas del SRNS. El cuadro da también el nivel de potencia de saturación (nivel de limitación del preamplificador) y el nivel de potencia necesario para el fundido del preamplificador, en cada uno de los sistemas. Además, en la fase de adquisición, el SAR espacial en altitudes orbitales ilumina una posición determinada de la Tierra con el haz principal durante únicamente 1-2 segundos, que normalmente es un tiempo inferior al necesario para la adquisición.

Se supone que todo nivel recibido de potencia de la señal por impulsos inferior a los niveles de limitación del preamplificador de los receptores del SRNS tiene un efecto despreciable en el comportamiento del receptor, pues el periodo del impulso transmitido por el SAR es relativamente corto en comparación con la longitud binaria de información del SRNS, y el ciclo de trabajo del transmisor del SAR es muy corto.

CUADRO 2

**Características y criterios de protección para el equipo de usuario
de navegación de los sistemas GPS y GLONASS-M**

	GPS	GLONASS-M
Frecuencias portadoras (MHz)	1 227,6	1 237-1 261
Anchura de banda del filtro de RF a 3 dB (MHz)	±17,0	±20,0
Polarización	dextrógira	dextrógira
Ganancia máxima de la antena (dBi)	0,0	0,0
Nivel de fundido del preamplificador (medio) (dBW)	0,0	-1,0
Nivel de fundido del preamplificador (cresta) (dBW)	10,0	0,0
Nivel de limitación del preamplificador (dBW)	-70,0	-80,0

4 Análisis de compatibilidad

4.1 Análisis de compatibilidad considerando la degradación de la relación señal/ruido

El primer paso al analizar el potencial de interferencia de un SAR a bordo de vehículo espacial en un receptor GPS o GLONASS-M consiste en determinar si la potencia de cresta de la señal procedente del SAR es suficientemente grande como para hacer que el diodo de recorte de alto nivel falle y dé lugar posiblemente al fundido del preamplificador, dañando el receptor. Los niveles máximos de la potencia de la señal interferente recibida de un SAR espacial se producen cuando el receptor del SRNS está situado en el haz principal de la antena del SAR. El Cuadro 3 muestra los niveles calculados de la potencia de cresta de la señal interferente de un SAR en un receptor GPS o GLONASS-M. En los cálculos se supone un funcionamiento co-frecuencia.

Estos niveles de potencia de cresta máxima a la entrada de un receptor del SRNS son muy inferiores a los niveles que causarían el fallo del diodo de recorte de alto nivel. Así pues las emisiones procedentes de un SAR espacial no fundirán el diodo de recorte de alto nivel ni dañarán el receptor GPS o GLONASS-M. El nivel de señal interferente a la entrada del receptor GPS con el que se saturará el diodo y se producirá una pérdida temporal de la señal es de -70 dBW. Para la fase de adquisición, este nivel es 6 dB inferior, es decir, -76 dBW. Incluso en el caso más desfavorable de configuración, no se alcanzará este nivel de señal interferente.

El nivel de señal interferente a la entrada de un receptor GLONASS-M con el que se saturará el diodo y se producirá una pérdida temporal de la señal es de -80 dBW. En la configuración más desfavorable que representa el Cuadro 3, este nivel de señal interferente puede rebasarse en 1,5 dB debido a las transmisiones de un SAR. Teniendo en cuenta la forma de abanico del haz de la antena del SAR, el ángulo respecto al eje resultante necesario para producir 1,5 dB de discriminación es de 0,28°. Se efectuó una simulación de 15 000 órbitas (400 km de altitud, 57° de inclinación) para determinar la frecuencia con la que un receptor GLONASS-M estacionario estaría dentro de 0,56° del haz principal de la antena del SAR (0,28° a cada lado). Los resultados mostraron que esto se produciría durante menos del 0,0019% del tiempo. Ello significa que el nivel de señal interferente superior al nivel de saturación del diodo se recibiría durante menos de 2 segundos al día, suponiendo esta situación más desfavorable de interferencia. El análisis de compatibilidad para el GLONASS-M mostró que el servicio sería compatible con fuentes múltiples de interferencia de SAR espacial, llegando hasta cuatro SAR que podrían iluminar los receptores GLONASS con el haz principal del primero al mismo tiempo, suponiendo un factor de trabajo acumulado del 20% para los cuatro SAR. Dado el número reducido de SAR espaciales que se encuentren probablemente en órbita y en funcionamiento al mismo tiempo, y dada también la probable diversidad de las altitudes, velocidades y periodos orbitales de los SAR de las distintas administraciones, hay una probabilidad extremadamente reducida de que cuatro, o incluso dos SAR espaciales iluminen un receptor GLONASS-M al mismo tiempo. Además, dos o más SAR nunca observarían simultáneamente la misma escena, porque la interferencia mutua resultante impediría la adquisición de datos utilizables.

CUADRO 3

**Niveles de potencia máxima de señal interferente de un SAR
en receptores GPS y GLONASS-M**

	Interferencia en el GPS		Interferencia en el GLONASS-M	
	SAR 1	SAR 2	SAR 1	SAR 2
Frecuencia central (MHz)	1 227,6	1 227,6	1 250,0	1 250,0
Potencia de cresta radiada (dBW)	35,1	30,8	35,1	30,8
Ganancia de la antena transmisora (dB)	36,4	33,0	36,4	33,0
Distancia (km)	427,5	709,3	427,5	709,3
Pérdidas espaciales (dB)	146,8	151,2	147,0	151,4
Ganancia de la antena de recepción (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0
Pérdidas de desacoplo de polarización (dB)	3,0	3,0	3,0	3,0
Potencia máxima de interferencia recibida (cresta) (dBW)	-78,3	-90,4	-78,5	-90,6

Aún en el caso en que el nivel de la señal cause la saturación del paso de entrada y la pérdida temporal de la señal del SRNS, no habrá una repercusión apreciable en el comportamiento del receptor, y el periodo del impulso transmitido del SAR más el tiempo de recuperación del receptor del SRNS son relativamente cortos en comparación con la longitud binaria de información del SRNS. Si se supone para el receptor un tiempo de recuperación de 1 μ s la transmisión procedente del SAR eliminaría aproximadamente el 6% de la señal del SRNS durante el tiempo en que el receptor esté saturado.

(anchura del impulso SAR + tiempo de recuperación SRNS) * frecuencia de repetición de impulsos del SAR = 6,04%

Cuando se satura el receptor del SRNS (>70 dBW para el GPS), la señal se pierde fundamentalmente durante la anchura del impulso interferente, más todo el tiempo de recuperación del paso de entrada. La velocidad de datos de navegación del GPS es de 50 bit/s y se añade en módulo 2 al código P o al código C/A de la secuencia de ruido pseudoaleatorio de 10,23 MHz o 1,023 MHz respectivamente, antes de la modulación de fase en el tono de 1 227,6 MHz. Así pues, el periodo binario de datos de navegación del GPS tiene una longitud de 20 ms y durante este periodo binario hay más de 204 K periodos de modulación de código P y de 25 a 43 impulsos SAR transmitidos. La fracción de la potencia de la señal perdida durante el periodo binario es entonces igual a la relación de la anchura combinada del impulso interferente más todo periodo de recuperación del paso de entrada del GPS para las fases de adquisición y de seguimiento a lo largo del periodo entre impulsos. La degradación de la relación señal/ruido, Δ SNR, en dB, es la relación entre la SNR con la interferencia presente y la SNR sin interferencia, que se expresa por la relación:

$$\Delta\text{SNR} = 10 * \log\left(1 - \frac{\text{PW} + \text{RT}}{\text{IPP}}\right) \quad (1)$$

en la que PW es la anchura del impulso SAR, RT es el tiempo de recuperación del GPS, IPP es el periodo entre impulsos del SAR y el argumento de la función logarítmica es mayor que cero. Suponiendo que el tiempo de recuperación del GPS está comprendido entre 1 y 30 microsegundos, la degradación de la relación señal/ruido para la gama de anchuras de impulsos y frecuencias de repetición de impulsos del SAR 1 arroja valores comprendidos entre -0,1 y -0,6 dB.

La antena de elementos desfasados del SIR-C contiene amplificadores de gran potencia (HPA) distribuidos para la amplificación y la transmisión de la señal de 1,25 GHz. La potencia de continua de los HPA sólo se activa durante la transmisión y se desactiva durante el periodo entre impulsos. Los HPA son dispositivos en clase C pues sólo se les activa para transmitir durante la presencia del impulso de entrada. Como estos dispositivos se desactivan durante el periodo entre impulsos, no hay ruido interimpulsos procedente del vehículo espacial.

4.2 Análisis de compatibilidad teniendo en cuenta la ganancia del bucle de seguimiento del receptor GPS

4.2.1 Hipótesis preliminares

A continuación se ofrece un estudio de compatibilidad entre radares de apertura sintética (SAR) a bordo de vehículos espaciales y servicios GPS en la banda L2, es decir en unos 1 227,6 MHz, considerando la ganancia del bucle del seguimiento del receptor GPS.

Como en este momento no se dispone de información precisa sobre la fase de adquisición con código P en banda L2 y sobre receptores capaces de seguir códigos Y/P ni de los receptores sin códigos o casi sin códigos, el análisis se limitará a la interferencia causada a los receptores GPS L2 en el modo de seguimiento.

4.2.2 Información que figura en los documentos de referencia

El documento UIT-R 7-8R/14 presenta un radar espacial típico que se utilizará en las futuras misiones de observación de la Tierra. La frecuencia central del SAR puede ser algo distinta de la del receptor GPS, pero en el análisis se considera el caso más desfavorable en el que la frecuencia central del SAR estará en la mitad de la banda del receptor GPS.

La potencia de cresta es de 3 200 vatios y la anchura de banda es de 10,20 ó 30 MHz, con una modulación de impulsos lineal y una frecuencia de repetición de impulsos de 1 395 ó 1 736 impulsos por segundo. La duración máxima del impulso es de 33,8 μ s.

La ganancia de la antena es de 36,4 dBi; la antena puede variar en elevación entre 20 y 55 grados respecto al nadir. La altitud de la órbita es de 400 km.

La Recomendación UIT-R M.1088 presenta unos receptores GPS; la potencia mínima recibida en 1 227,6 MHz es de -136 dBm; la anchura de banda de 3 dB del filtro de RF es de ± 17 MHz; puede mantenerse una calidad aceptable del receptor con señales espurias de entrada de hasta 41 dB por encima del nivel de la señal para la fase de seguimiento, es decir, de -95 dBm.

La potencia de entrada al primer paso amplificador para la saturación es de -40 dBm.

4.2.3 Hipótesis relativas al funcionamiento del receptor GPS

Cuando entran al receptor las señales GPS son muy inferiores al nivel mínimo de ruido del equipo; así pues, la señal muestreada y codificada por el receptor es fundamentalmente ruido; para lograr una codificación óptima, ha de mantenerse el ruido mediante un bucle de control automático de ganancia (CAG) a la entrada del codificador analógico a digital (ADC) con un nivel constante que se define por $\sigma = A/3$, siendo σ la desviación típica del ruido y A el nivel de saturación del ADC.

Se supone que la constante de tiempo del bucle CAG es grande comparada con el periodo de repetición de los impulsos de entrada (716 μ s como máximo).

Puede estimarse que el nivel de ruido a la entrada es de -97 dBm, con un factor de ruido total del receptor de 4 dB y una anchura de banda de entrada equivalente de 20 MHz.

De esta manera, el umbral de saturación equivalente del ADC corresponde a un valor de -87,5 dBm a la entrada del receptor. Se supone un codificador de 4 bits, lo que se ajusta a los diseños actuales de receptores.

A partir de esas hipótesis se puede llegar a la conclusión de que en el funcionamiento permanente, el receptor efectúa la codificación señal + ruido con un ruido de cuantificación de banda ancha añadido ($Q^2/12$, siendo Q el nivel de cuantificación) de 19,3 dB por debajo del ruido y con un ruido de saturación de 30 dB por debajo del ruido, lo que es completamente despreciable.

También se supone una ganancia de antena de 0 dB en el receptor GPS.

4.2.4 Interferencia causada por los SAR a los receptores GPS

Se considera un receptor situado al nivel de la Tierra, a una distancia mínima del radar, es decir, para el ángulo de incidencia de 20° del haz del radar.

Se considera el caso más desfavorable en el que la banda del radar se superpone totalmente a la banda del receptor GPS. La distancia satélite-receptor es entonces de 424 km.

Se supone una ganancia de antena del receptor de 0 dB.

La potencia recibida al nivel del receptor es de -45,4 dBm, muy superior al umbral de interferencia de éste. Dicho nivel está por debajo del de saturación del paso de entrada amplificador, por lo que dicho amplificador no se saturará y la saturación estará a nivel del codificador.

A continuación hay que evaluar el efecto en la calidad del seguimiento de esta saturación a nivel del codificador. En primer lugar, está claro que la saturación sólo se produce durante la aparición de los impulsos de transmisión procedentes del radar; se puede suponer que el tiempo de saturación es despreciable a este nivel, en comparación con la duración del impulso. Como la constante de tiempo del CAG debe ser muy superior al intervalo de repetición del impulso de entrada, dicho CAG funciona manteniendo una potencia total constante a la entrada del codificador debida a los impulsos de saturación que aparecen y al valor nominal de la señal más el ruido cuando no hay impulsos presentes.

Se ha calculado la potencia equivalente a la entrada del codificador debida a esta clase de señales de entrada y se ha obtenido un nuevo ajuste del CAG que se utilizará en el bucle de éste, utilizando la ecuación siguiente:

$$A^2dc + (1 - dc)\sigma^2 = A^2/9 \quad (2)$$

siendo dc el ciclo de trabajo del radar.

A partir de ahí se deduce que en el caso actual, $\sigma^2 = A^2/18$, es decir que el ajuste del CAG será 3 dB superior al anterior, debido a la potencia añadida de los impulsos de entrada de saturación.

Se puede entonces evaluar fácilmente lo que sucede a la salida del receptor debido a este fenómeno; hay tres efectos que pueden identificarse:

- En primer lugar, los impulsos de saturación a la entrada del receptor no guardan correlación con la replica del código y puede considerarse que añaden un ruido de entrada suplementario; como el ajuste del CAG difiere en 3 dB, la señal útil del ruido pseudoaleatorio del GPS se reduce en 3 dB, mientras que la potencia total a la entrada del ADC permanece constante, debido al bucle del CAG; se puede llegar a la conclusión de que la relación señal/ruido se reducirá en 3 dB debido a este efecto, lo que lleva a un 40% de aumento del ruido de seguimiento.

Como en el documento UIT-R 7-8R/14 se prevé una relación de 41 dB entre la señal útil y la señales espurias continuas, lo que corresponde a fuentes de interferencia superiores a las del ruido en el receptor en 2 dB, con lo que se reduce la relación señal/ruido en más de 3 dB, puede llegarse a la conclusión de que en el caso actual, la señal interferente es aceptable.

- En segundo lugar, los impulsos de entrada de saturación introducen un ruido de cuantificación suplementario en comparación con la señal + ruido de entrada; esta relación aumenta por encima de la diferencia de 3 dB en el ajuste del CAG, lo que lleva a un valor de 16,3 dB de la relación entre el ruido de entrada y el ruido de cuantificación, que sigue siendo despreciable.
- En tercer lugar, las operaciones de correlación en el receptor con las réplicas de códigos de seudoruido aleatorio se efectuarán en un periodo de tiempo más corto, pues la señal útil no se codificará ya correctamente cuando estén presentes los impulsos de saturación; para pequeños ciclos de trabajo, dc, la forma de la función de correlación no resultará afectada, sino que únicamente se reducirá el nivel a la salida en una relación (1-dc), lo que en el caso actual da lugar a una pérdida de señal de 0,3 dB, que sigue siendo aceptable.

4.2.5 Conclusiones basadas en este análisis de compatibilidad en el que se tiene en cuenta la ganancia del bucle de seguimiento GPS

Del análisis anterior puede concluirse que el funcionamiento del SAR descrito en la Recomendación UIT-R M.1088 es compatible con el receptor GPS de banda L2.

Los impulsos de entrada saturarán el ADC, pero ello no dará lugar a una degradación inaceptable del comportamiento del receptor por el funcionamiento del bucle del CAG.

Ello debe ser así únicamente hasta ciclos de trabajo de aproximadamente 10% para el SAR debiendo aumentarse el ruido de seguimiento del receptor GPS en 50%, debido a la degradación de 4 dB de la relación señal/ruido.

Más allá de este límite del ciclo de trabajo, el aumento del ruido de seguimiento será superior, pero aún aceptable, si se considera el proceso de filtrado que puede aplicarse a los datos de navegación.

En este sentido, hay que recordar en primer lugar que los efectos mencionados son muy improbables, pues para que haya dicha interferencia, el haz del radar tiene que estar orientado hacia el receptor GPS y en segundo lugar, ha de recordarse que dichos fenómenos deben producirse durante periodos muy limitados de tiempo (algunos segundos), pues el haz del radar es muy agudo (1 grado en acimut 7,5 km a nivel del suelo) y la velocidad en el suelo del haz del radar es de unos 6 km/s.

Además, otro punto que debe subrayarse es que los radares a bordo de vehículos espaciales no utilizan hasta ahora los 85 MHz de la banda 1 215-1 300 MHz, y en el caso de que se tema una posible interferencia perjudicial, el SAR podría situar sus frecuencia central en la parte superior de esta banda, a fin de que la banda del radar y la del GPS L2 no se solapen.

Con 20 MHz necesarios para el GPS, ello sería posible hasta para anchuras de banda del SAR de 60 MHz.

Serían necesarias otras informaciones sobre el receptor GPS para confirmar este estudio, especialmente sobre la fase de adquisición; el estudio puede aplicarse también a los receptores GLONASS.

5 Demostración de la compatibilidad GPS/SAR

El receptor GPS se situó en la zona de visión de los satélites GPS en el campo de pruebas del JPL. La antena del GPS se conectó directamente a su receptor y el equipo se activó en el modo de código P L2. Se verificaron los datos del GPS tras el enganche a los datos del satélite GPS y los operadores observaban y archivaban los datos del emplazamiento, así como la relación señal/ruido en el bucle de seguimiento. En el campo de pruebas del JPL se instalaron dos bastidores de RF del SIR-C y se activó el equipo de soporte en tierra para dar señales de banda L a la salida del convertidor elevador con un nivel de +18 dBm. Se conectaron 40 pies de cable de RF, longitud suficiente para llegar hasta los atenuadores, entre los bastidores del equipo de soporte en tierra SIR-C y dichos atenuadores, añadiendo otros 40 pies de cable de RF entre los atenuadores y el acoplador direccional a la entrada del receptor GPS para alcanzar un nivel de cresta de -75 dBW a la entrada de dicho receptor, previendo las pérdidas del acoplador direccional a la entrada de éste. Se desconectó la antena del GPS de la línea de su receptor y se añadió un acoplador direccional; se conectó el cable de RF entre los bastidores del equipo de soporte en tierra del SIR-C y los atenuadores, y se conectó el cable de RF entre los atenuadores y el acoplador direccional a la entrada del receptor GPS. Se fijaron los parámetros del radar SIR-C en una anchura de banda de 40 MHz, una frecuencia de repetición de impulsos de 1 736 Hz, una anchura del impulso de 33,8 μ s y un nivel a la entrada del GPS de -75 dBW, para un ciclo de trabajo máximo en funcionamiento nominal; se verificaba el efecto en el receptor GPS. Se efectuaron mediciones de la SNR en tensión para el modo C/A y el modo L2-P con una señal de referencia utilizando la atenuación máxima de 121 dB durante un minuto, al que seguía una señal de interferencia de -75 dBW durante un minuto. Esta medición se repitió durante varios minutos y se obtuvo un promedio. El procedimiento se repitió para diversas combinaciones de parámetros del radar. Uno de dichos parámetros era el nivel de la señal de entrada. Se aumentó el nivel a -43 dBW para la mayoría de los pasos de la prueba, en 32 dB por encima del nivel más desfavorable previsto del SAR espacial. Con ello se cubría toda diferencia de ganancia de antena GPS inferior a 32 dB. El receptor GPS no perdió el enganche y el Cuadro 4 muestra el registro de la degradación de la SNR. No hubo degradación en la precisión de la determinación de la posición durante ninguna de las pruebas.

Como estos ensayos se efectuaron con un prototipo de equipo de transmisión SAR, el receptor GPS recibía los niveles previstos del ruido interimpulsos emitido por el SAR a lo largo de todo el proceso de prueba. No hubo incidentes de pérdida del enganche o pérdida en precisión de la determinación de la posición por el receptor GPS durante ninguno de los ensayos. Así pues, puede llegarse a la conclusión de que el ruido interimpulsos emitido por el SAR es inferior al nivel umbral de interferencia para el receptor GPS.

6 Resumen

En este anexo se ha analizado el potencial de interferencia de radares típicos de apertura sintética a bordo de vehículos espaciales en los receptores del servicio de radionavegación por satélite (SRNS), durante las fases de adquisición y de seguimiento, teniendo en cuenta las diferencias de ganancia y la posible inclusión de L5. Los dos sistemas del servicio de radionavegación por satélite que funcionan en la banda 1 215-1 260 MHz son el sistema mundial de determinación de posición (GPS) y el sistema mundial de navegación por satélite (GLONASS-M). En el análisis efectuado se suponía un funcionamiento co-frecuencia del SAR y del sistema del SRNS. Se calcularon en la situación de peor caso los niveles de potencia de cresta de la señal en los receptores GPS y GLONASS-M resultantes de las emisiones del SAR y se vio que los niveles obtenidos eran muy inferiores a los niveles que fundirían el preamplificador y causarían posibles daños al receptor GPS o GLONASS-M.

En esta configuración más desfavorable, nunca se excederá el nivel de saturación del paso de entrada del receptor GPS. En la configuración más desfavorable, se excedería ligeramente y raras veces el nivel de saturación del paso de entrada del receptor GLONASS-M (1,5 dB). Teniendo en cuenta el diagrama de antena y los parámetros orbitales del SAR, el nivel de saturación de un receptor GLONASS-M estacionario podría rebasarse durante menos de 2s al día. No obstante, como la anchura del impulso transmitido por el SAR es corta y el ciclo de trabajo es pequeño, los periodos en que la señal GLONASS-M podría degradarse porque el nivel de la señal interferente exceda el nivel de limitación del preamplificador serían relativamente cortos en comparación con la longitud binaria de información del GLONASS-M. Así pues, no habrá una repercusión apreciable en el comportamiento del receptor.

Se demostró satisfactoriamente la compatibilidad entre el GPS y el SAR. El Sistema mundial de determinación de la posición (GPS) funciona en la frecuencia central de 1 227,6 MHz para el modo de código P L2 con una anchura de banda del receptor de ± 17 MHz y un código C/A. Puede añadirse ortogonalmente el modo L5 al L2 en esta banda, lo que se espera que presente características similares, al igual que el código C/A. El radar de formación de imágenes a bordo de vehículos espaciales SIR-C funciona en la frecuencia central de 1 237,5 MHz para la anchura de banda de 40 MHz en banda L. El nivel de potencia de cresta de los impulsos del SIR-C es muy superior al límite especificado de onda continua para el GPS; no obstante, como los impulsos del SIR-C interfieren con el código pseudoaleatorio recibido en el GPS únicamente durante la pequeña duración de la anchura del impulso del SIR-C, no se pierde el enganche, y de hecho, la SNR se degrada sólo ligeramente en presencia de los impulsos de interferencia, sin que se hayan observado degradaciones en la precisión de la determinación de la posición. Con estas pruebas se demostró satisfactoriamente que el código P L2 y el código C/A del GPS funcionarán nominalmente en el entorno de interferencia que imponen los radares SIR-C en banda L y en banda C.

CUADRO 4

Efecto sobre el receptor GPS en una configuración por pasos de la prueba de demostración de compatibilidad	Enganche/ no enganche	Variación SNR C/A (dB)	Variación SNR P2 dB
Anchura de banda 40 MHz, frecuencia de repetición de impulsos (PRF)=1 736 Hz, anchura del impulso=33,8 μ s, y el nivel en el GPS a -75 dBW, para ciclo de trabajo máximo	Enganche	.	-0,8
Anchura de banda 40 MHz, PRF=1 736 Hz, anchura del impulso=33,8 μ s, y el nivel en el GPS se aumentó a -65 dBW, para ciclo de trabajo máximo	Enganche	-0,9	-0,7
Anchura de banda 40 MHz, PRF=1 736 Hz, anchura del impulso=33,8 μ s, y el nivel en el GPS se aumentó a -43 dBW, (máximo disponible con atenuación de 0 dB), para ciclo de trabajo máximo	Enganche	-0,8	-0,3
Anchura de banda 40 MHz, PRF=2 160 Hz, anchura del impulso=33,8 μ s, y el nivel en el GPS se aumentó a -43 dBW, para ciclo de trabajo máximo en operaciones no nominales	Enganche	-0,9	-0,6
Anchura de banda 40 MHz, PRF=2 160 Hz (PRF no operacional máxima disponible), anchura del impulso=16,9 microsegundos, y el nivel en el GPS se situó en -43 dBW para ciclo de trabajo medio y operaciones no nominales	Enganche	-0,7	-0,4
Anchura de banda 40 MHz, PRF=1 395 Hz, anchura del impulso=16,9 μ s y el nivel en el GPS se situó en -43 dBW para ciclo de trabajo reducido	Enganche	-0,2	-0,1
Anchura de banda 40 MHz, PRF=1 240 Hz (PRF no operacional mínima disponible), anchura del impulso=33,8 μ s, y el nivel en el GPS se situó en -43 dBW para ciclo de trabajo mínimo y operaciones no nominales	Enganche	-0,1	-0,2
Anchura de banda 10 MHz, PRF=1 240 Hz, anchura del impulso=8,45 μ s, y el nivel en el GPS se situó en -43 dBW para ciclo de trabajo extremadamente reducido y espectros sin superposición	Enganche	-0,3	+0,1
Anchura de banda 40 MHz, RF=2 160 Hz, anchura del impulso=33,8 μ s y el nivel en el GPS se situó en -43 dBW para ciclo de trabajo máximo; el filtro de entrada del GPS se sustituyó por un filtro de preselección de banda ancha de 550 MHz	Enganche	-1,4	-1,4
Anchura de banda 40 MHz, PRF=2 160 Hz, anchura del impulso=33,8 μ s y el nivel en el GPS se situó en -75 dBW para ciclo de trabajo máximo y nivel realista procedente del espacio; se mantuvo el filtro de preselección de banda ancha de 550 MHz de entrada al GPS	Enganche	-1,0	-1,7
Anchura de banda 40 MHz en banda C, PRF=2 160 Hz, anchura del impulso=33,8 μ s, y el nivel en el GPS se situó en -51,5 dBW (máximo disponible para banda C con atenuación de 0 dB), para ciclo de trabajo máximo y con el fin de verificar el efecto de la radiación procedente del espacio en banda C	Enganche	-1,5	-1,5