

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R M.2069-0**  
(12/2014)

**Variabilidad de la rotación de las antenas y  
efecto sobre el acoplamiento de antenas  
en el análisis de interferencia  
entre radares**

**Serie M**

**Servicios móviles, de radiodeterminación,  
de aficionados y otros servicios  
por satélite conexos**



## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión (sonora)
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	<b>Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos</b>
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radioastronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2016

© UIT 2016

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## RECOMENDACIÓN UIT-R M.2069-0

**Variabilidad de la rotación de las antenas y efecto sobre el acoplamiento de antenas en el análisis de interferencia entre radares**

(2014)

**Cometido**

En esta Recomendación se describen el efecto de la rotación de las antenas sobre el acoplamiento entre antenas en el análisis de interferencia y compatibilidad entre sistemas de radar.

**Palabras clave**

Acoplamiento de antenas, discordancia entre las velocidades de rotación de las antenas, radar

**Siglas y acrónimos/glosario**

CDF          Función de distribución acumulativa (*cumulative distribution function*)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que existe la necesidad de estimar el acoplamiento de las antenas rotatorias para su aplicación en la evaluación de la interferencia;
- b) que la Recomendación UIT-R M.1851 – Modelos matemáticos de diagramas de antena de sistemas de radar del servicio de radiodeterminación para uso en los análisis de interferencia, puede utilizarse para obtener diagramas teóricos de antena aplicables en las estimaciones del acoplamiento entre antenas,

*recomienda*

que para estimar los efectos del acoplamiento entre antenas se considere la información descrita en el Anexo 1.

**Anexo 1****Efectos del acoplamiento de las antenas**

En este Anexo se examinan los efectos de la variabilidad de la velocidad de rotación de las antenas sobre el acoplamiento de las antenas.

**Acoplamiento de antenas**

Cuando dos radares funcionan con visibilidad directa entre ellos o cuando se dan condiciones de propagación anómalas que lo permiten, la antena de un radar, y el receptor asociado, recibe directamente la radiación del otro radar. Esta interacción puede dar lugar a una interferencia mutua que degrada la calidad de funcionamiento. Cuando eso ocurre, se dice que ambos sistemas están acoplados. Es necesario calcular la magnitud del acoplamiento entre los dos radares para prever los problemas que pueda causar el sistema interferente e implantar las medidas preventivas pertinentes. El acoplamiento de las antenas de dos radares es función de:

- las condiciones de propagación atmosférica;
- la potencia del transmisor;

- las pérdidas debidas a cables y a otras unidades de ambos sistemas;
- el acoplamiento entre las antenas debido a sus diagramas de radiación;
- la sensibilidad del receptor interferido;
- la separación espacial y las elevaciones del terreno entre los radares;
- la altura de las antenas sobre el nivel del suelo y el ángulo de elevación de la antena;
- las ganancias absolutas de las antenas y el ángulo de salida de la señal de la antena transmisora que incide en la antena receptora, y
- la discordancia entre las velocidades de rotación de las antenas.

Los radares primarios tienen una elevada sensibilidad con el fin de detectar las señales reflejadas en las aeronaves en virtud de la pérdida de propagación en los trayectos de ida y vuelta, incluida en la ecuación radar mediante el factor  $1/R^4$  donde  $R$  es la distancia a la aeronave.

La interferencia de un radar sobre otro sigue un único trayecto (trayecto de propagación  $1/R^2$ ) que exige una distancia de separación superior entre radar interferente y radar interferido.

Teniendo en cuenta lo anterior, puede concluirse que en una red de radares con una cobertura completa, los radares siempre estarán sometidos a interferencias de radares circundantes.

El acoplamiento entre dos radares ocurre principalmente cuando ambos funcionan en la misma frecuencia o en frecuencias próximas, en cuyo caso el rechazo dependiente de la frecuencia (FDR, *frequency dependent rejection*) o el valor de cresta del FDR, es pequeño. En consecuencia, la técnica de mitigación actualmente utilizada para suprimir las interferencias entre sistemas de radar consiste en asignar frecuencias distintas a los radares que funcionan en una zona dada. Por tanto, es necesario disponer de un conjunto de frecuencias con separación suficiente entre ellas para reducir la interferencia y lograr la cobertura total de la región con un plan de frecuencias específico para dicho ámbito geográfico.

La discordancia entre las velocidades de rotación de dos antenas puede causar elevados niveles de interferencia de forma reiterada y durante periodos prolongados. En las Figs. 1 a 6 se muestran casos en los que existe discordancia entre las velocidades de rotación de las antenas (Rec. UIT-R M.1464-1, caso de Radar C a Radar C). La discordancia entre velocidades de rotación no es algo irrazonable. En este sentido, se recoge a continuación un extracto de las especificaciones de requisitos del sistema de control del movimiento en azimut del pedestal de un radar de vigilancia de un aeropuerto y de la velocidad de exploración de la antena:

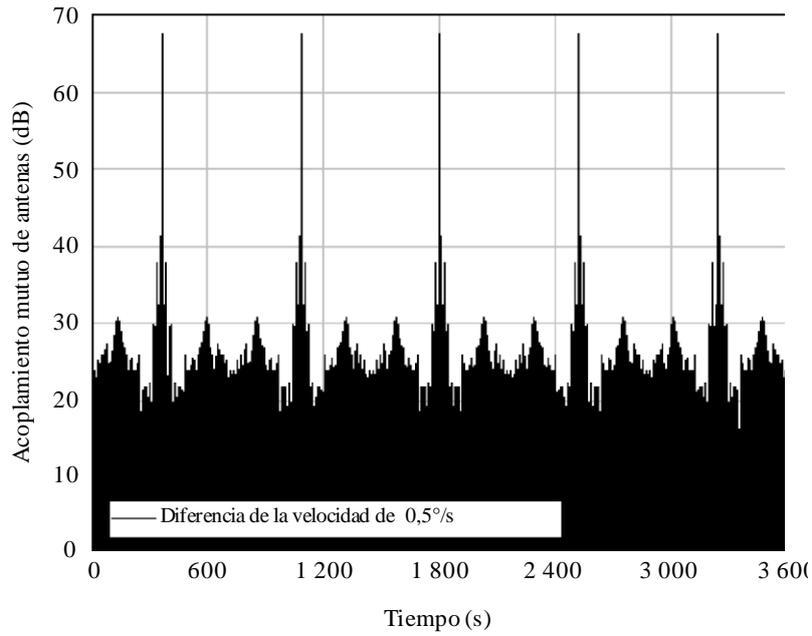
*«Control del acimut del pedestal de la antena. El control del acimut del pedestal deberá permitir una velocidad controlable de 0 a 30 grados por segundo en pasos no superiores a 1 grado por segundo, con una precisión de  $\pm 0,5\%$ . Mediante las instrucciones precisas, se podrá controlar el acimut y mantener la posición de la antena con un margen de  $\pm 0,05$  grados en respecto al ángulo de acimut seleccionado. En funcionamiento normal, la rotación de la antena será en el sentido de las agujas del reloj.»*

Otra especificación de la velocidad de exploración de una antena, señala que «la velocidad de exploración de la antena es de una vuelta cada 4,8 segundos, con desviaciones de +0,53 o -0,44 segundos», lo que equivale a valores de rotación de la antena de entre  $67,54^\circ/\text{s}$  y  $82,57^\circ/\text{s}$ .

La especificación anterior significa que aunque la rotación de las antenas esté sincronizada, pueden existir niveles elevados de acoplamiento entre ellas. En las figuras siguientes se muestran los resultados del acoplamiento entre antenas para tres valores de discordancia entre velocidades de rotación de las antenas de radares con máximos de  $0,5^\circ/\text{s}$ ,  $0,25^\circ/\text{s}$  y  $7,46^\circ/\text{s}$ . Las figuras muestran que conforme se reduce la discordancia entre las velocidades de rotación de las antenas, también se reduce la tasa de repetición del acoplamiento de alto nivel entre ellas.

FIGURA 1

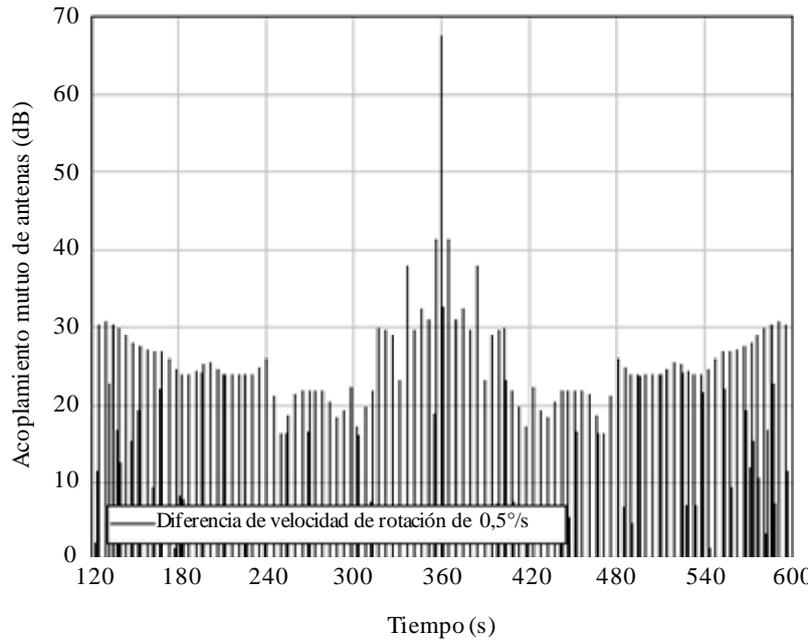
Acoplamiento de antenas con una diferencia de velocidad de rotación de 0,50°/s



M.2069-01

FIGURA 2

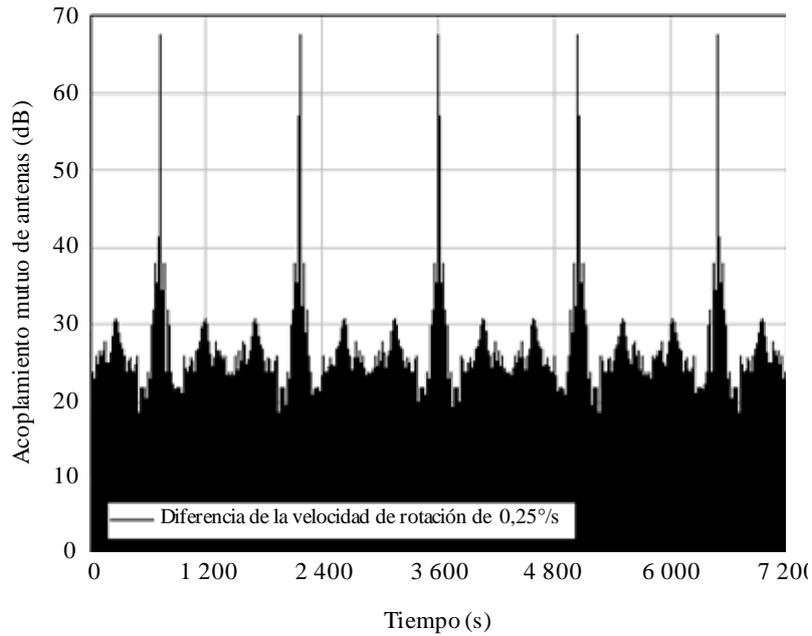
Acoplamiento de antenas con una diferencia de velocidad de rotación de 0,50°/s  
(mayor detalle)



M.2069-02

FIGURA 3

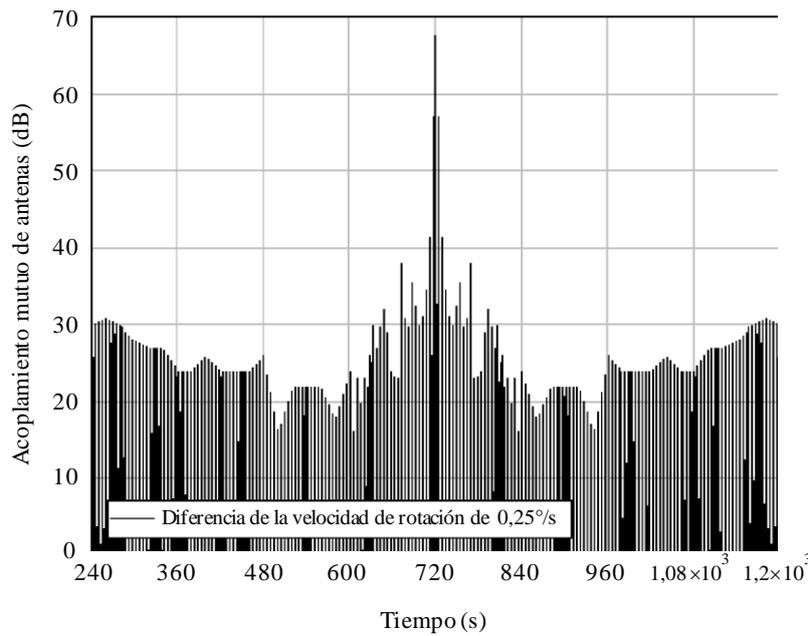
Acoplamiento de antenas con una diferencia de velocidad de rotación de 0,25°/s



M.2069-03

FIGURA 4

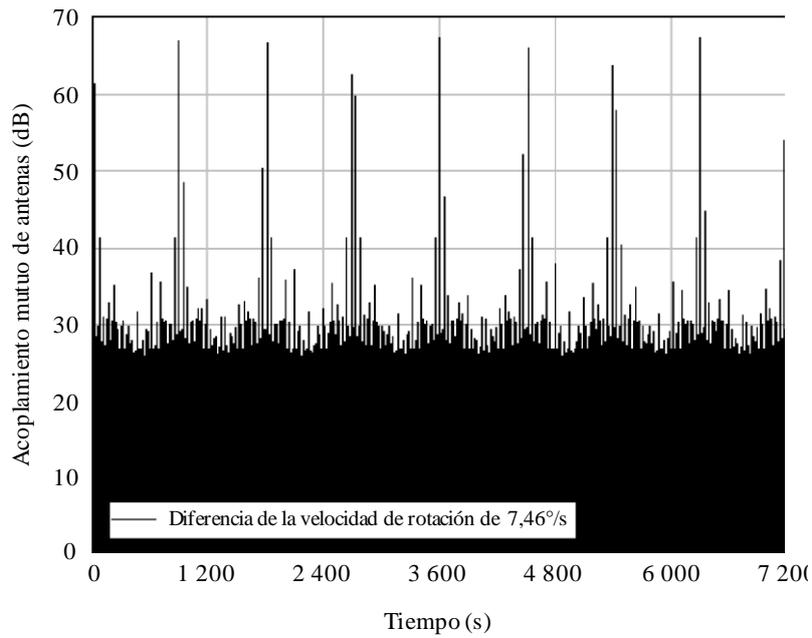
Acoplamiento de antenas con una diferencia de velocidad de rotación de 0,25°/s  
(más detalle)



M.2069-04

FIGURA 5

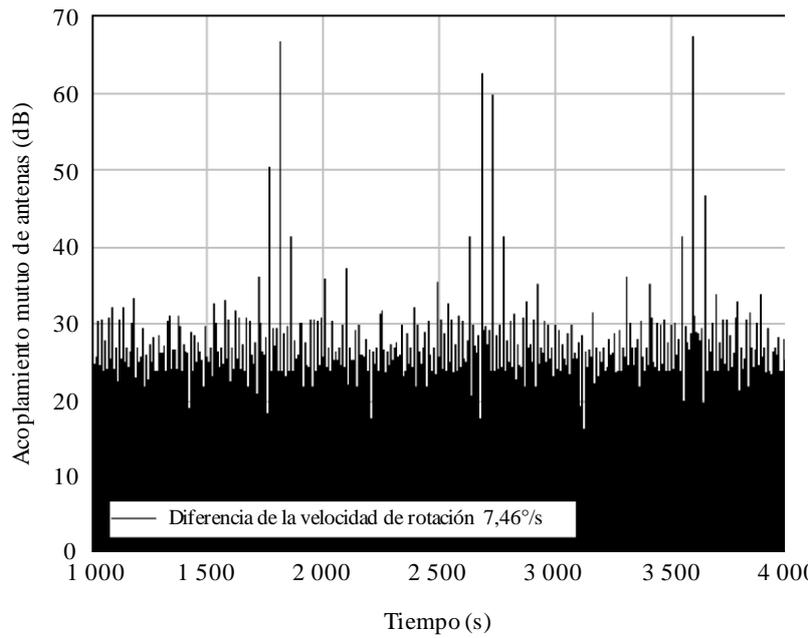
Acoplamiento de antenas con una diferencia de velocidad de rotación de  $7,46^\circ/s$



M.2069-05

FIGURA 6

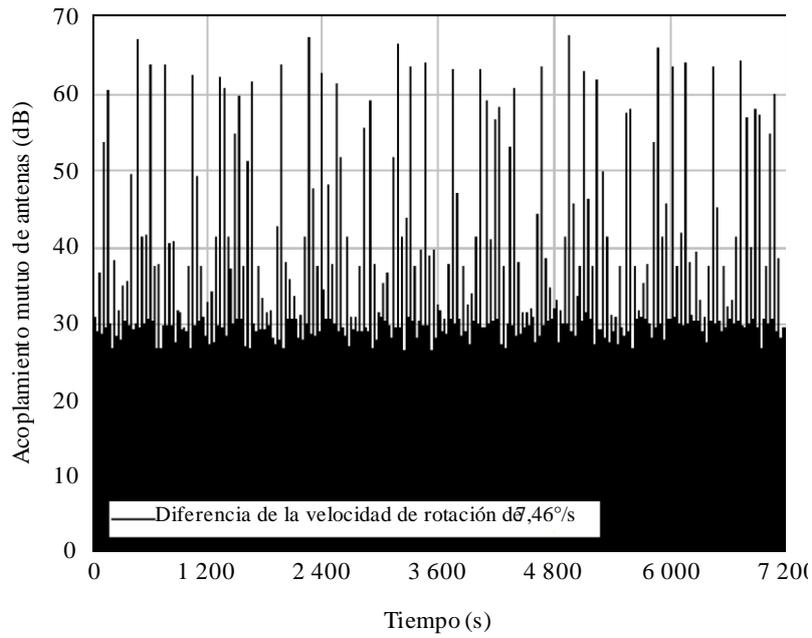
Acoplamiento de antenas con una diferencia de velocidad de rotación de  $7,46^\circ/s$   
(más detalle)



M.2069-06

FIGURA 7

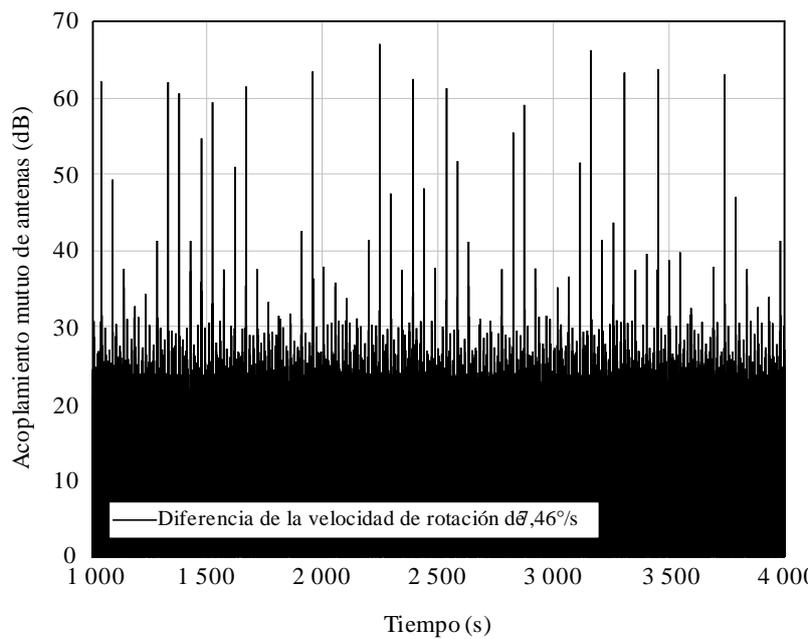
Acoplamiento de antenas con una diferencia de velocidad de rotación de  $7,46^\circ/s$   
caso de varios radares



M.2069-07

FIGURA 8

Acoplamiento de antenas con una diferencia de velocidad de rotación de  $7,46^\circ/s$   
caso de varios radares (más detalle)

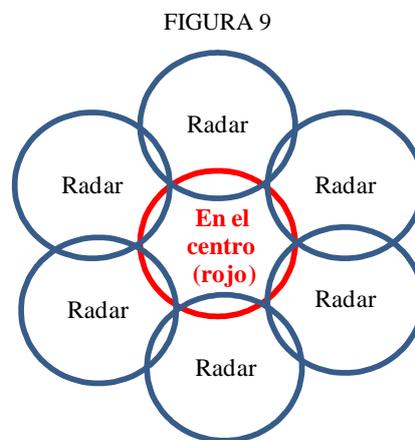


M.2069-08

Como puede observarse en las Figs. 1 a 8, puede existir un elevado nivel de acoplamiento entre las antenas durante un prolongado periodo de tiempo en función de la discordancia entre las velocidades de rotación de las antenas. La Fig. 10 muestra la función de distribución acumulativa (CDF) de la interacción entre sendos Radar-C (para el diagrama de radiación de la Fig. 11) calculada tomando 5 millones de muestras aleatorias de posiciones de apuntamiento azimutal de las antenas de dos radares (un Radar-C interferido por varios Radares-C) y evaluando la ganancia total de la antena interferida. Se asume que las velocidades de rotación no son idénticas. Los radares están situados de forma que pueden considerarse diagramas de radiación de campo lejano. Por ejemplo, durante el 0,05% del tiempo, se rebasan niveles de acoplamiento de las antenas de +30 dB. No obstante, en los gráficos se observa que casi siempre se excede el nivel de 30 dB. Por tanto, es necesario elegir un valor muy inferior al 0,05% para representar de forma realista los valores de acoplamiento de las antenas. Cuando se realizan estudios de compartición y compatibilidad, es recomendable que la ganancia de acoplamiento de la antena se elija de forma que no se supere durante más de un tiempo muy reducido. La magnitud de «muy reducido» se determinará caso a caso en función de la criticidad e importancia de la función del radar. Además, cabe hacer las observaciones siguientes:

### Efectos de varios radares

Debe tenerse en cuenta que la cobertura de grandes zonas puede requerir una red de radares. Por ejemplo, para que exista cobertura completa sin ningún punto ciego, puede considerarse que un radar interferido está rodeado por otros 6 radares (véase la Fig. 9).

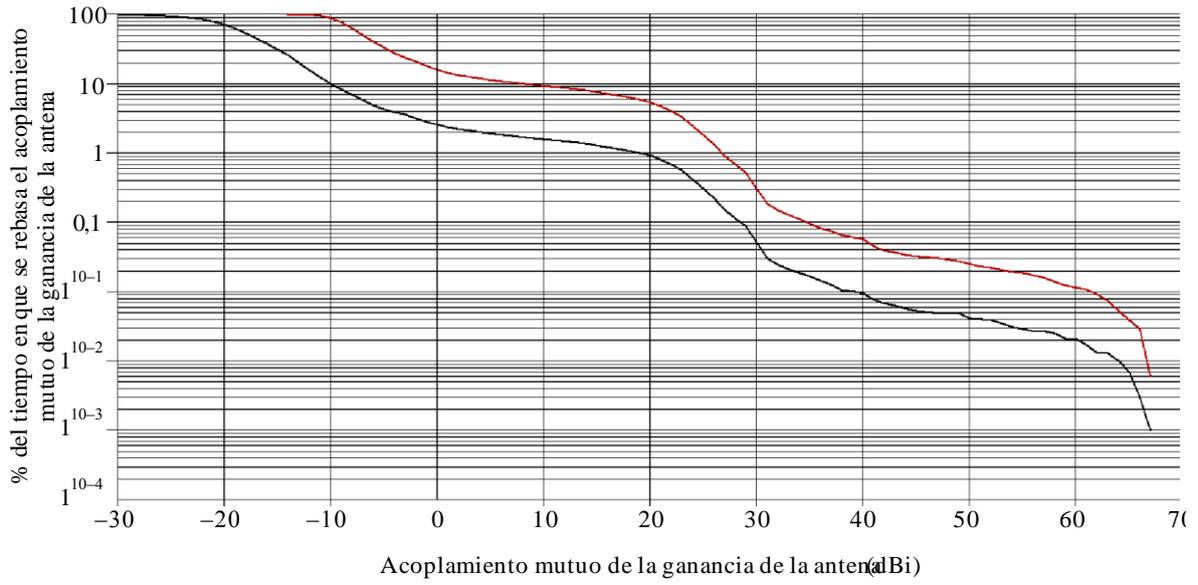


En este caso, las interferencias puede ocurrir «seis veces más a menudo». Debido a las distintas posiciones angulares de los siete radares y a la diferencias en las posiciones durante la rotación, las ocurrencia de las interferencias tendrá un distribución escalonada con el tiempo.

Por ejemplo, con una diferencia de velocidad de rotación de las antenas de  $0,1^\circ/\text{s}$ , en una hipótesis de repetición uniforme, puede estimarse que los eventos de acoplamiento máximo ocurren cada  $(360^\circ \div 0,1^\circ/\text{s}) \div 6 = 600$  s. Sin embargo, en un caso extremo, los eventos de acoplamiento máximo entre el radar interferido y los seis radares que lo circundan, pueden ocurrir durante el mismo periodo de rotación de la antena del radar interferido. Si el periodo de rotación común de las antenas es de 12 s, el radar sufre interferencia cada 2 segundos. La Fig. 10 muestra la CDF del acoplamiento de la antena para dos casos. El primero es un caso de acoplamiento uno a uno (curva de color negro) y el segundo (curva de color rojo) es el caso de seis radares interferentes y un radar situado en el centro geográfico de los mismos, tal como se muestra en la Fig. 9.

FIGURA 10

CDF del acoplamiento entre antenas para radares C  
(con mediciones del diagrama de radiación de la antena)



M.2069-10

El diagrama de radiación de las antenas utilizado para el análisis se muestra en la Fig. 11.

FIGURA 11

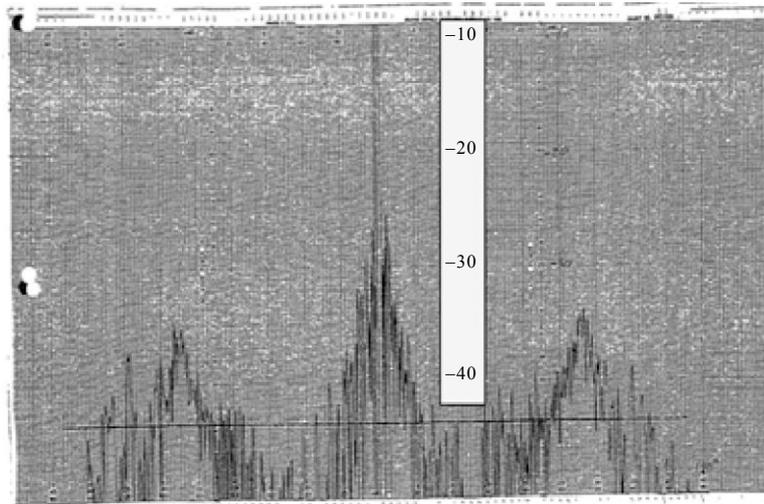
Diagrama de radiación de un Radar-C obtenido de mediciones (Rec. UIT-R M.1464)



M.2069-11

La Fig. 12 muestra los diagramas medidos para radares equivalentes a los Radar-C.

FIGURA 12

**Mediciones del diagrama de radiación de la antena de un Radar-C**

M.2069-12

**Conclusiones**

Se ha mostrado que pueden producirse valores elevados de acoplamiento entre antenas de radares de forma repetitiva y consistente durante un prolongado periodo de tiempo. El efecto de este acoplamiento debe tenerse en cuenta aplicando el valor adecuado del cálculo de la CDF del acoplamiento de antenas teniendo en cuenta la criticidad de la función del radar.

**Referencias**

- [1] ATDI Contract No. N68836-10-P-1705 «Rivira Wind Farm Effect on Kingsville Naval Air Station Radar» Written by S. Yun, M. Rais.
  - [2] [faaco.faa.gov/attachments/TDWR\\_Antenna\\_Requirements.doc](http://faaco.faa.gov/attachments/TDWR_Antenna_Requirements.doc).
  - [3] Thereza M. Macnamara BSc, MSc (London) «Introduction to Antenna Placement and Installation» A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, 2010.
-