

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2391-0
(06/2016)

**Los efectos de las turbinas eólicas
sobre los radiogoniómetros fijos**

Serie SM
Gestión del espectro



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

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 los Informes UIT-R

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

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro

Nota: Este Informe UIT-R fue aprobado en inglés por la Comisión de Estudio conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2017

© UIT 2017

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

INFORME UIT-R SM.2391-0

Los efectos de las turbinas eólicas sobre los radiogoniómetros fijos

(2016)

Resumen del informe

A pesar de los requisitos que figuran en el Manual de Comprobación Técnica del Espectro de la UIT, donde se establece una distancia mínima de seguridad de cinco kilómetros entre los radiogoniómetros y los parques eólicos, hasta ahora no se habían realizado estudios sobre los efectos concretos de las turbinas eólicas en los radiogoniómetros fijos en función de la distancia.

En el Anexo 1 a este informe se presenta un estudio realizado sobre la influencia de los parques eólicos en los radiogoniómetros a diversas distancias y frecuencias.

Anexo 1**Ejemplo de un estudio realizado en Alemania sobre los efectos de las turbinas eólicas en radiogoniómetros fijos****Resumen del Anexo 1**

En el proyecto de un nuevo plan regional se propone la designación de un área prioritaria de energía eólica alrededor de la estación de comprobación técnica radioeléctrica de la Bundesnetzagentur en Rheurdt (Alemania).

En la investigación realizada se ha comprobado que los parques eólicos situados cerca de radiogoniómetros fijos generan interferencias importantes. Incluso a una distancia de 4,6 km, los resultados muestran que los parques eólicos generan desviaciones de marcación e interferencias.

Las interferencias varían considerablemente en función de la distancia, la posición del parque eólico y de la longitud de onda. En el caso de bandas de frecuencias de ondas métricas largas (4 y 2 m), las interferencias suelen ocurrir en todas las direcciones, independientemente de la posición concreta del parque eólico. Cerca de un parque eólico, el nivel de interferencia en el caso de bandas de frecuencias decimétricas cortas (especialmente 23 cm y 13 cm) depende de la posición de cada turbina eólica, mientras que a mayor distancia, el parque eólico solo actúa como una superficie reflectora. Las marcaciones en esas bandas de frecuencias también se ven afectadas por niveles altos de fluctuación.

Los errores de radiogoniometría (DF) pueden presentarse en forma de resultados DF altamente dispersos en los cuatro cuadrantes, unos pocos errores DF puntuales o marcaciones que fluctúan entorno a un valor promedio ficticio.

Un radiogoniómetro de onda corta se comporta caóticamente dentro de un parque eólico. Incluso cuando el parque eólico se sitúa a 2,5 km de distancia, solo hay un sector estrecho perpendicular al parque eólico en el que son posibles, teóricamente, marcaciones válidas. A una distancia de 4,6 km, la situación mejora hasta el punto que solo se detectan errores en la dirección del parque eólico y en la dirección contraria. Ahora bien, es cierto que en la investigación no se tuvieron en cuenta los efectos en la recepción de la onda ionosférica de radiogoniómetros de onda corta.

En todas las bandas de frecuencias, los errores DF detectados son superiores a $\pm 20^\circ$ (y en algunos casos, incluso rotatorios). Un error DF de más de 2° impide la investigación oportuna de interferencias en frecuencias de seguridad (radiocomunicaciones aeronáutica, policía, etc.) y la aclaración eficiente de la utilización de frecuencias, tanto en el caso de interferencias como al comprobar la ocupación de frecuencias.

Las fluctuaciones detectadas de hasta 40 dB (que equivalen a un 99,99% de pérdida de señal) impiden la medición calibrada de la intensidad de campo y ponen en peligro la decodificación potencialmente necesaria de transmisiones radioeléctricas analógicas y digitales.

La investigación muestra que las turbinas eólicas y los radiogoniómetros fijos no son compatibles a distancias inferiores a 4,6 km. La interferencia registrada muestra claramente que, en esas circunstancias, dejaría de ser posible operar una estación de comprobación técnica radioeléctrica de la Bundesnetzagentur de conformidad con los requisitos pertinentes.

Índice del Anexo 1

	<i>Página</i>
1	Introducción..... 4
2	Banda de frecuencias 6
3	Mediciones..... 6
4	Áreas de medición 7
	4.1 Mediciones en parque eólico 7
	4.2 Medidas de referencia..... 8
5	Configuraciones de medición 11
	5.1 Vehículo DF..... 11
	5.2 Vehículo transmisor 11
6	Cálculo del ángulo de marcación..... 14
7	Ubicaciones del radiogoniómetro 15
	7.1 Radiogoniómetro 0 – centro del parque eólico..... 15
	7.2 Radiogoniómetro 1 – límite del parque eólico 17
	7.3 Radiogoniómetro 2 – situado a 2,5 km de distancia 18
	7.4 Radiogoniómetro 3 – situado a 4,6 km de distancia 19
8	Camino de medición 20
9	Resultados DF..... 22
	9.1 Medidas de referencia..... 22
	9.2 Series de medidas 33
10	Nivel de medición..... 64
	10.1 Sensibilidad del sistema..... 66
	10.2 Registro dentro del dominio de tiempo 66
	10.3 Análisis de nivel 70

1 Introducción

La Bundesnetzagentur (Agencia Federal de Redes para electricidad, gas, telecomunicaciones, correos y ferrocarriles) es una autoridad federal diferenciada de alto nivel, dependiente del Ministerio de Economía y Energía alemán, que tiene su sede en Bonn. De conformidad con la Ley de Telecomunicaciones (TKG), entre sus funciones figura la reglamentación de frecuencias en la República Federal de Alemania, la monitorización del cumplimiento de las condiciones de la asignación de frecuencias, la investigación de interferencias en relación con la utilización de frecuencias y la resolución de cualquier infracción resultante.

A tal fin, la Bundesnetzagentur opera siete estaciones de comprobación técnica radioeléctrica por toda Alemania, equipadas con aparatos de radiogoniometría, registradas en la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y reconocidas por ella. Esas estaciones de monitorización pueden determinar la dirección desde la que se realiza una transmisión radioeléctrica a su ubicación. A partir de esa información puede determinarse la ubicación probable de la transmisión. De esas siete estaciones de radiogoniometría, solo cuatro están equipadas con radiogoniómetro de onda corta adicional debido a los elevados costos de inversión que ello implica y a los requisitos topográficos del lugar para un equipo así.

Estación de comprobación técnica radioeléctrica de Krefeld/Rheurd



Radiogoniómetro de onda corta



La estación de comprobación técnica radioeléctrica de Rheurt cerca de Krefeld es una estación de radiogoniometría de onda corta. Debido al entorno homogéneo, y también para evitar emisiones nocivas y errores (DF) como resultado de los edificios en los alrededores, el radiogoniómetro de onda corta se construyó lejos de esos edificios en una explanada destinada únicamente a fines agropecuarios y se opera por control remoto.

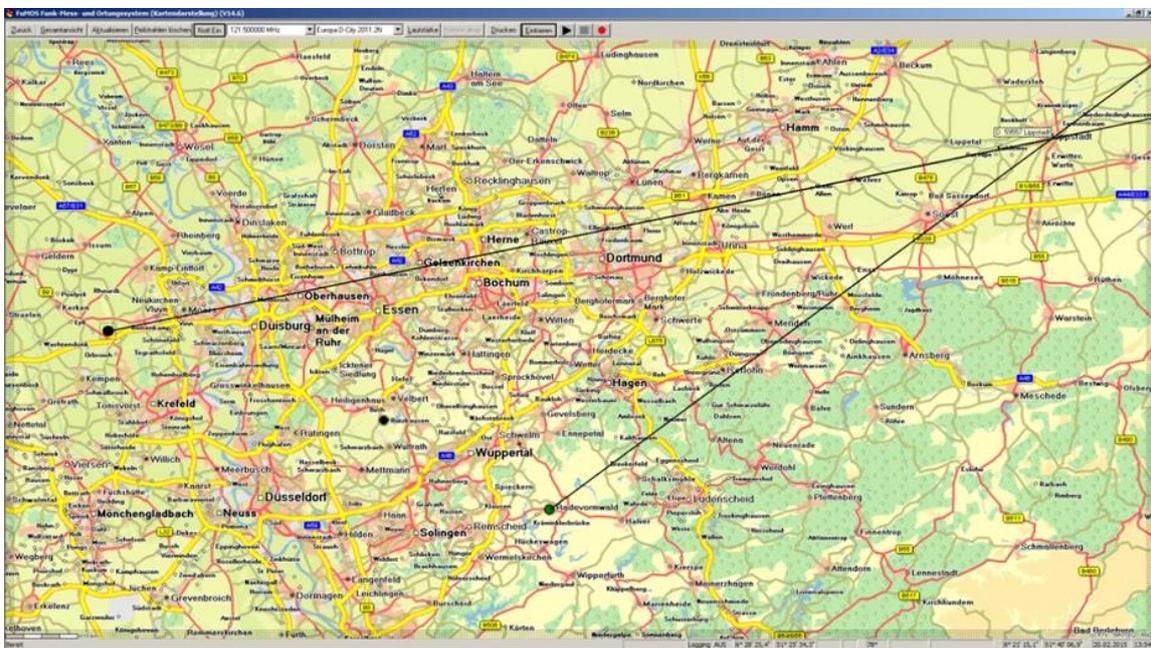
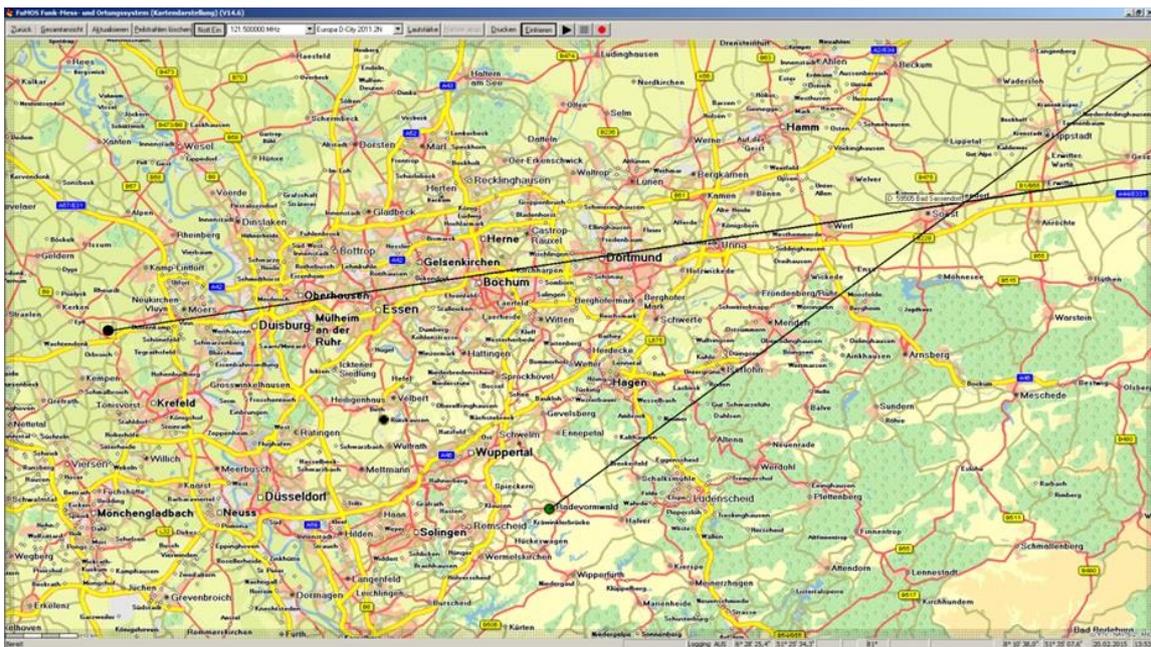
La utilidad de un radiogoniómetro, que se basa en la precisión de sus resultados DF, depende de su ubicación. Necesita una «vista despejada» en su campo de recepción y no puede verse afectado por interferencias provenientes de estructuras circundantes (por ejemplo, ruidos humanos de áreas industriales o comerciales). Si es posible, los radiogoniómetros se ubican lejos de zonas construidas.

Los fabricantes de los sistemas DF definen cómo debe ser el área sin obstáculos para que el sistema funcione correctamente y de conformidad con las condiciones acordadas. Los requisitos del operador del sistema, que se enumeran de acuerdo a la importancia de las bandas de frecuencias en cuestión, también se tienen en cuenta. Los servicios de seguridad, como las radiocomunicaciones aeronáuticas, de policía y para servicios de rescate en emergencias, tienen una prioridad superior y deben estudiarse mucho más rápido que otras bandas, por ejemplo, las frecuencias radioeléctricas que utilizan los radioaficionados por motivos puramente de entretenimiento.

Para el radiogoniómetro de onda corta utilizado en la estación de Krefeld/Rheurdt, el fabricante (la empresa Plath con sede en Hamburgo) especifica que no debe haber obstáculos en 2 000 m a la redonda, con un ángulo de elevación de 3° desde el centro del radiogoniómetro. Eso significa que puede haber edificios con una altura máxima de unos 105 m 2 000 m a la redonda ($2\,000\text{ m} \times \tan 3^\circ \approx 105\text{ m}$). En el caso de los parques eólicos, también hay que tener en cuenta la altura máxima de la punta de la pala, ya que la velocidad y la dirección de rotación influyen en el grado en que el área de barrido constituye un obstáculo para la radiorecepción. Con radiogoniómetros de onda corta, 3,8 km de radio sin obstáculos es una «distancia tolerable» para turbinas eólicas con una altura de 190 m.

A una distancia de 200 km, un error DF de solo 3° genera una desviación de marcaciones de 10,5 km y por lo tanto impide determinar la ubicación desde la que se hizo la transmisión.

Valor DF modificado de 81° a 78° desde Rheurdt



A partir del ejemplo de un error DF de solo 3°, el área objetivo se desplaza de la ciudad de Soest a la ciudad de Lippstadt, a 10 km de distancia.

El Manual de Comprobación Técnica del Espectro de la UIT (en el que figuran directrices aplicables a nivel mundial sobre la construcción de estaciones de comprobación técnica del espectro) recomienda por lo tanto una distancia de 2 000 m entre las estaciones de comprobación técnica del espectro y una turbina eólica, así como una zona de seguridad sin parques eólicos de 5 000 m alrededor de la estación de comprobación técnica del espectro.

La investigación se inició con motivo de la planificación de una zona prioritaria para energía eólica alrededor de la estación de comprobación técnica radioeléctrica y del sistema de recepción y el servicio de inspección en Rheurdt, propuesta en el plan regional de la administración regional de Düsseldorf. El objetivo de esta investigación es determinar por adelantado los posibles efectos de ese plan en los radiogoniómetros de ondas decamétricas, ondas métricas y ondas decimétricas y definir una distancia desde las turbinas eólicas para que esos efectos sean tolerables.

2 Banda de frecuencias

En la investigación se estudiaron todas las bandas de frecuencias de ondas métricas y decimétricas importantes. En el siguiente cuadro figura una visión general de las bandas de frecuencias y sus usos principales:

Banda de frecuencias	Longitud de onda	Tipo de uso radioeléctrico
65-87,5 MHz	4 m	Autoridades y organizaciones de seguridad pública (policía, bomberos, servicios de emergencia), fuerzas armadas, ferrocarriles, radiocomunicación móvil privada (RMP), radiobúsqueda <i>in situ</i> , radiodifusión auxiliar
108-174 MHz	2 m	Radiocomunicaciones aeronáuticas, autoridades y organizaciones de seguridad pública, fuerzas armadas, radiocomunicaciones de taxi, aplicaciones radioeléctricas domésticas, servicio móvil marítimo y servicio de vías interiores de navegación, radioaficionados
400-470 MHz	70 cm	Autoridades y organizaciones de seguridad pública, radiocomunicaciones móviles con concentración de enlaces analógicas y digitales, aplicaciones radioeléctricas domésticas, radioaficionados, servicios de datos móviles, radioastronomía
800-1 100 MHz	30 cm	Comunicaciones móviles, fuerzas armadas, navegación aeronáutica, radiodeterminación, radioastronomía
1 200-1 400 MHz	23 cm	Radiodeterminación (radar, GPS, Galileo), comunicaciones por satélite, radioaficionados
2 000-3 000 MHz	13 cm	Comunicaciones móviles, WLAN, autoridades y organizaciones de seguridad pública, radioenlace, comunicaciones por satélite, fuerzas armadas, navegación aeronáutica, radiodeterminación, radioastronomía, radioaficionados

Todas las longitudes de onda deberían considerarse a título ilustrativo de bandas de frecuencias.

3 Mediciones

En las mediciones participaron las siguientes partes:

- servicio de inspección y comprobación técnica radioeléctrica de Darmstadt;
- servicio de inspección y comprobación técnica radioeléctrica de Rheurdt;
- desarrollo de software «GPS_Azimuth» (véase punto 06).

Las mediciones se realizaron del 26 al 30 de enero de 2015 y del 5 al 8 de febrero de 2015 en el parque eólico de Haren (Ems) y alrededores, y las medidas de referencia se tomaron del 18 al 20 de febrero de 2015 en campo abierto cerca de Kerken-Aldekerk.

4 Áreas de medición

4.1 Mediciones en parque eólico

Antes de las mediciones se buscó un parque eólico en Alemania que cumpliera los siguientes criterios:

- un número suficientemente grande de turbinas eólicas de última generación;
- un paisaje plano;
- tierras con pocas construcciones en un radio de 5 km desde el parque eólico;
- sin árboles frondosos.

Se terminó por elegir el parque eólico en Haren (Emsland) ya que parecía ser el que mejor cumplía los criterios anteriores. El parque eólico en Haren consta de 29 turbinas eólicas y está situado en la región de la ciudad de Haren/Ems, en el distrito de Rütenmoor, muy cerca de la frontera neerlandesa. El área sin obstáculos, que solía ser un páramo, abarca unas 295 hectáreas y actualmente se utiliza de forma muy intensiva para fines agropecuarios.

Parque eólico en Haren (Ems)



Se construyeron 29 turbinas eólicas ENERCON E-70-4 con una potencia efectiva de 2 MW y ENERCON E-66-1 con una potencia efectiva de 1,8 MW en el parque eólico. La altura del eje de todas las turbinas es la misma: 98 m. Las turbinas están equipadas con palas de rotor de última generación (punta cónica) para mejorar la utilización de la energía eólica.

Parque eólico en Haren
(los puntos azules son las ubicaciones de las turbinas eólicas)



4.2 Medidas de referencia

El fabricante de la antena DF para la gama de ondas decamétricas y de la antena para la gama de ondas métricas y decimétricas especifica que puede tolerarse un error DF máximo de $\leq 2^\circ$ RMS.

Especificaciones

Gama de frecuencias (en dos subgamas)	VHF / UHF I UHF II	20 MHz hasta 1 300 MHz 1 300 MHz hasta 3 000 MHz
Tipo de antena	VHF / UHF I UHF II	1 sistema de antenas circular de ocho elementos y 1 de nueve elementos
Polarización		vertical
Impedancia nominal		50 Ω
Error DF ¹		$\leq 2^\circ$ RMS
Sensibilidad DF ² (véase Fig. 4-1)	20 MHz hasta 200 MHz 200 MHz hasta 1 300 MHz 1 300 MHz hasta 3 000 MHz	12 μ V/m hasta 1,0 μ V/m typ. < 2 μ V/m typ. 2,5 μ V/m hasta 10 μ V/m typ.
Factor de antena (véase Fig. 4-2)		véase también interfaz Descripción 4071.4004.01 SB
Linealidad		IP2: 65 dBm typ. IP3: 30 dBm typ.
Conectores	DF1 DF2 DF3 CAL control y suministro de potencia conector Compass	hembra tipo N hembra tipo N hembra tipo N hembra tipo N SJT-07GS-12-35P-014 SJT-07GS-10-35S-RF45
Suministro de potencia (por procesador DF)	voltaje corriente	15 V DC hasta 18 V DC < 1,6 A
Dimensiones	diámetro altura longitud de la varilla de protección de iluminación	aprox. 1,1 m aprox. 0,45 m aprox. 1,4 m con varilla de protección de iluminación aprox. 1 m

¹ En el mástil, en entorno sin reflejos. El valor RMS se calcula a partir de los valores DF promedios de azimut y frecuencia. En mástiles finos (4 a 8 m) puede ocurrir otro error DF de hasta 2° en frecuencias entre 20 y 40 MHz debido a posibles autorresonancias.

² Ancho de banda DF 0,6 kHz, tiempo promedio 1 s, error DF $\leq 2^\circ$.

Para comprobar esa información, las medidas de referencia se tomaron para la antena DF de ondas decamétricas y ondas métricas/ondas decimétricas cerca de la estación de comprobación técnica radioeléctrica en un terreno plano utilizado para fines agropecuarios cerca del pueblo de Kerken.

Medidas de referencia de ondas decamétricas y ondas métricas/ondas decimétricas



Estas medidas muestran que, en un entorno homogéneo sin interferencias por estructuras como turbinas eólicas, es claramente posible no incurrir en el error DF máximo especificado por el fabricante: $\pm \leq 2^\circ$ RMS. Para obtener más detalles, véase punto 9.1.

5 Configuraciones de medición

5.1 Vehículo DF

A modo de radiogoniómetro casi fijo se utilizó un Mercedes Sprinter de monitorización equipado con un sistema DF y antenas DF (bandas de frecuencias 30 a 3 000 MHz y 1 a 30 MHz). Las antenas DF se operaron en un mástil telescópico de 8 m desde el suelo.

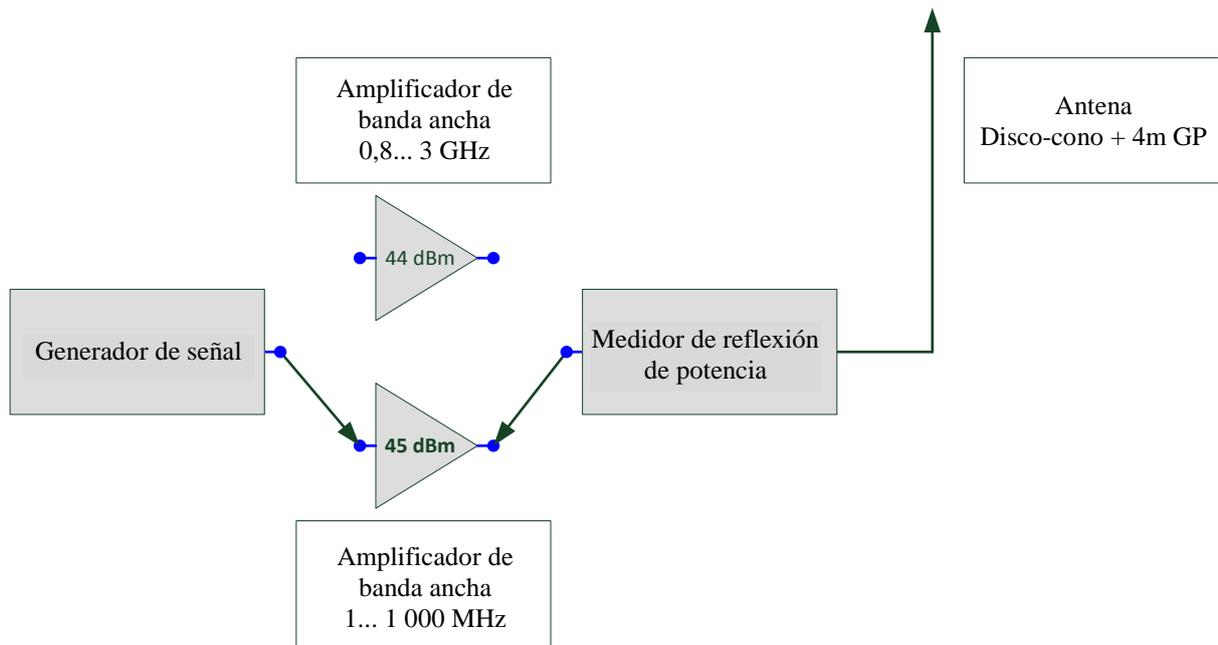


Para comunicación interna se utilizaron radios portátiles y un terminal con retransmisión del mismo fabricante.

5.2 Vehículo transmisor

La señal de transmisión se generó utilizando un generador de señal y, cuando fue necesario, se amplió hasta una salida de transmisión de hasta 25 vatios con amplificadores de banda ancha. Se utilizó una antena disco-cono de banda ancha con transmisión habilitada para las frecuencias 146 MHz, 440 MHz, 971 MHz, 1 300 MHz y 2 400 MHz, y otra antena a plano de tierra para la frecuencia 87,45 MHz. Las dos antenas se instalaron y operaron en un mástil telescópico de 10 m montado en el vehículo de monitorización Mercedes Sprinter.

Diagrama de bloques de transmisor de ondas métricas/ondas decimétricas



Vehículo de monitorización con mástil de 10 m y antena de transmisión

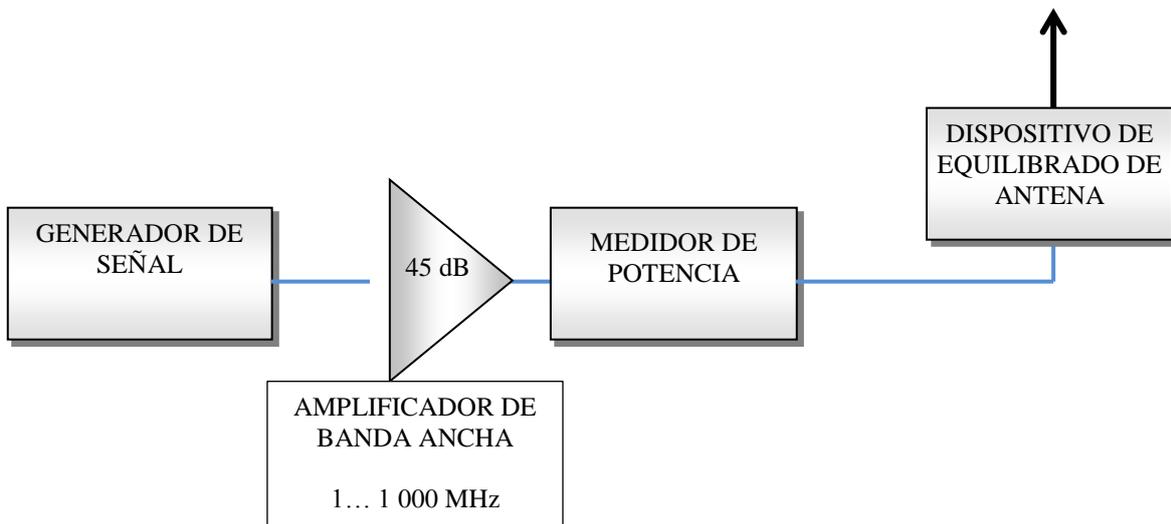


Amplificadores



Tras la amplificación (cuando fue necesaria), las transmisiones de la gama de ondas decamétricas (5,46 MHz, 14 MHz y 28 MHz) se generaron utilizando una unidad de sintonía de antena (ATU) y una antena vertical de unos 3 m de longitud.

Diagrama de bloques de transmisor de ondas decamétricas



Vehículo de monitorización con antena vertical HF



6 Cálculo del ángulo de marcación

El programa «GPS_Azimuth» elaborado por la Bundesnetzagentur se utilizó para calcular el acimut del radiogoniómetro al transmisor (marcación objetivo) para cada ubicación del vehículo de transmisión. Con él se calcula automáticamente el ángulo de marcación basado en las coordenadas del radiogoniómetro y las coordenadas respectivas del vehículo, obtenidas con el receptor GPS.

Interfaz de programa «GPS_Azimuth» (ángulo de marcación coloreado en amarillo)

GPS-Azimuth-Berechnung V1.2, Programmierung: ESCH 8-9, Jürgen Jung

Programm GPS Messfahrt / Karte Info

GPS-Azimuthberechnung V1.2 - Stand: 22.01.2015

Eingabe:

Peiler-Koordinaten: O N

Peilerhöhe (GPS) [m]: Peilerhöhe (Aufbau) [m]:

Senderhöhe (PKW) [m]:

Auslese-Intervall GPS [s]:

Ausgabe:

GPS-Daten

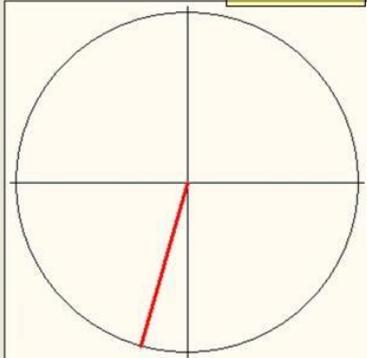
Sender PKW: O N

Datum: PC 23.02.2015 Sat: 10
 Uhrzeit (UTC): PC 13:31:27 EPE [m]: 1.28

Senderhöhe ü. NN (GPS) [m]: 120.3

Azimuth / Distanz

Distanz: Azimut:



Protokoll

Anzahl der Datensätze: 946/947 Datum

Datum:	Uhrzeit(UTC):	O-Koordinaten:	N-Koordinaten:	Azimuth[*]	Distanz[m]:	Peilerhöhe ges.[m]:	Senderhöhe ges.
23.02.2015	13:31:02	06°28'25.3"	51°25'36.9"	195.97	167076.92	2.00	128.60
23.02.2015	13:31:03	06°28'25.3"	51°25'37.0"	195.97	167076.92	2.00	128.20
23.02.2015	13:31:04	06°28'25.2"	51°25'37.0"	195.97	167073.95	2.00	127.80
23.02.2015	13:31:05	06°28'25.2"	51°25'37.0"	195.97	167074.47	2.00	127.50
23.02.2015	13:31:06	06°28'25.2"	51°25'37.0"	195.97	167074.47	2.00	127.30
23.02.2015	13:31:07	06°28'25.2"	51°25'37.0"	195.97	167074.47	2.00	127.10
23.02.2015	13:31:08	06°28'25.2"	51°25'37.0"	195.97	167074.47	2.00	126.90
23.02.2015	13:31:09	06°28'25.1"	51°25'37.0"	195.97	167074.47	2.00	126.70
23.02.2015	13:31:10	06°28'25.1"	51°25'37.0"	195.97	167074.99	2.00	126.60
23.02.2015	13:31:11	06°28'25.1"	51°25'37.0"	195.97	167074.99	2.00	126.40
23.02.2015	13:31:12	06°28'25.1"	51°25'37.0"	195.97	167074.99	2.00	126.20
23.02.2015	13:31:13	06°28'25.1"	51°25'37.0"	195.97	167074.99	2.00	126.00
23.02.2015	13:31:14	06°28'25.1"	51°25'37.0"	195.97	167074.99	2.00	125.70
23.02.2015	13:31:15	06°28'25.0"	51°25'37.0"	195.97	167074.99	2.00	125.40
23.02.2015	13:31:16	06°28'25.0"	51°25'37.1"	195.97	167075.51	2.00	125.10
23.02.2015	13:31:17	06°28'25.0"	51°25'37.1"	195.97	167072.54	2.00	124.90
23.02.2015	13:31:18	06°28'24.9"	51°25'37.1"	195.97	167072.54	2.00	124.60
23.02.2015	13:31:19	06°28'24.9"	51°25'37.1"	195.97	167073.06	2.00	124.30
23.02.2015	13:31:20	06°28'24.9"	51°25'37.1"	195.97	167073.06	2.00	124.00
23.02.2015	13:31:21	06°28'24.9"	51°25'37.1"	195.97	167073.06	2.00	123.60
23.02.2015	13:31:22	06°28'24.8"	51°25'37.1"	195.97	167073.06	2.00	123.20
23.02.2015	13:31:23	06°28'24.8"	51°25'37.1"	195.97	167073.58	2.00	122.70
23.02.2015	13:31:24	06°28'24.8"	51°25'37.2"	195.97	167073.58	2.00	122.40
23.02.2015	13:31:25	06°28'24.8"	51°25'37.2"	195.97	167070.60	2.00	122.10
23.02.2015	13:31:26	06°28'24.7"	51°25'37.2"	195.97	167070.60	2.00	121.80
23.02.2015	13:31:27	06°28'24.7"	51°25'37.2"	195.98	167071.13	2.00	121.50

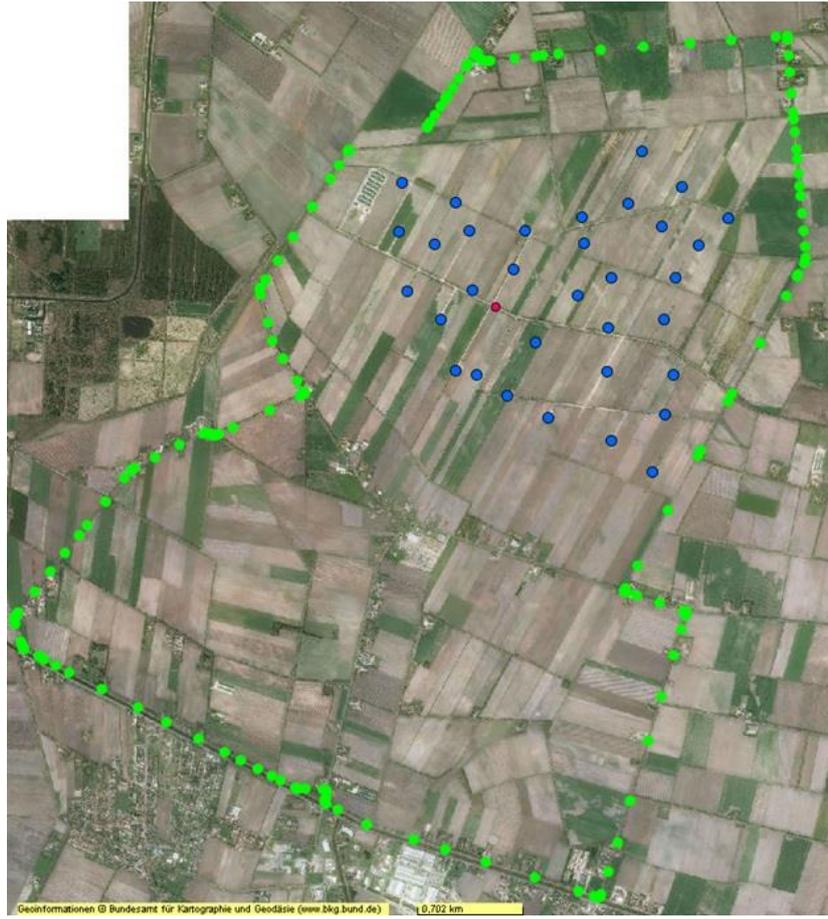
Messfahrt / Karte

7 Ubicaciones del radiogoniómetro

7.1 Radiogoniómetro 0 – centro del parque eólico

La ubicación elegida para el radiogoniómetro en el centro del parque eólico corresponde al área de prioridad de energía eólica «Ker_Wind_007» prevista en el plan de la administración regional pendiente de implementación. Si el plan termina por implementarse, el radiogoniómetro estaría rodeado de turbinas eólicas por todos lados. Los resultados de la medición se presentan en el punto 9.2.1.

Ubicación del radiogoniómetro (punto rojo) rodeado de turbinas eólicas (puntos azules)



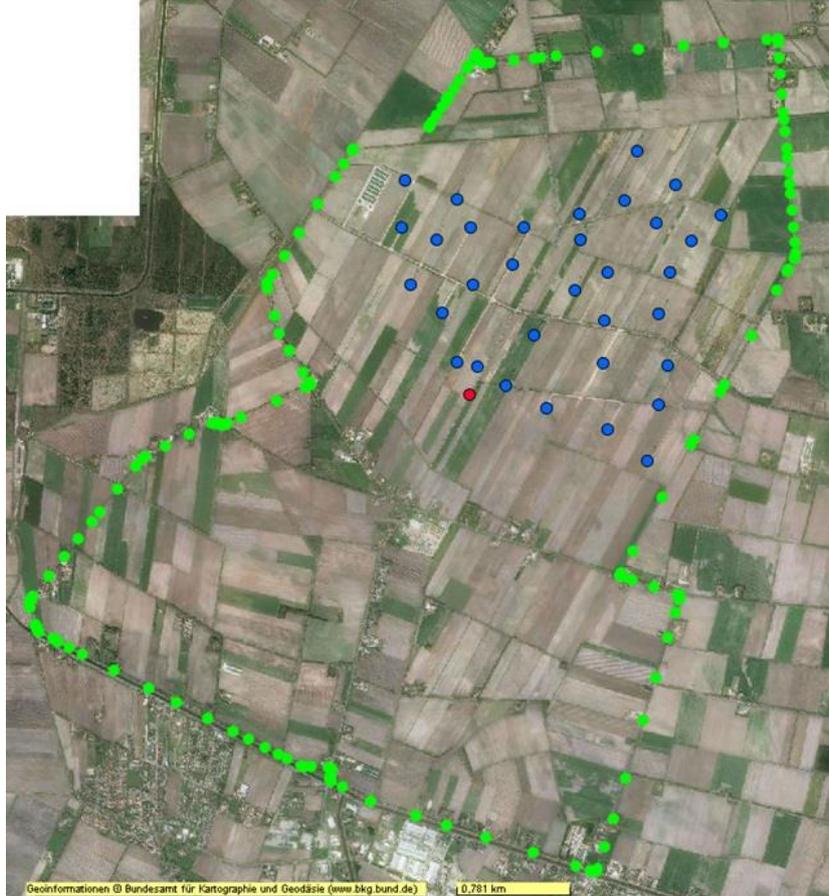
Ubicación del radiogoniómetro en el parque eólico



7.2 Radiogoniómetro 1 – límite del parque eólico

Este radiogoniómetro se sitúa en el límite del parque eólico con una vista no obstruida hacia el sur y turbinas eólicas hacia el norte. Los resultados de la medición se presentan en el punto 9.2.2.

Ubicación del radiogoniómetro (punto rojo) en el límite del parque eólico (puntos azules)



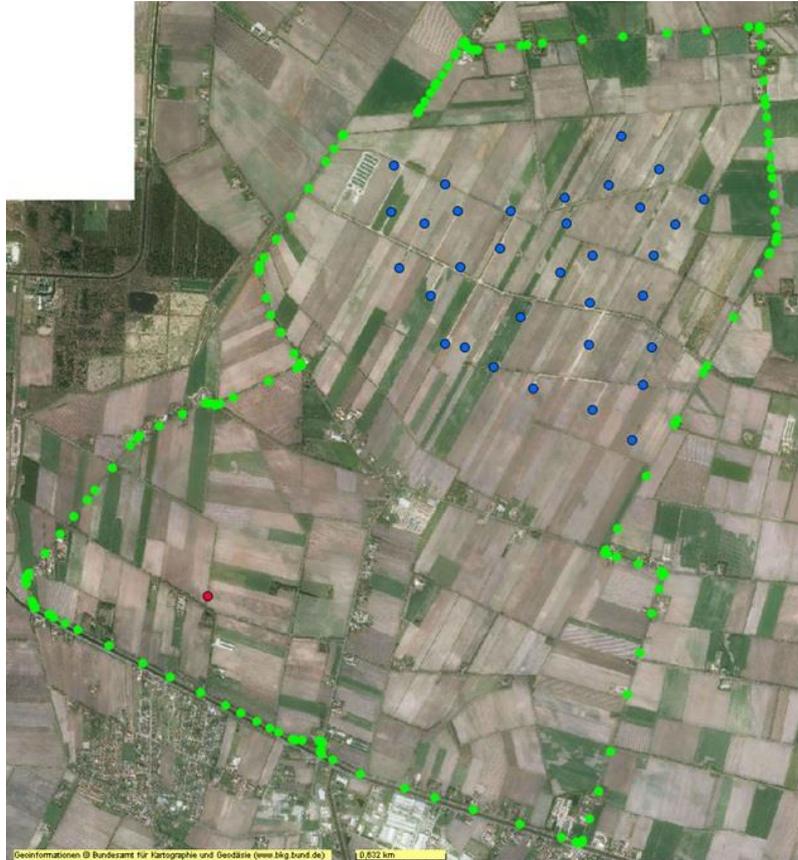
Ubicación del radiogoniómetro en el límite del parque eólico



7.3 Radiogoniómetro 2 – situado a 2,5 km de distancia

Este radiogoniómetro se sitúa a unos 2,5 km de distancia, con una vista no obstruida por el parque eólico hacia el noreste. Los resultados de la medición se presentan en el punto 9.2.3.

Ubicación del radiogoniómetro (punto rojo), sudoeste del parque eólico (puntos azules)



Radiogoniómetro situado a 2,5 km del parque eólico (visible en el fondo)



7.4 Radiogoniómetro 3 – situado a 4,6 km de distancia

El radiogoniómetro está situado a la máxima distancia (4,6 km) de las turbinas eólicas. Los resultados de la medición se presentan en el punto 9.2.4.

Radiogoniómetro (punto rojo) situado a 4,5 km del límite del parque eólico (puntos azules), distancia más corta



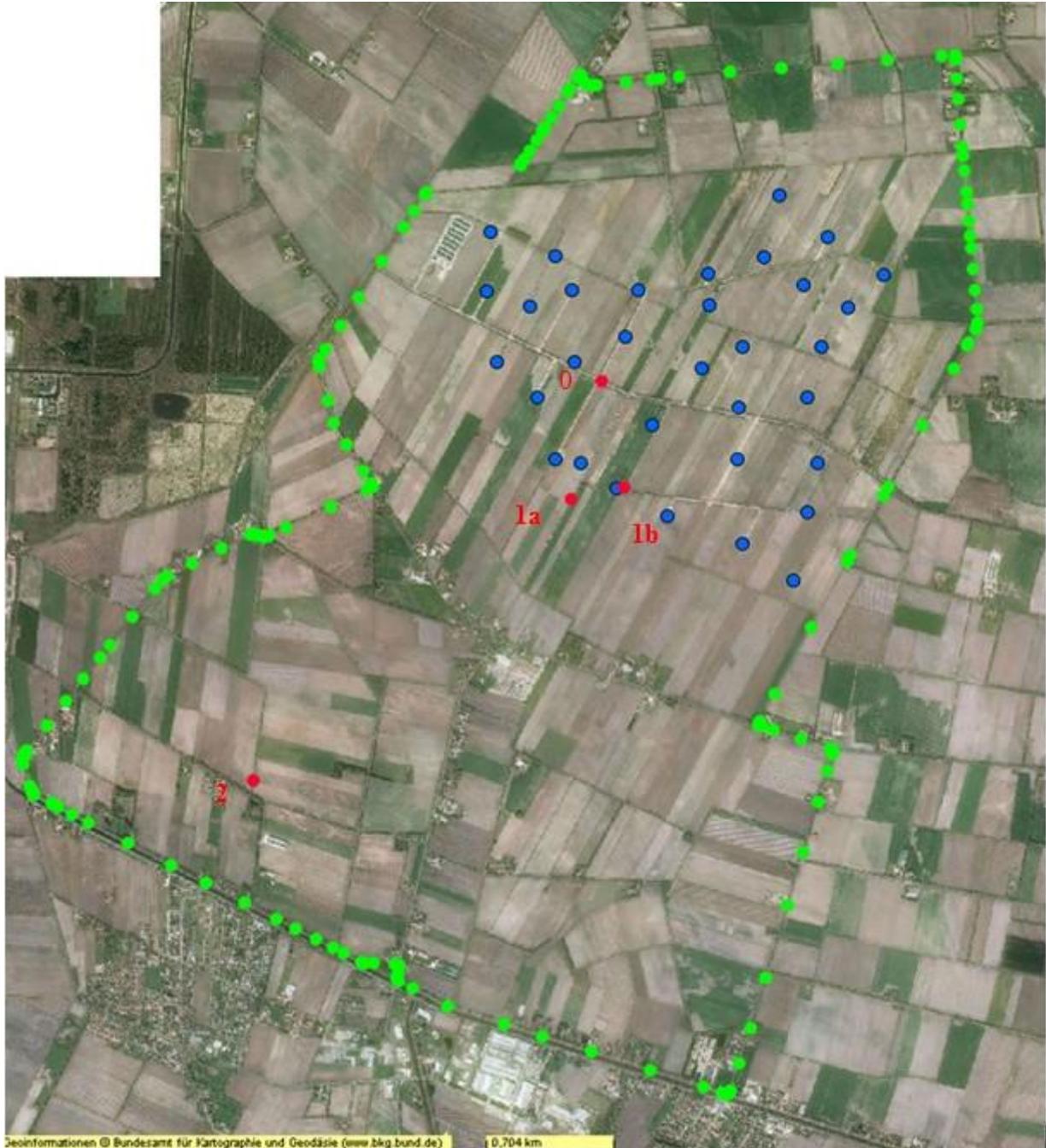
Radiogoniómetro situado a 4,6 km del parque eólico



8 Camino de medición

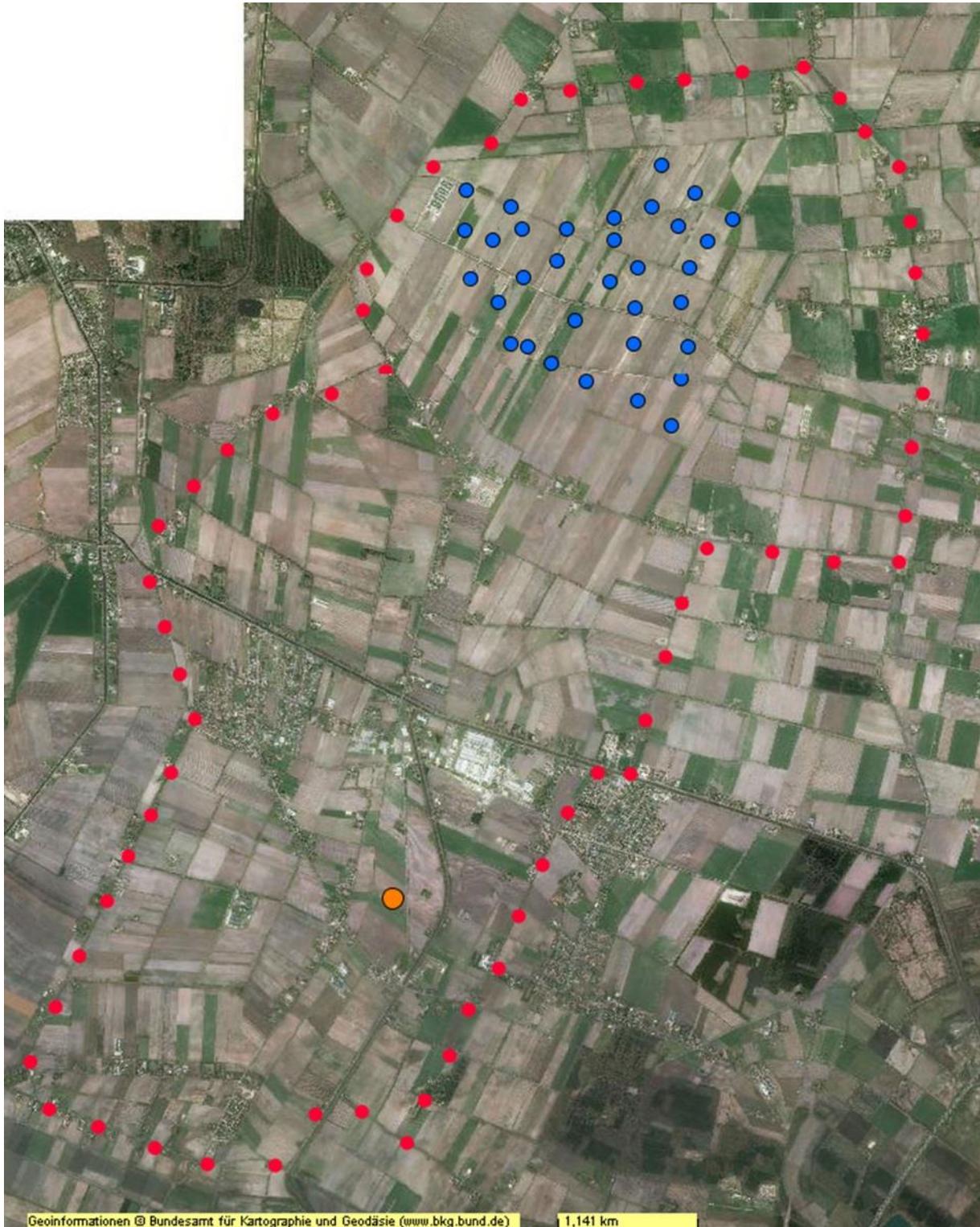
El vehículo de transmisión, un Mercedes Sprinter, se desplazó de 10 en 10° alrededor de la ubicación del radiogoniómetro y del parque eólico por el camino indicado con los puntos verdes. Al planificar la ruta se tuvo en cuenta la infraestructura existente. Algunas secciones no estaban asfaltadas y solo pudo accederse a ellas con un Mercedes Sprinter de tracción a las cuatro ruedas.

Camino de transmisión (puntos verdes) alrededor del parque eólico y ubicaciones del radiogoniómetro 0-2



Para la ubicación 3 del radiogoniómetro, el camino de transmisión (línea de puntos rojos) tuvo que ampliarse considerablemente para incorporar el radiogoniómetro y el parque eólico en el ámbito de medición.

Sección de medición (puntos rojos) alrededor del parque eólico y de la ubicación del radiogoniómetro 3



9 Resultados DF

9.1 Medidas de referencia

En los diagramas de las páginas siguientes, se colorea la gama de tolerancia de los radiogoniómetros fijos de servicio de inspección y comprobación técnica radioeléctrica. Esa gama se calcula sobre todo a partir de las especificaciones del sistema DF de conformidad con lo dispuesto en el punto 4.2 y los efectos de los errores DF de conformidad con lo dispuesto en el punto 1.

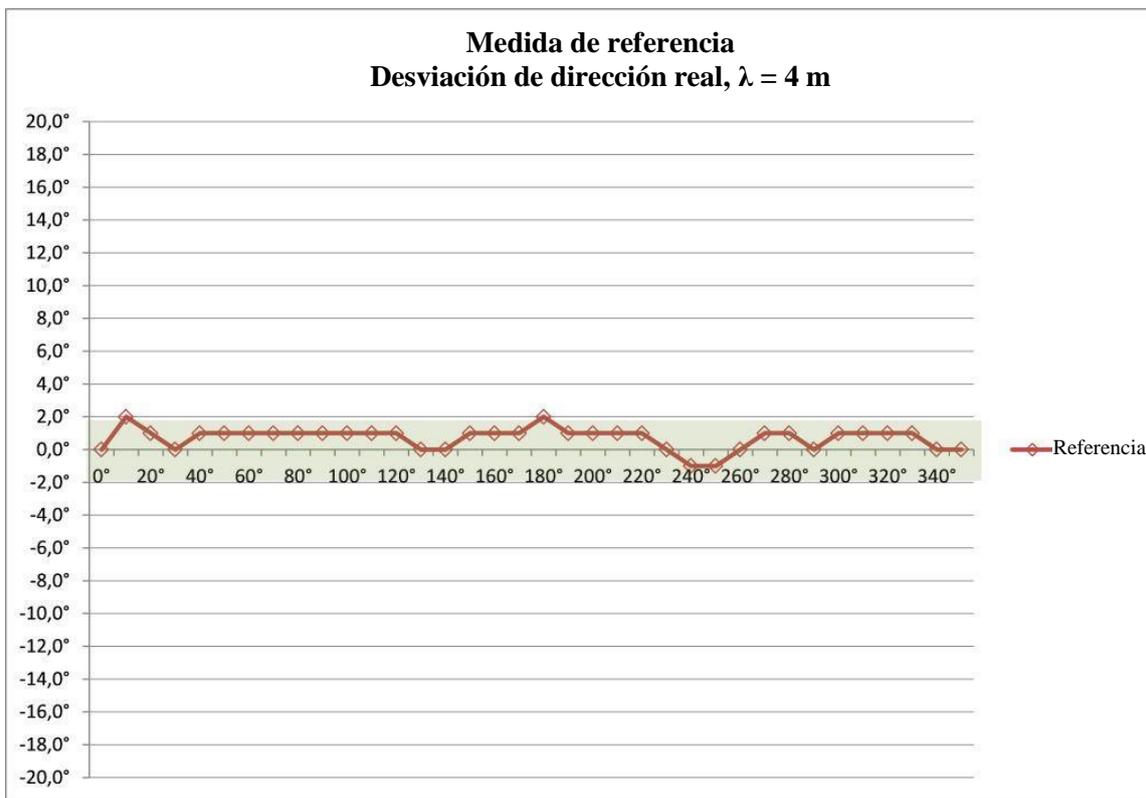
Como se ha mencionado previamente, para que los radiogoniómetros fijos puedan cumplir su función, deben montarse en mástiles de suficiente altura en zonas sin obstáculos. Teniendo esto presente, la dificultad reside en reproducir esas condiciones con una configuración de medición portátil con un presupuesto limitado. A pesar de ello fue posible realizar un estudio cuyos resultados pueden aplicarse a radiogoniómetros fijos.

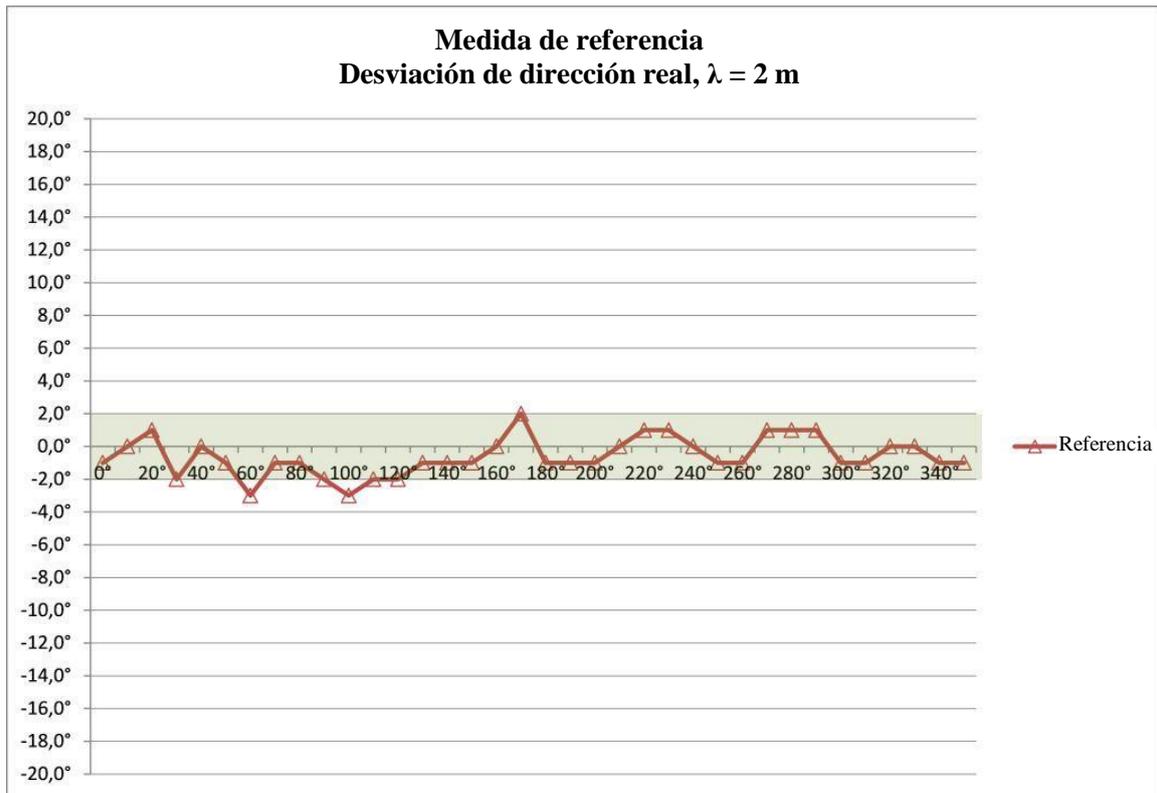
Toma de medidas de referencia en campo abierto cerca de Kerken



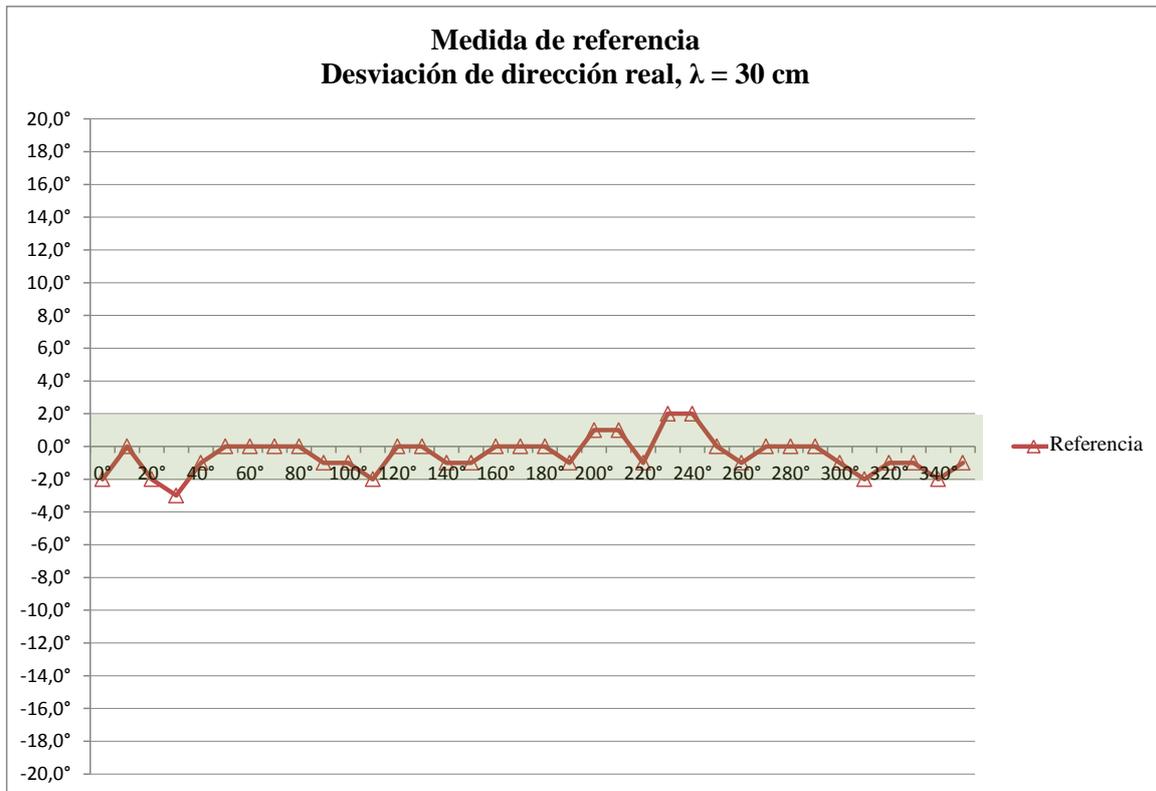
9.1.1 Ondas métricas/Ondas decimétricas

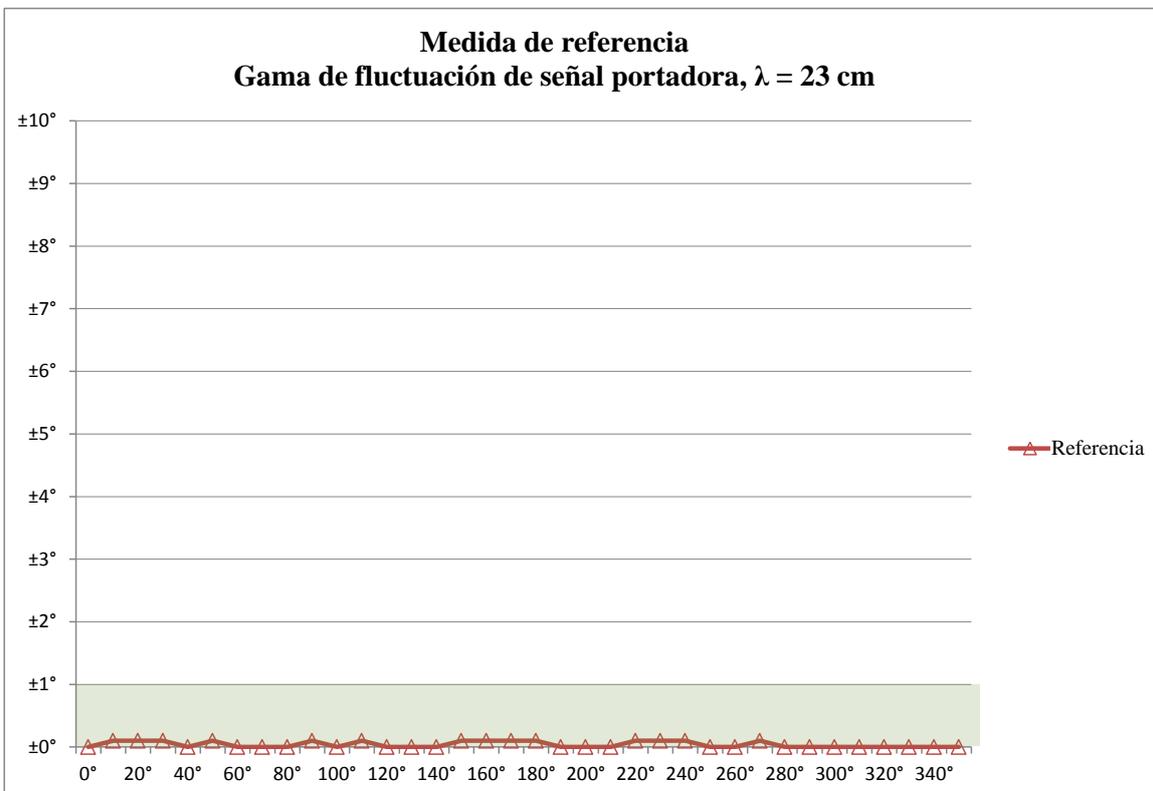
Se utilizaron medidas de referencia de conformidad con lo dispuesto en el punto 4.2 para verificar la configuración de medición. A continuación se presentan los resultados.

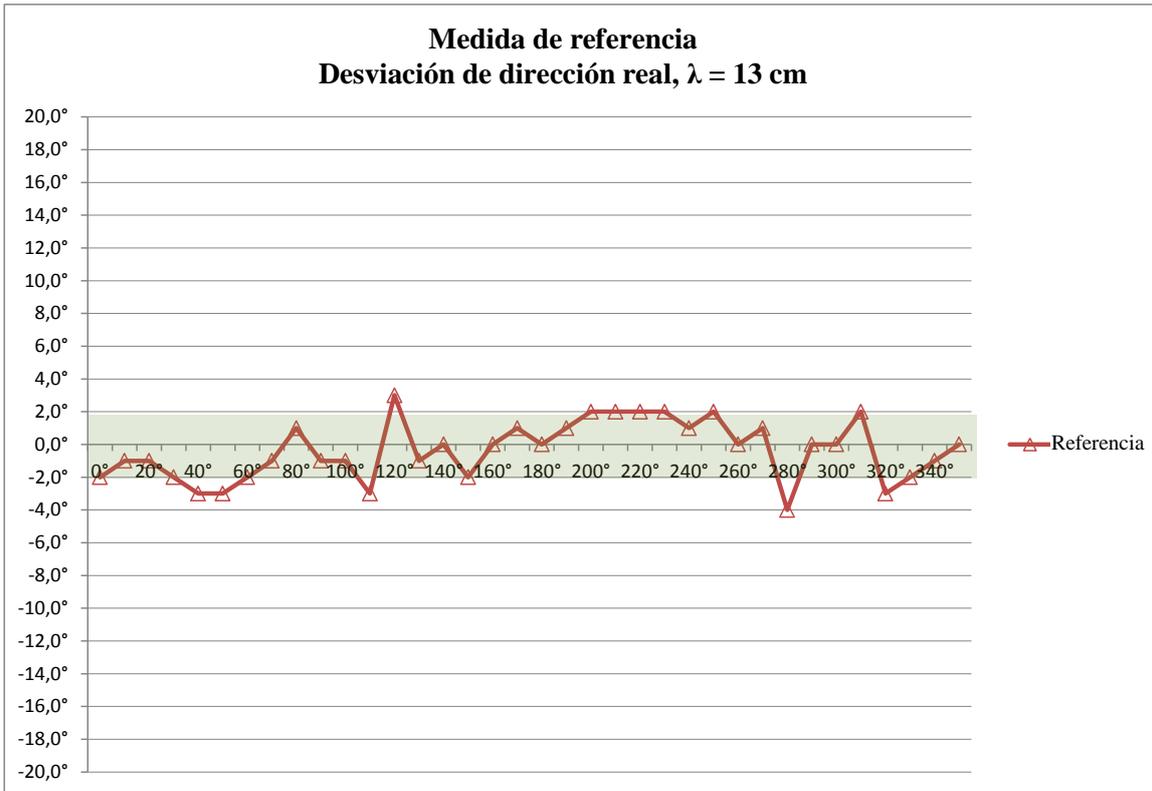












En las bandas de frecuencias de 4 m, 2 m, 70 cm, 30 cm y 23 cm, las mediciones resultantes estaban, en su mayor parte, dentro de la gama de tolerancia para los radiogoniómetros fijos. Solo en las bandas de frecuencias de 2 m y 30 cm se superó ligeramente la gama de tolerancia en 1° en algunas direcciones. Incluso en la banda de 13 cm, especialmente sensible debido a su corta longitud de onda, la gama de tolerancia solo se superó una vez en 2°, y en dos direcciones en 1°.

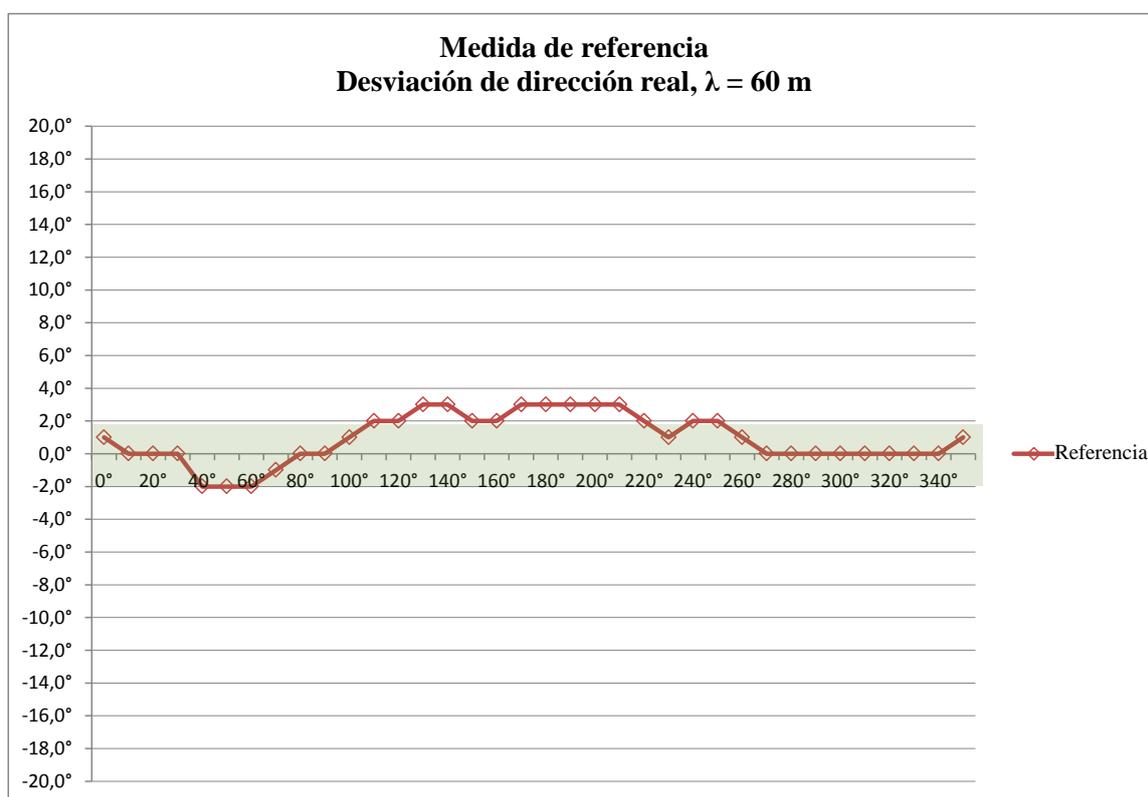
Sin excepción, el margen de fluctuación de las indicaciones de marcación, que es importante para la evaluación de los resultados DF, estuvo dentro de la gama tolerada.

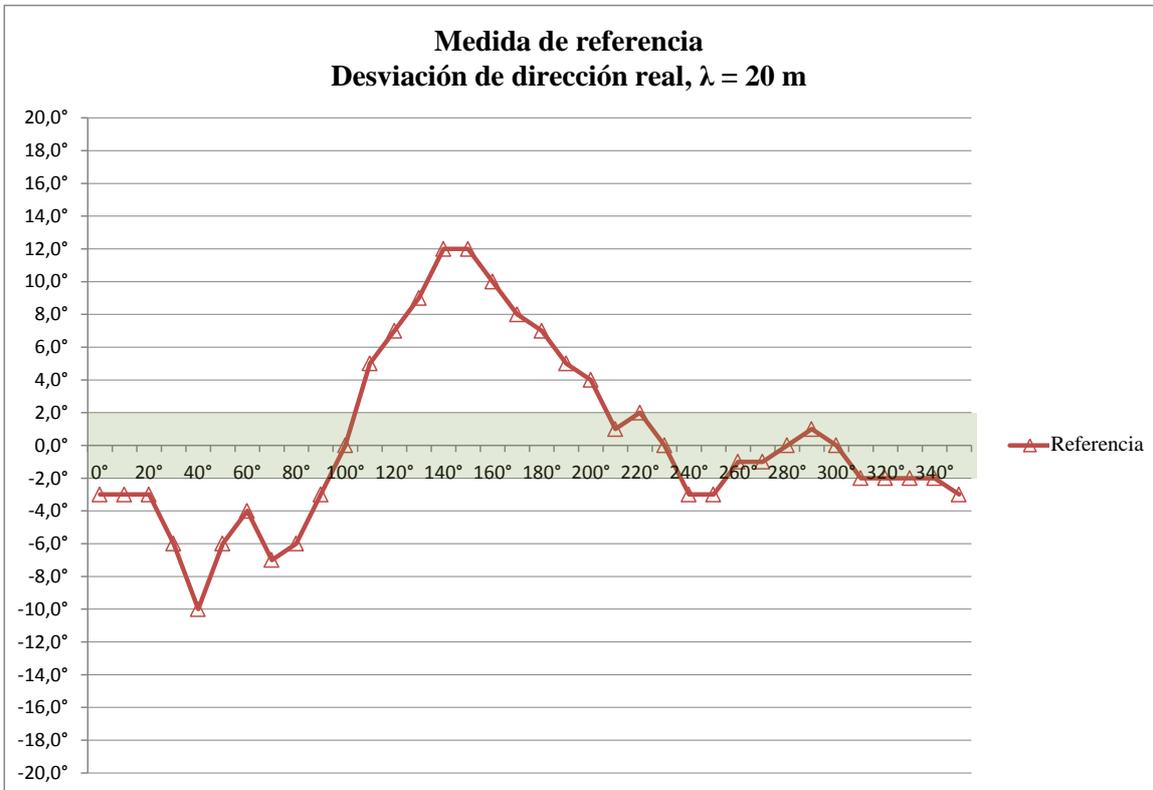
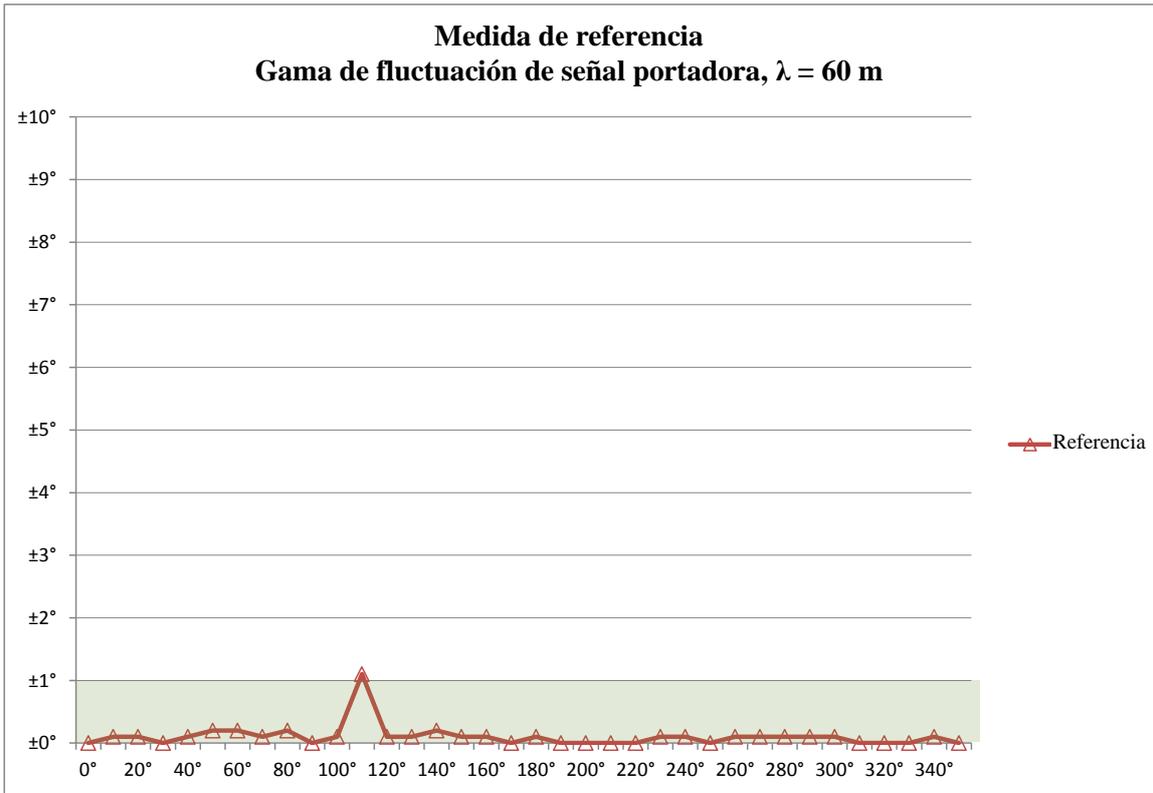
La configuración de medición puede utilizarse por lo tanto para realizar los estudios previstos.

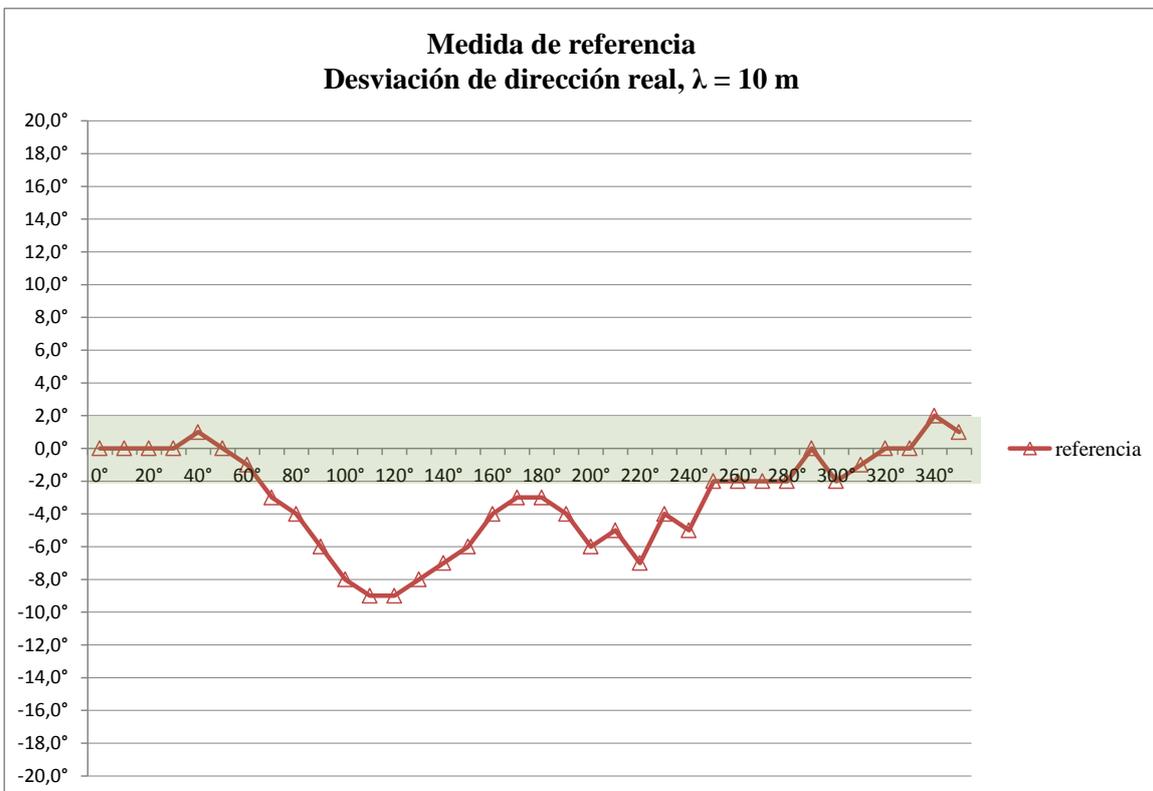
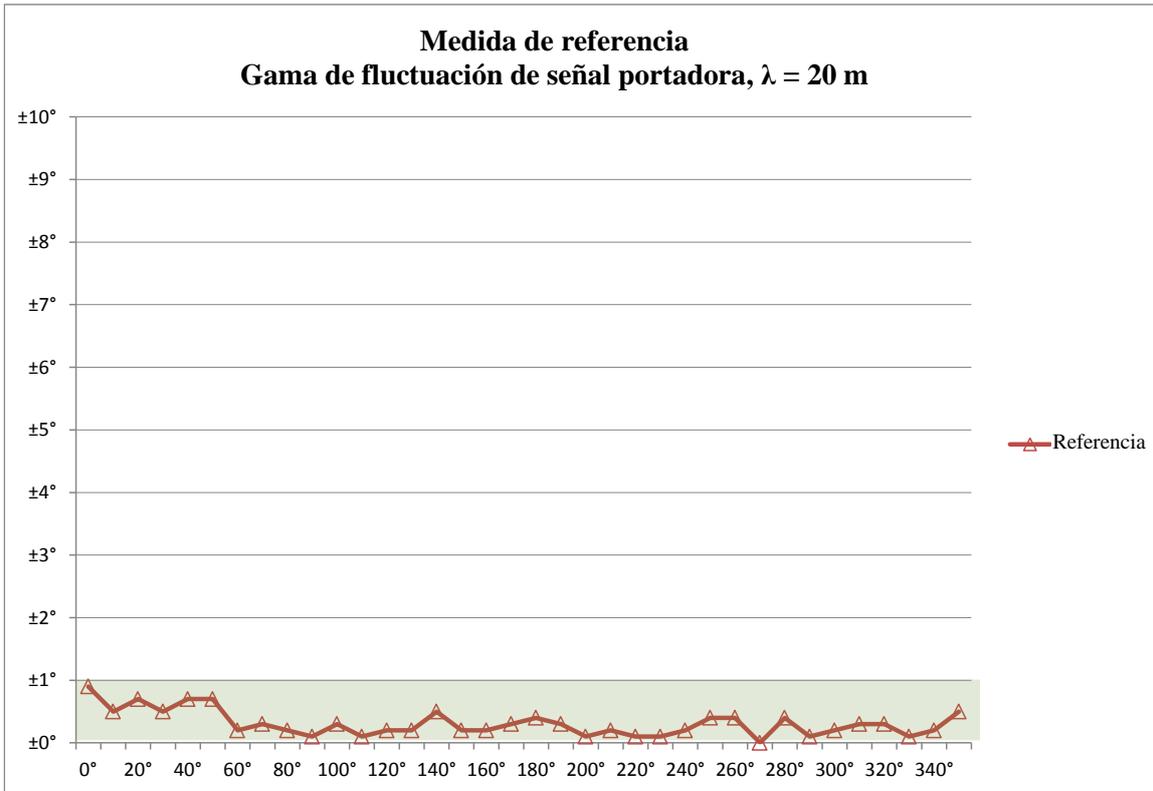
9.1.2 Ondas decamétricas

La entidad contratante también solicitó que se recopilase información sobre la gama de ondas decamétricas, la cual abarca una gama de frecuencias de 3 a 30 MHz y por lo tanto una gama de longitud de onda de 80 a 10 m. Como el tamaño de las antenas depende fuertemente de la longitud de onda que se pretende operar, para la gama de ondas decamétricas se necesitan antenas grandes que no son compatibles con dispositivos portátiles o móviles de medición. Se pueden realizar trucos técnicos para reducir el tamaño de la antena, pero eso reduce la eficiencia de radiación y puede generar un patrón de radiación distorsionado. También pueden producirse distorsiones en el funcionamiento del radiogoniómetro por las emisiones de radiación horizontales de los dispositivos de medición (cables, etc.).

Por ese motivo también se realizaron medidas de referencias de la gama de ondas decamétricas para la configuración de medición descrita en el punto 5. Los resultados se presentan a continuación:









En la banda de 60 m, las desviaciones en los valores DF permanecieron dentro de la gama tolerada (los valores solo superaron 1°). Por el contrario, en la banda de 20 m se superaron en más de 10° , y en la de 10 m en más de 7° .

Debido a estas desviaciones importantes, se volvieron a realizar pruebas a la configuración de medición en las que se mostró que, especialmente en la banda de 10 m, el patrón de radiación difería notablemente del patrón de radiación omnidireccional deseado. La dirección claramente preferida era por encima de la parte frontal del vehículo y la mínima por detrás del vehículo.

Debe utilizarse una antena de transmisión de configuración simétrica (en tierra) orientada hacia la Tierra, vertical y no resonante, en conexión con la configuración de medición móvil. La eficiencia de la radiación de una antena así es pobre y depende mucho del contrapeso (tierra o cuerpo del vehículo conductor). Como se describe en el punto 5.2, al montar la antena en la parte trasera del vehículo, se requiere un contrapeso altamente conductor (plano de tierra) en la parte frontal del vehículo (enfrente de la antena), sin contrapeso detrás de la antena (en la dirección alejada de la dirección de recorrido) o hacia los lados. En la banda de 10 m, el tamaño del contrapeso en la parte frontal del vehículo aumenta a la mitad la longitud de onda, y en la banda de 20 m lo hace en un cuarto, por lo que se incrementa la eficiencia de radiación y, por lo tanto, la ganancia de antena en la parte frontal del vehículo.

Así, en la gama superior de ondas decamétricas, el patrón de radiación omnidireccional ya no está presente y, por lo tanto, el radiogoniómetro ya no funciona correctamente en un campo de radiación profundamente distorsionado. Es probable que la aparición de reflexiones ocasionadas por objetos más alejados tenga un efecto muy marcado debido a la onda directa amortiguada radiada perpendicularmente al vehículo.

En la banda de 60 m, el contrapeso del techo del vehículo solo aumenta aproximadamente un 8% la longitud de onda y es por lo tanto eficaz únicamente de modo marginal. La eficiencia de radiación resultante es así más o menos igual de pobre en todas las direcciones, y el patrón de radiación omnidireccional se ve influenciado únicamente por la tierra circundante. A los efectos de esta investigación, la eficiencia de radiación pobre puede compensarse sin ningún detrimento con una

potencia de transmisión más alta. Puede partirse de la base de que las características de la tierra son muy constantes, tanto en la ubicación de las medidas de referencia como en el páramo de Rütenbrooker.

Los autores del estudio desean subrayar también que los radiogoniómetros fijos de onda corta funcionan con ondas ionosféricas (de ahí el cono de seguridad descrito en el punto 1), mientras que una configuración de medición móvil funciona con ondas de tierra. Así, los resultados no pueden directamente transferirse al radiogoniómetro fijo de onda corta. Como las medidas para la banda de 60 m proporcionan igualmente una idea de si la distancia de seguridad es en absoluto necesaria, solo se presentan a continuación los resultados de esa banda.

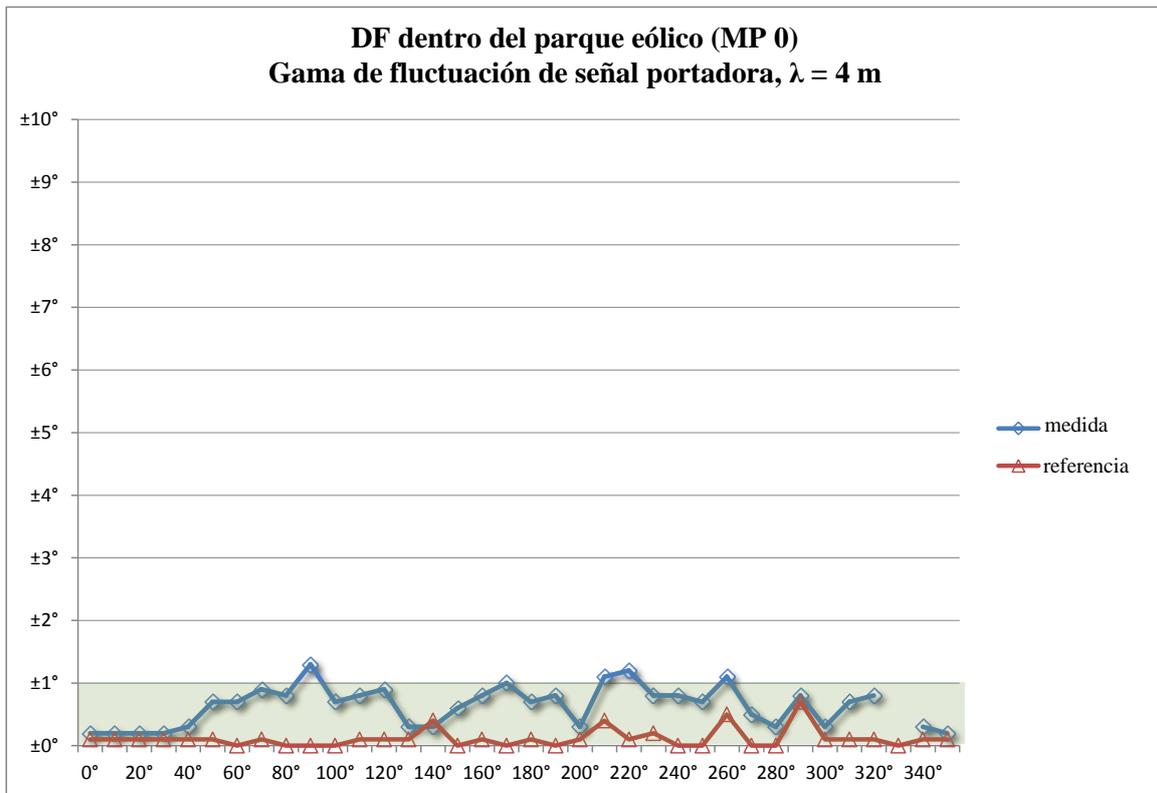
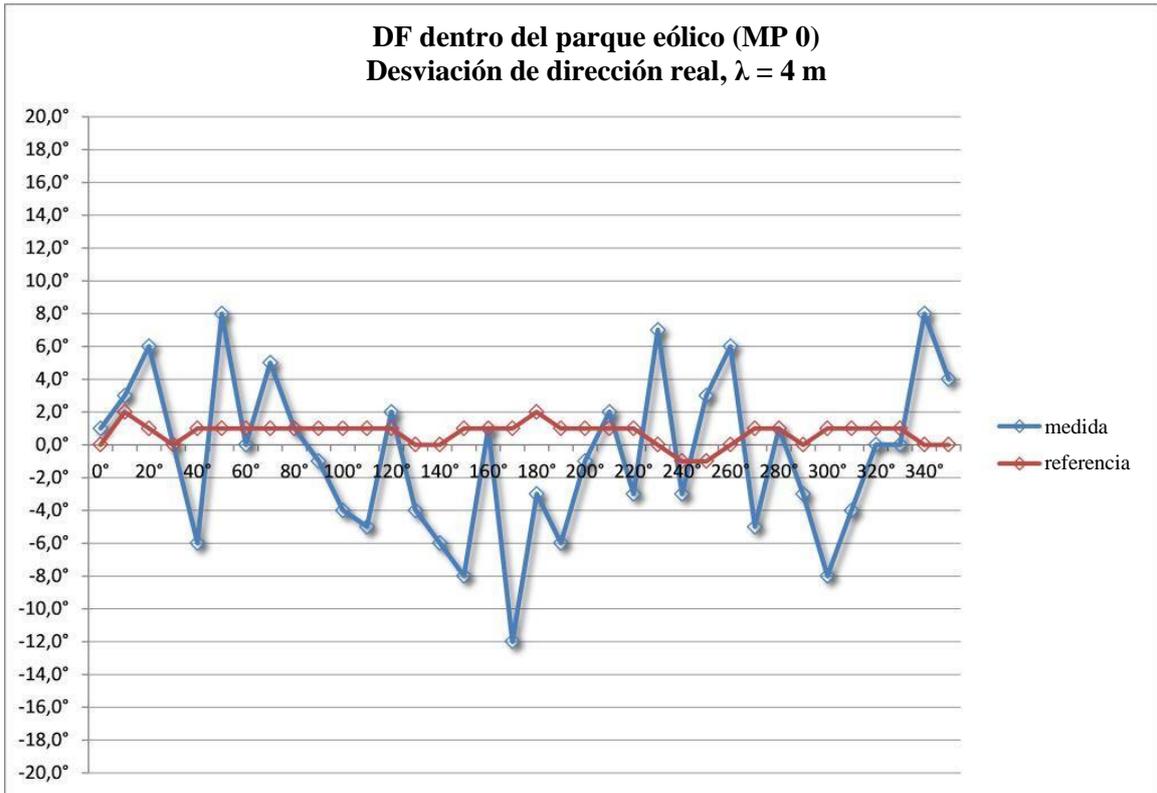
9.2 Series de medidas

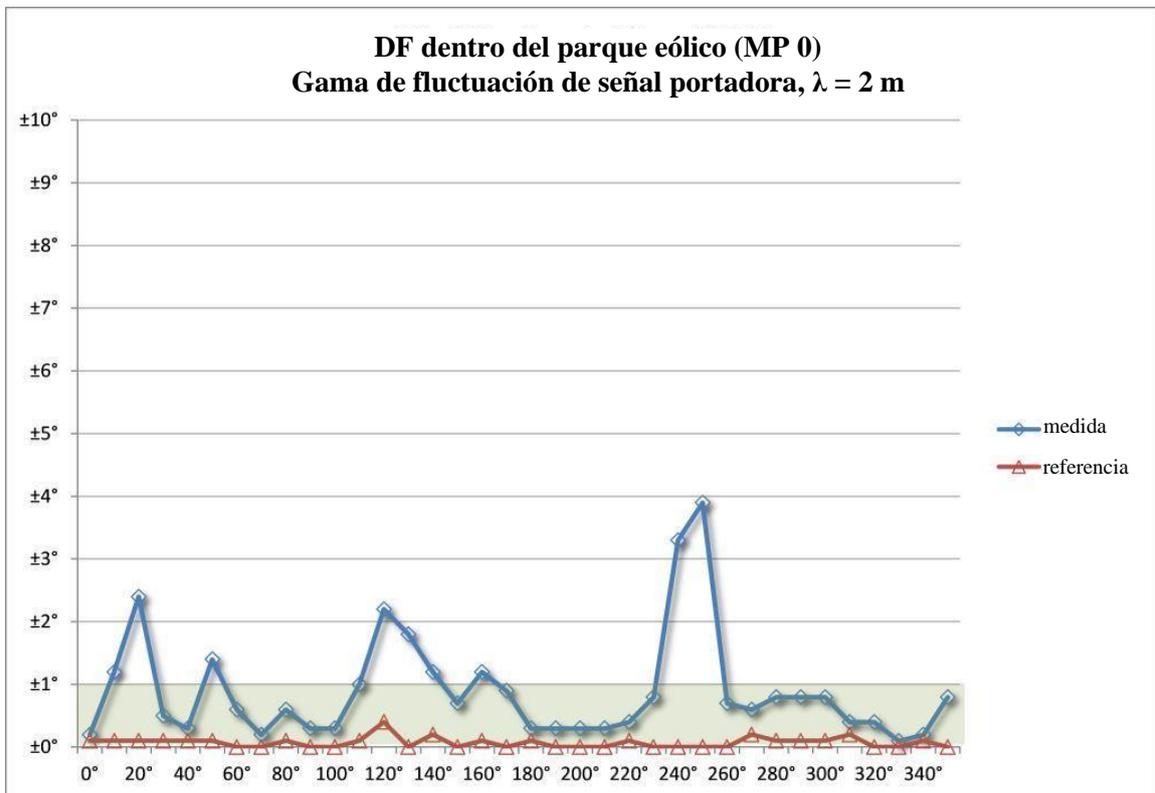
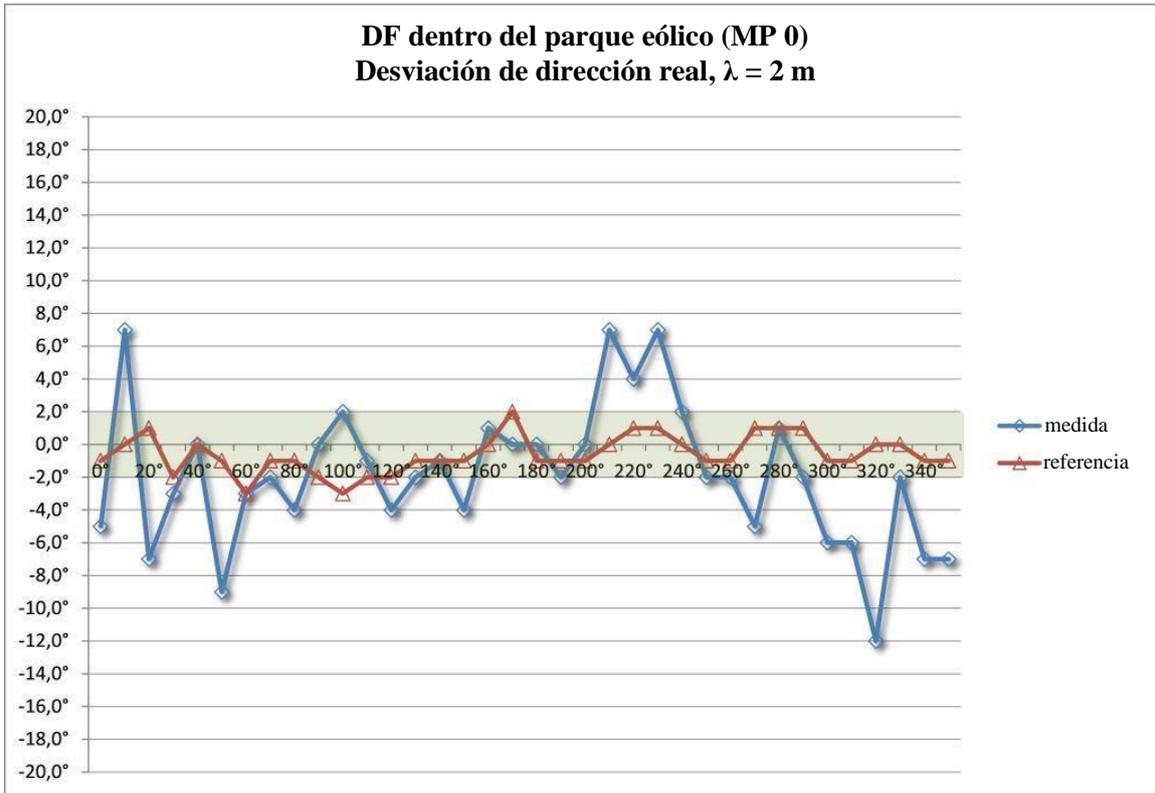
La primera serie de medidas tuvo por objeto responder a la cuestión de a qué se expone un radiogoniómetro situado en el centro de un parque eólico cerca de turbinas eólicas en los cuatro cuadrantes DF. Para ello se estableció un radiogoniómetro de conformidad con lo dispuesto en el punto 7.1. Otras series de medidas tuvieron por objeto estudiar lo que afecta a un radiogoniómetro situado en el borde de un parque eólico (turbinas eólicas en dos cuadrantes, véase punto 7.2) y un radiogoniómetro situado a 2,5 km (véase punto 7.3, un cuadrante) y a 4,6 km del parque eólico (véase punto 7.4).

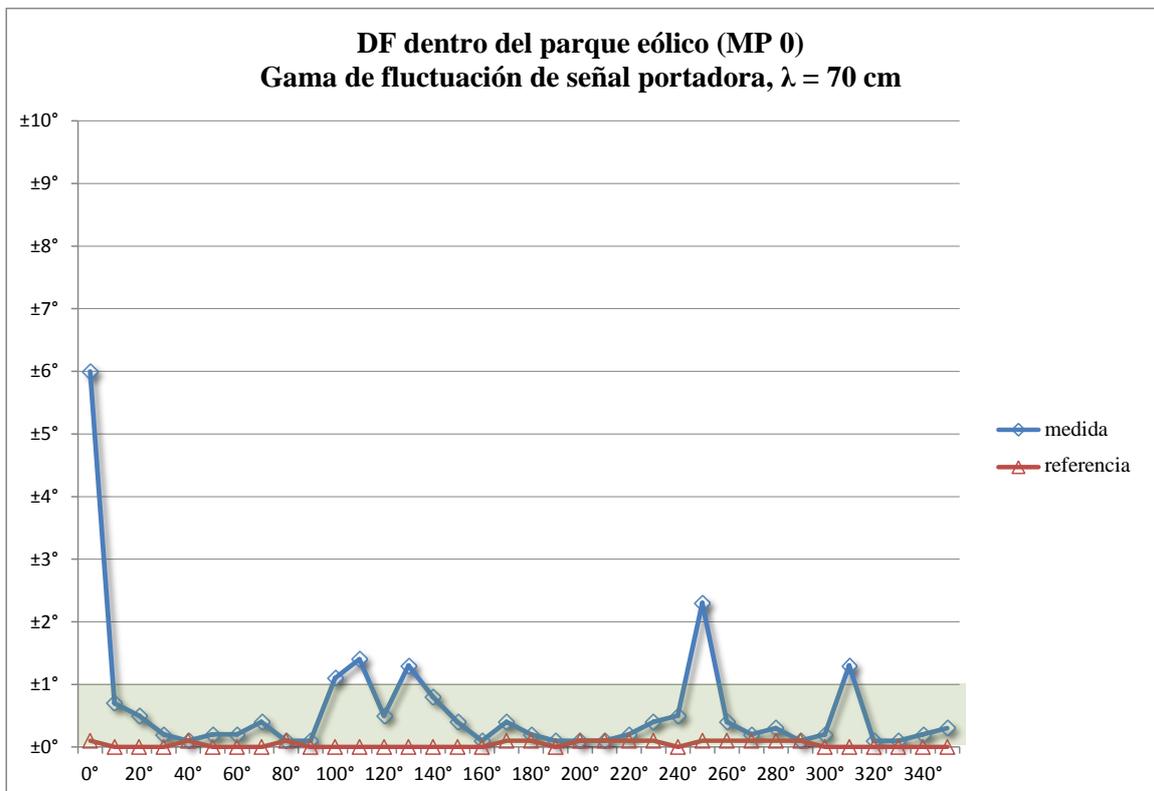
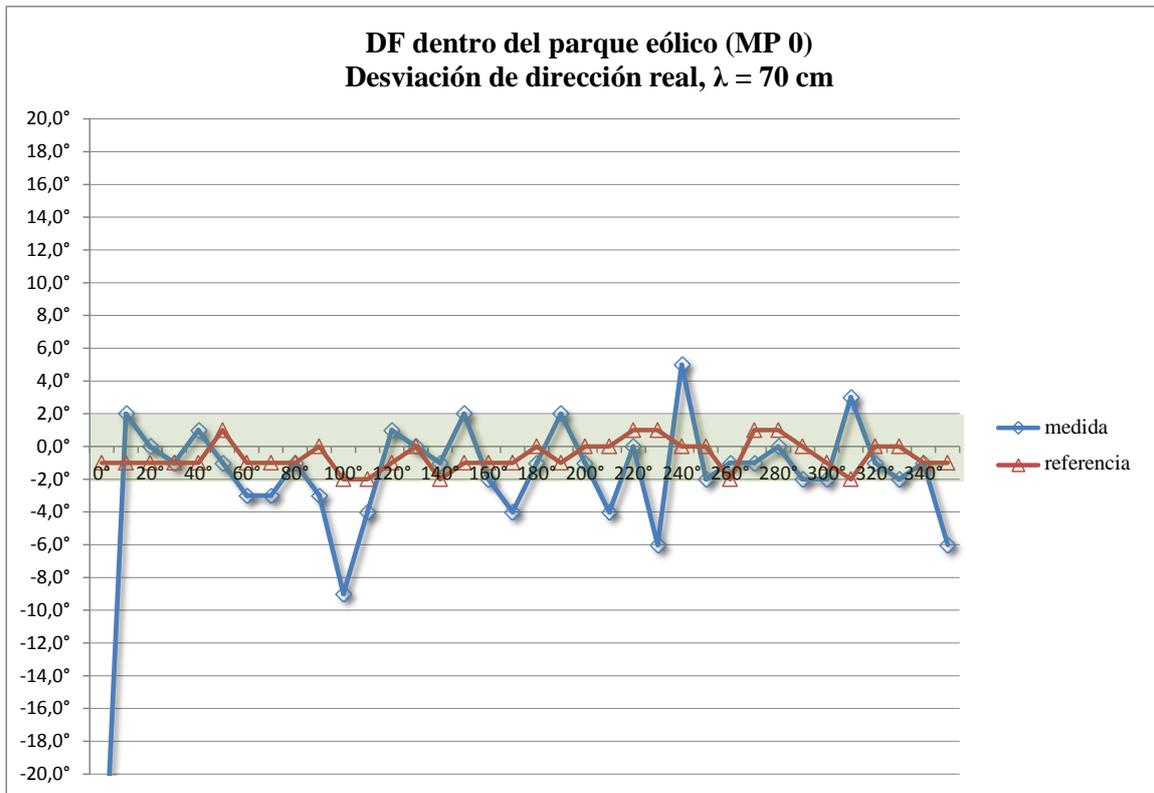
Para poder realizar una mejor comparación, los siguientes diagramas muestran los resultados de las series de medidas y los resultados de las medidas de referencia relevantes y la gama de tolerancia.

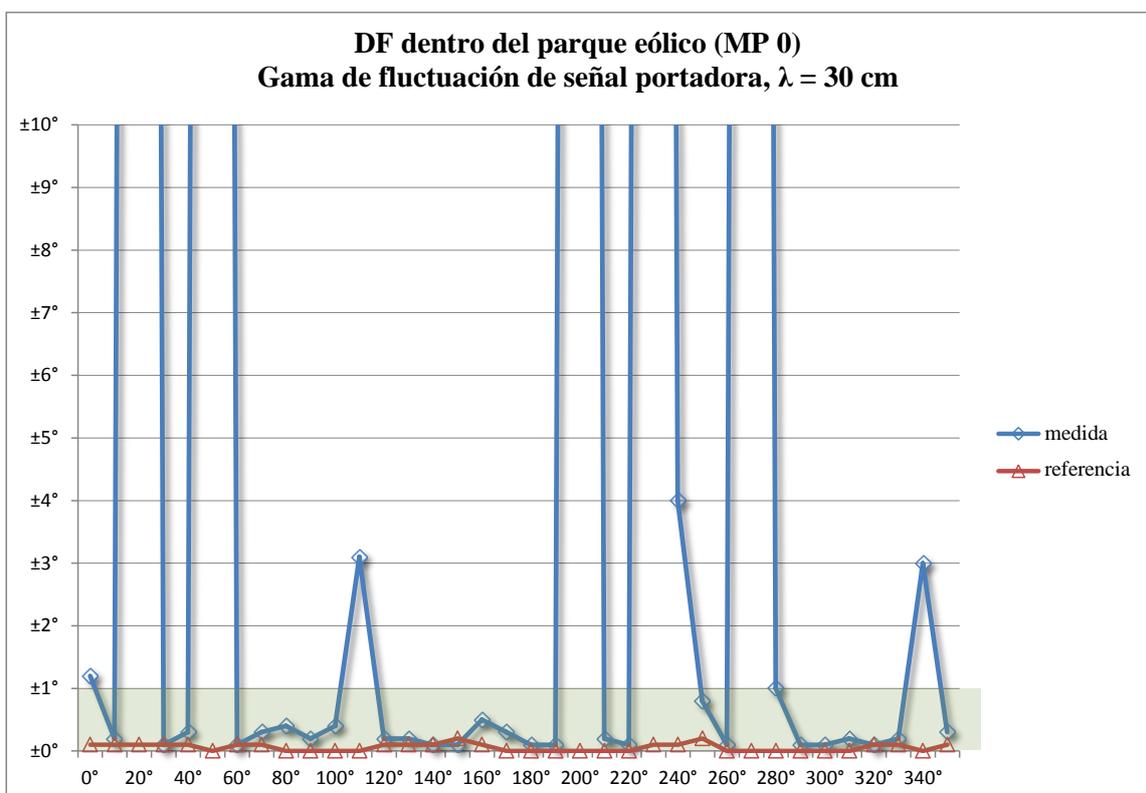
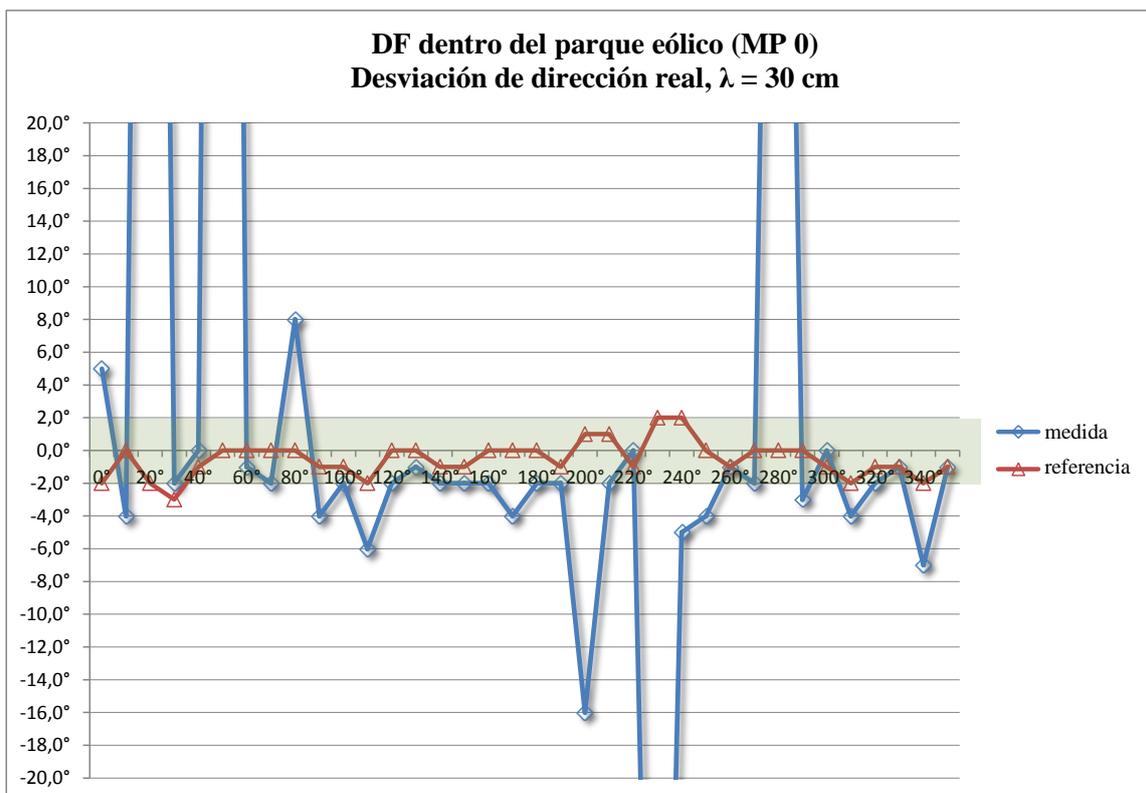
Se utiliza la misma escala en todo el informe para poder comparar directamente todos los diagramas de variables medidas. Eso significa que, cuando el efecto ejercido en el radiogoniómetro es particularmente fuerte, el tamaño total de la desviación de marcación ya no es visible. Se considera aceptable esta medida para mejorar la resolución de los diagramas y la comparación entre ellos para la gama de valores relevante. En cualquier caso, un resultado DF situado fuera del área de valores que se muestra en los diagramas seguro que no se utilizaría para ninguna aplicación, lo que significa que el tamaño exacto de la desviación es, de hecho, irrelevante. Las desviaciones en la indicación de la marcación de más de 20° respecto del valor real se conocen como marcaciones rotatorias, especialmente cuando vienen acompañadas de fluctuaciones importantes en la indicación de la marcación.

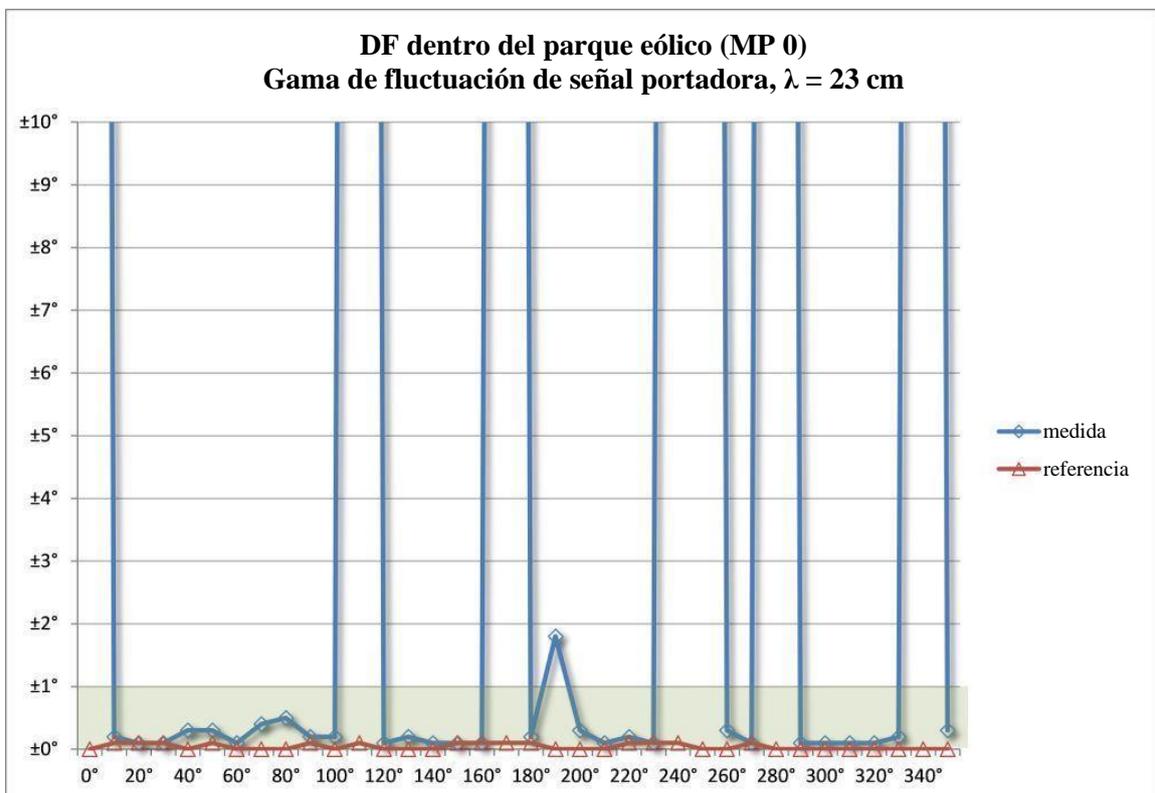
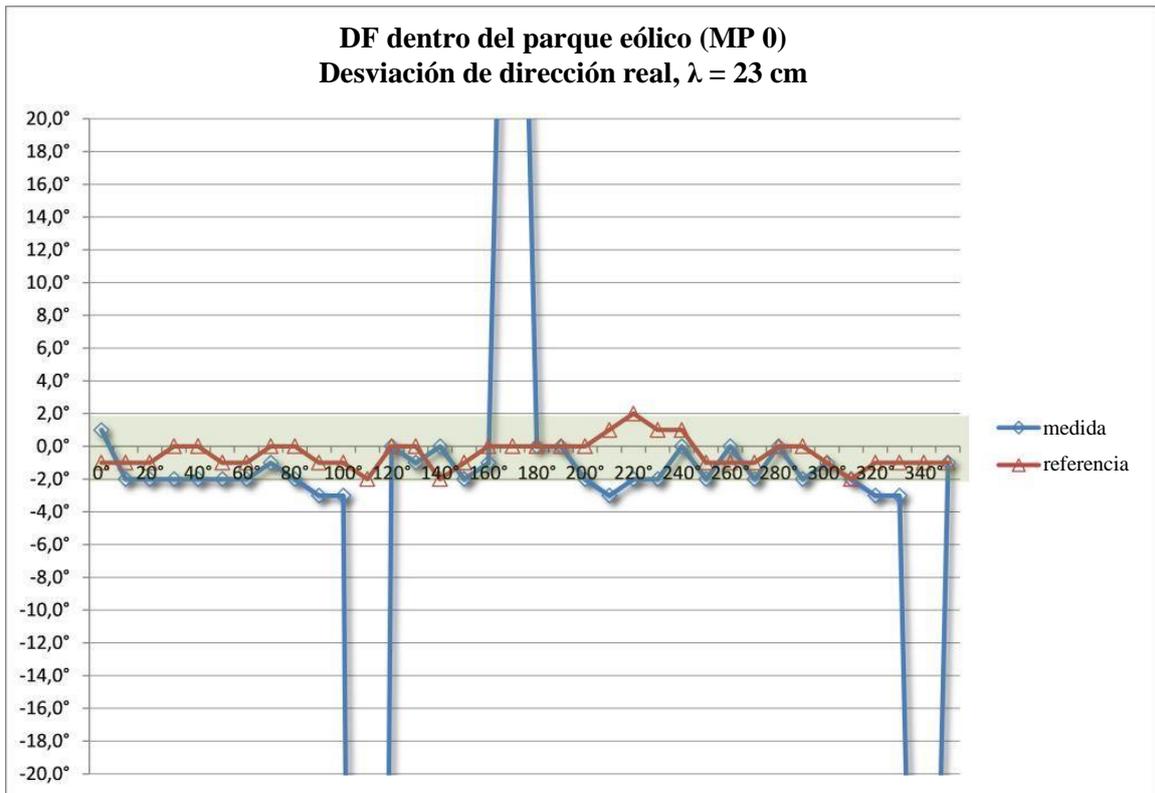
9.2.1 Radiogoniómetro situado dentro del parque eólico

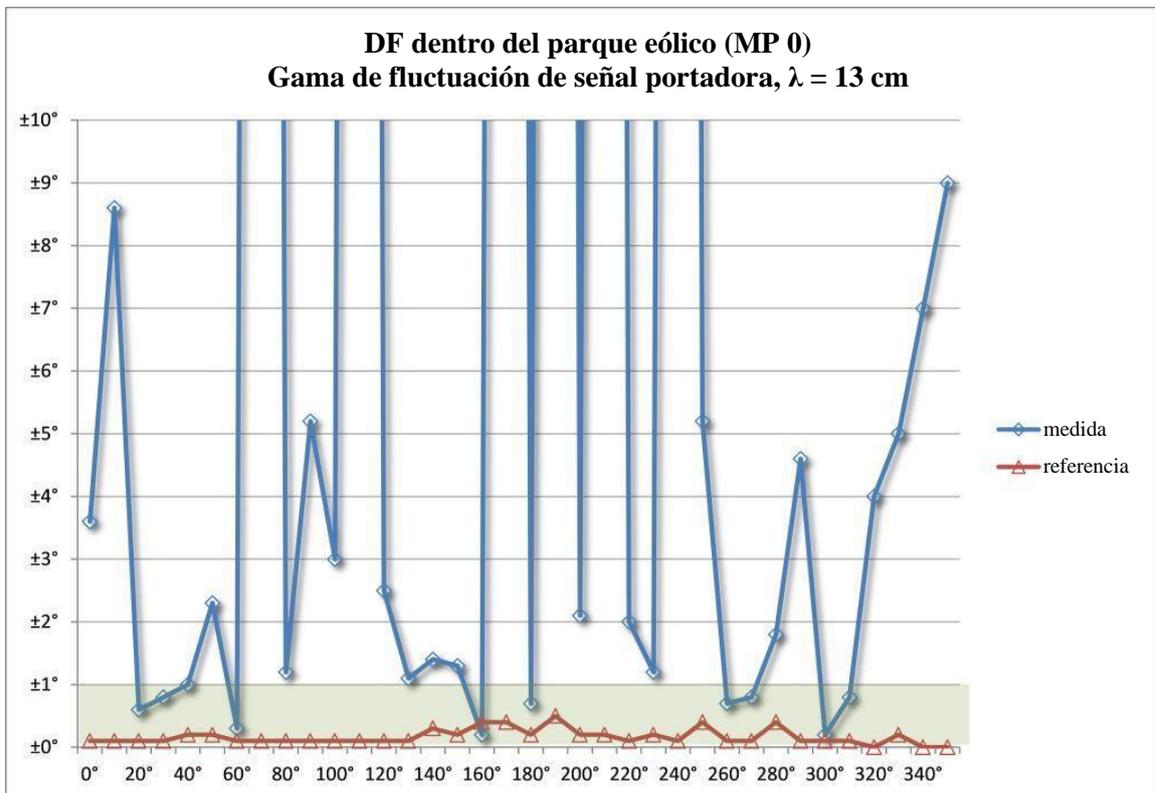
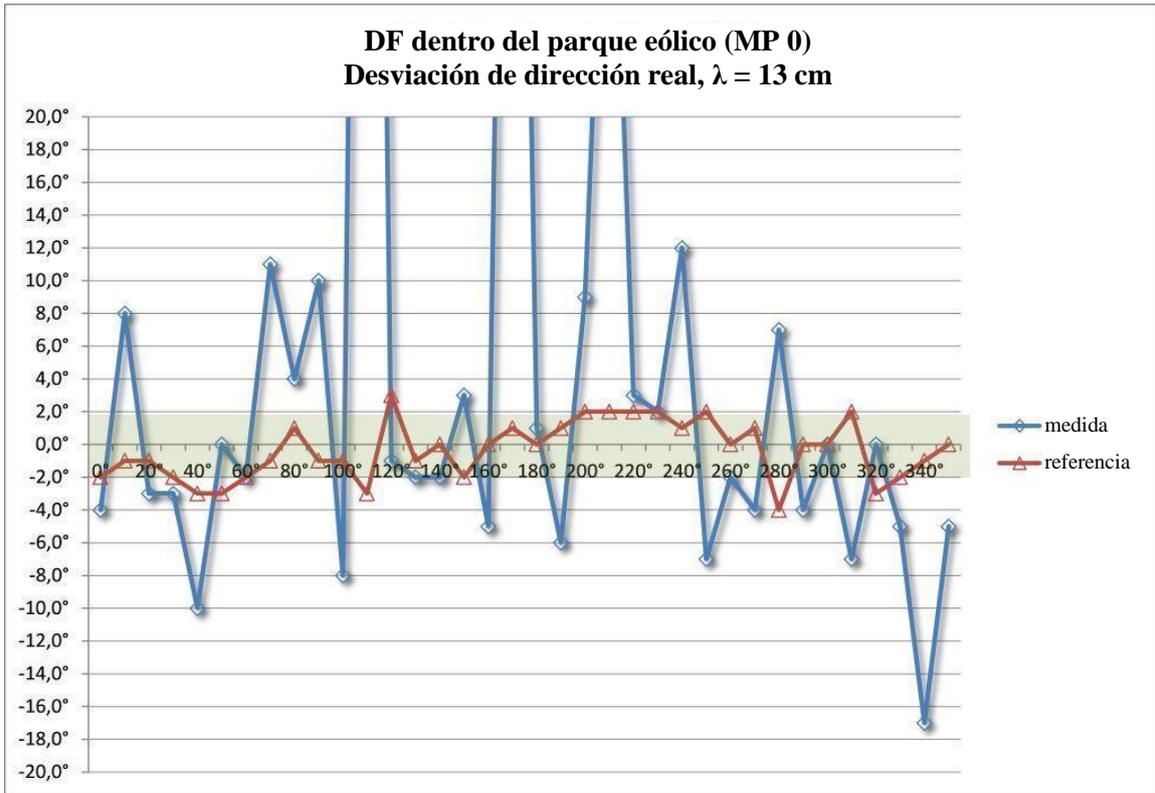


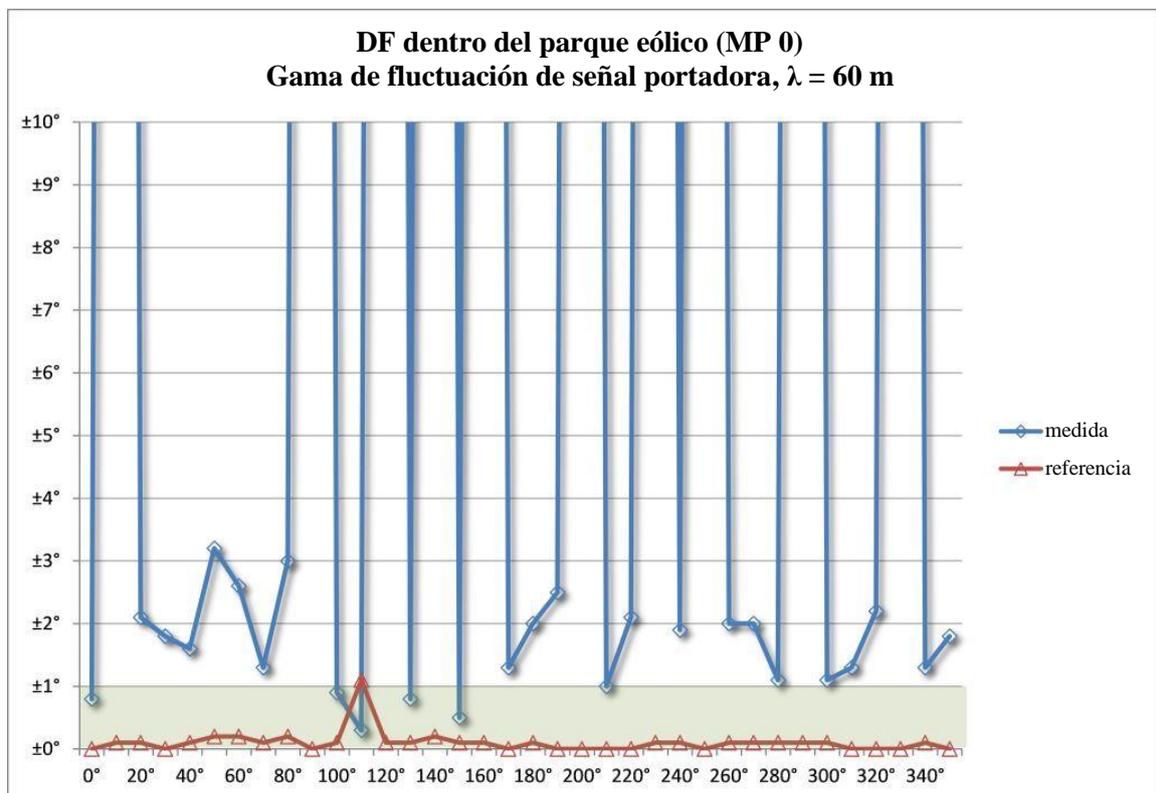
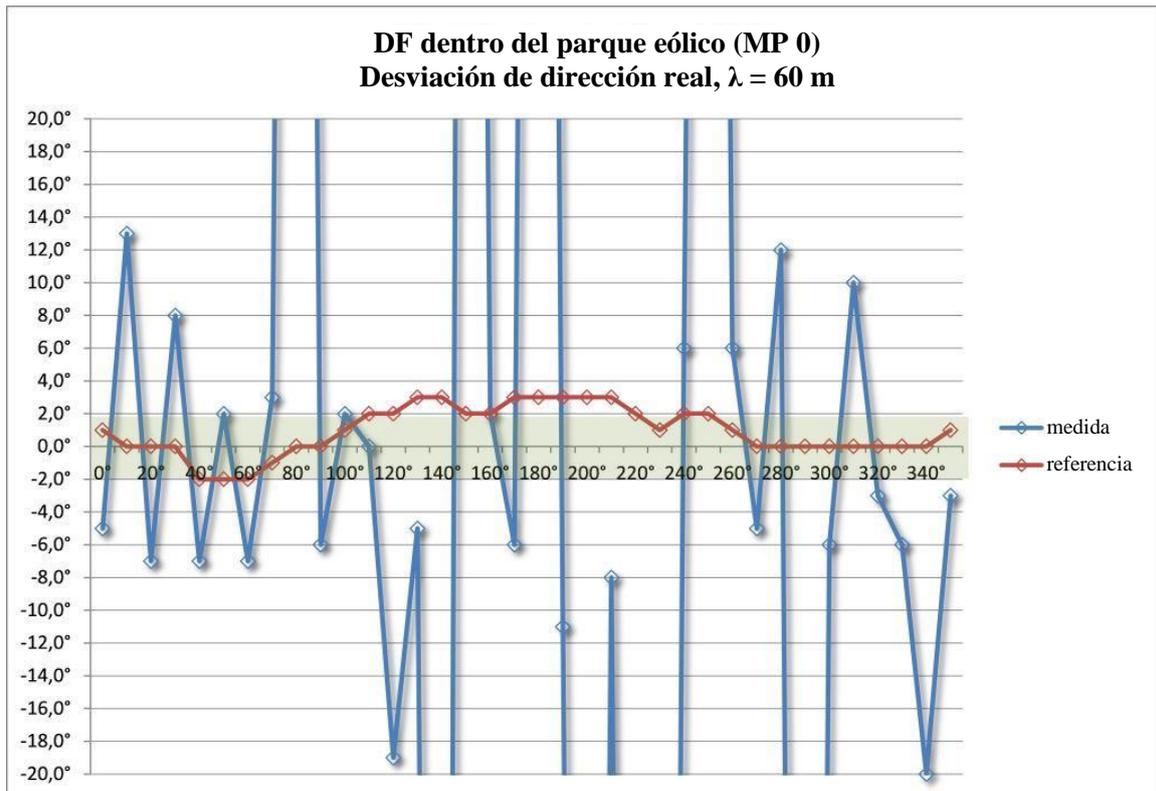












Al operar el radiogoniómetro en un parque eólico se registraron importantes errores DF en todas las bandas de frecuencias de ondas métricas y ondas decimétricas examinadas. También se observó un fuerte aumento en el margen de fluctuación de las indicaciones de la marcación en longitudes de onda inferiores a 70 cm, es decir, una banda de frecuencias de aproximadamente 800 MHz – 3 GHz.

A tenor de las características físicas de las diferentes bandas de frecuencias, pueden observarse errores, en el caso de longitudes de onda largas, en todos los radiales, independientemente de la

dirección efectiva de cada mástil. Por el contrario, en el caso de longitudes de onda cortas se registró una interferencia en gamas de ángulos todavía más estrechas con un efecto aún más pronunciado. En el caso de longitudes de onda muy cortas (banda de 13 cm), había tantas gamas muy distorsionadas que el radiogoniómetro no funcionaba en ninguna dirección.

Los diagramas de la banda de 23 cm son muy ilustrativos al respecto. Si se observa la desviación respecto de la marcación verdadera, solo hay tres gamas de ángulos relativamente estrechas en las que la indicación de la marcación parece estar altamente distorsionada. Ahora bien, si se estudia más de cerca la gama de fluctuación, se perciben fluctuaciones extremadamente importantes en seis direcciones en un radio de 360°. En esas direcciones en las que una indicación de la marcación supuestamente correcta (desviación pequeña) coincide con una gama pronunciada de fluctuación, se trata en realidad de resultados DF correctos por azar que no pueden reproducirse de nuevo de la misma forma.

Por lo tanto, es importante estudiar ambos diagramas. Solo cuando la desviación respecto del ángulo de marcación verdadera y la gama de fluctuación se sitúa en la misma gama de tolerancia se considerará válida la marcación.

Los siguientes ejemplos (capturas de pantallas de indicaciones de marcación) tomados en ese punto de medición ilustran los efectos prácticos en la operación del radiogoniómetro:

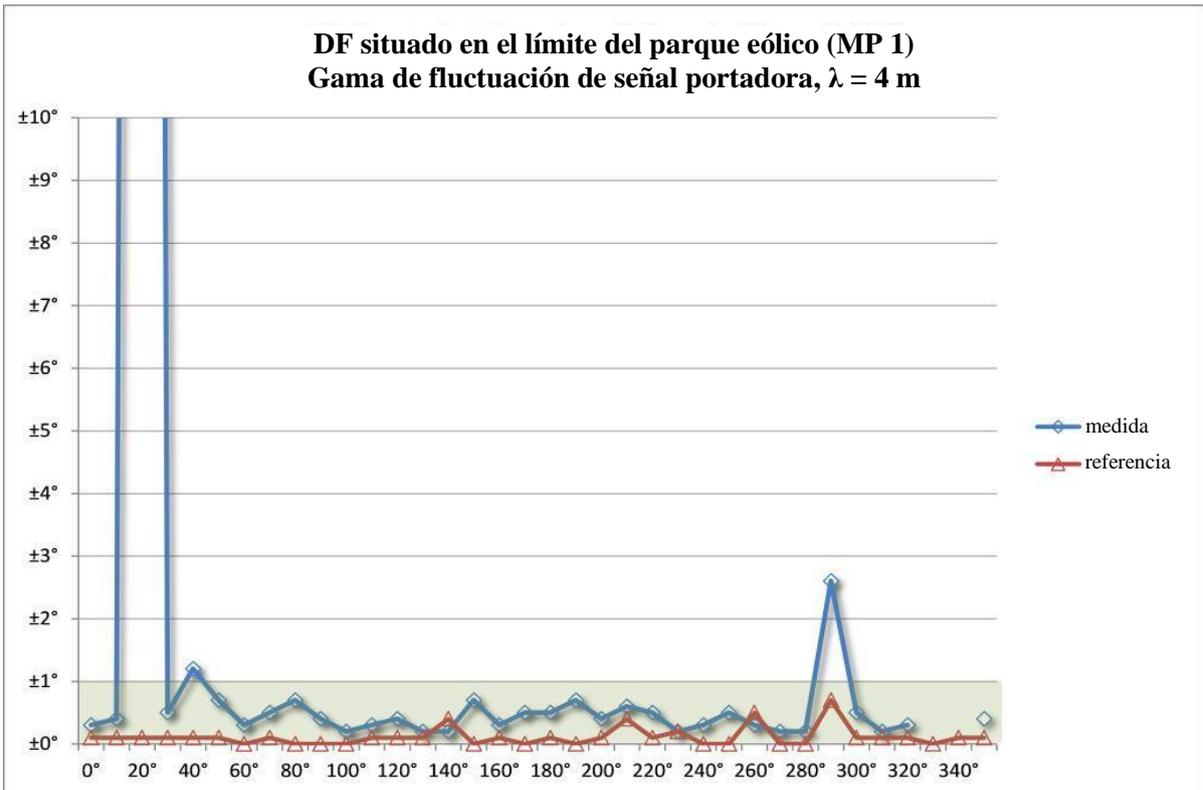
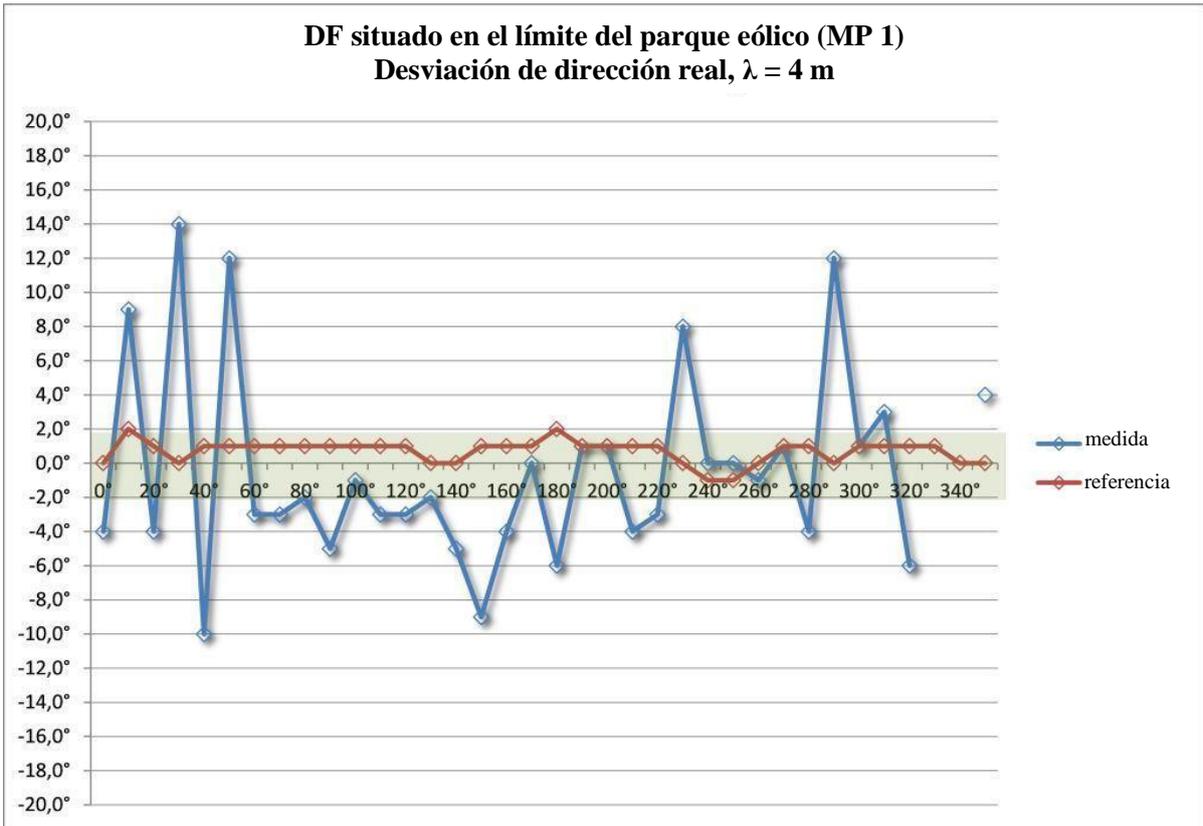


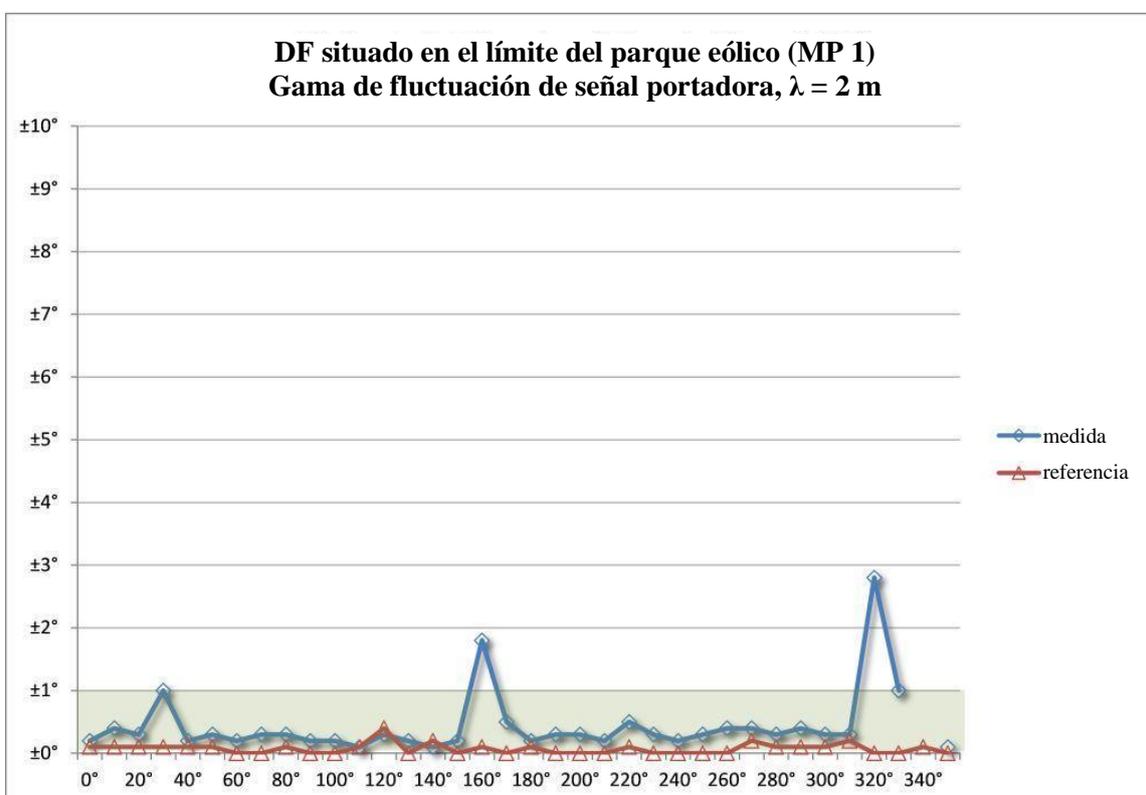
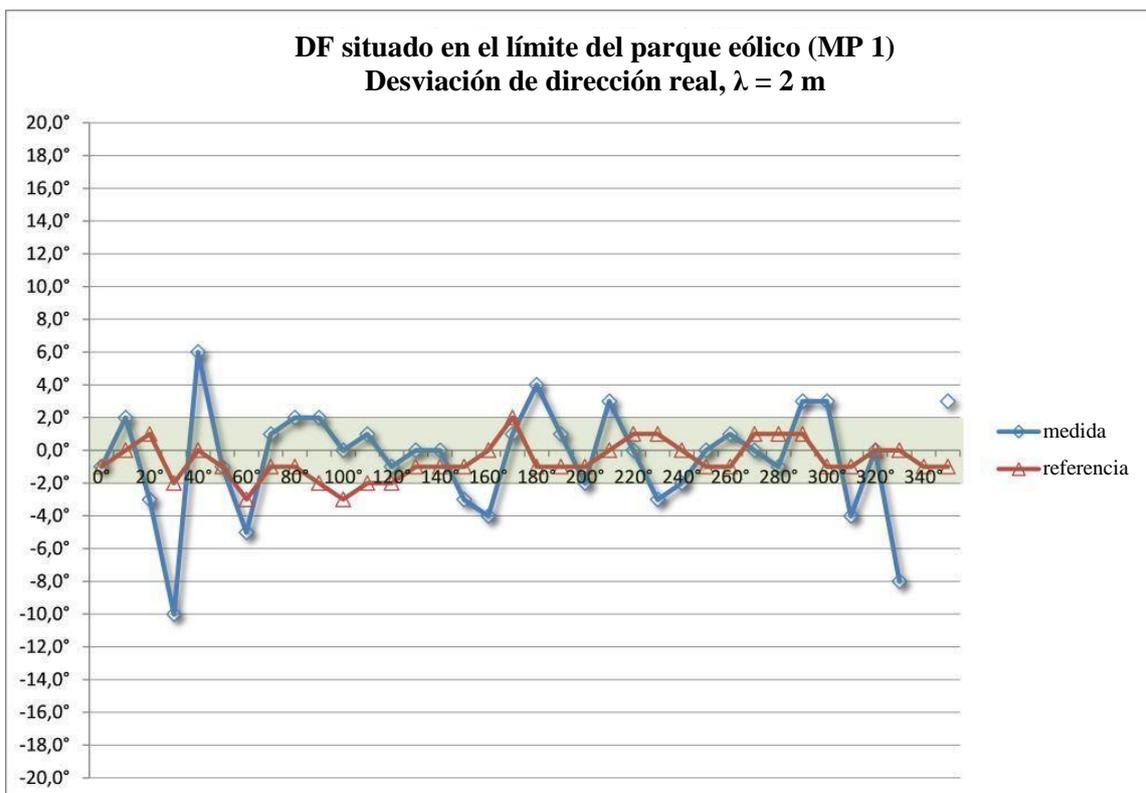
Las líneas blancas muestran el historial de marcación de los últimos 30 segundos, mientras que la línea amarilla muestra la marcación en el momento en que se realizó la captura de pantalla. En el primer ejemplo (banda de 23 cm), la marcación fluctúa de modo caótico en casi todas las direcciones; en el segundo ejemplo (banda de 13 cm), el resultado DF parece fluctuar entorno a un valor promedio. En el tercer ejemplo (banda de 30 cm), hay dos resultados DF extremos, ¡aunque ninguno es correcto!

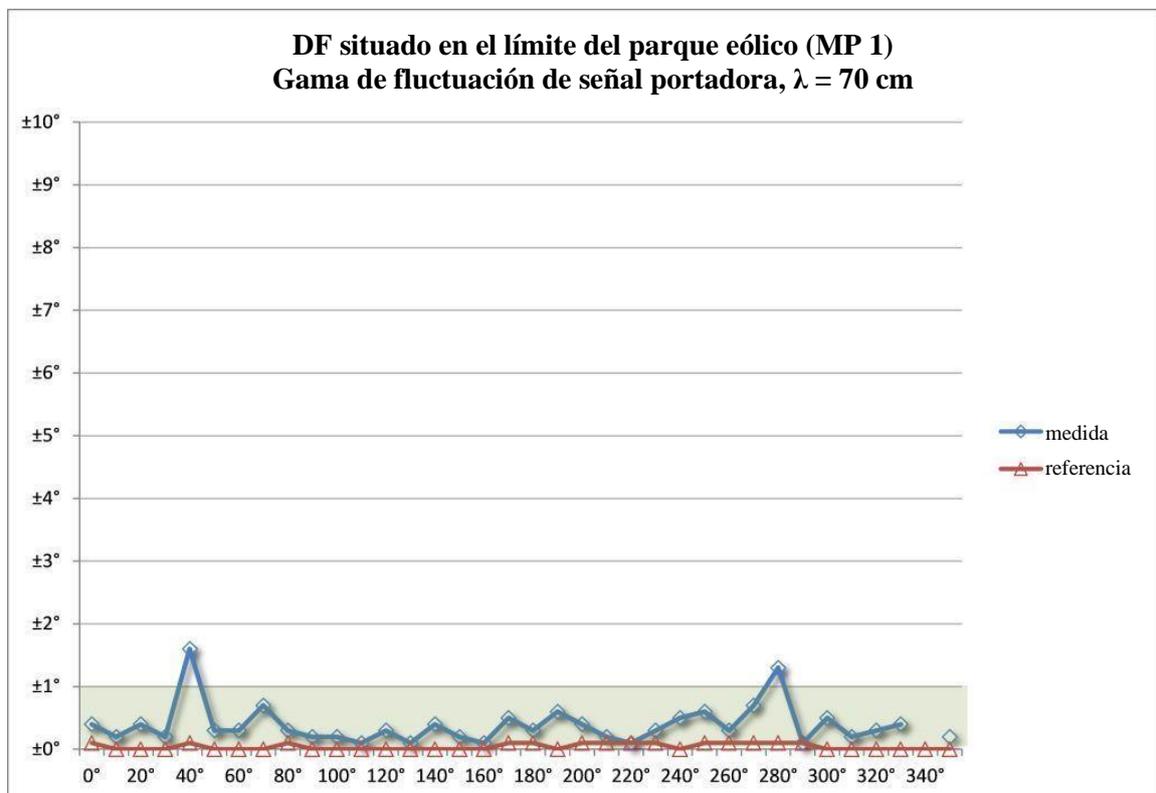
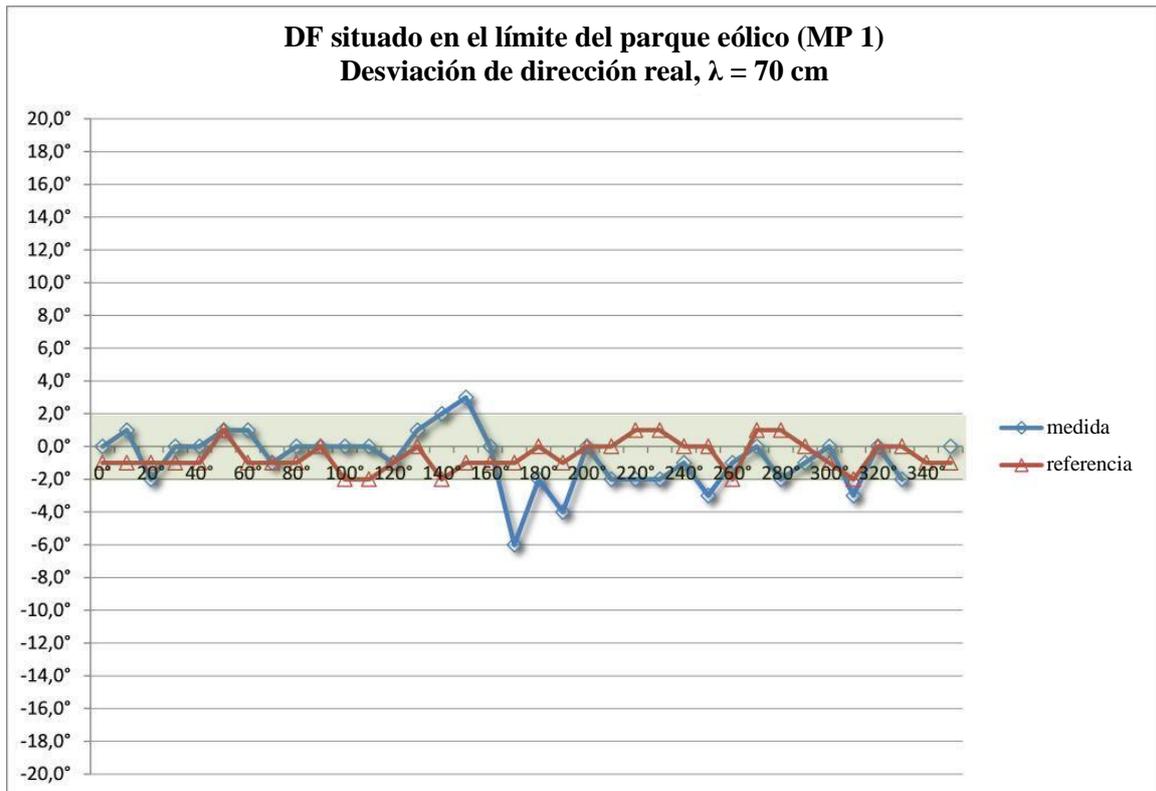
En la gama de ondas decamétricas, el radiogoniómetro se comporta de modo caótico, por lo que no puede utilizarse.

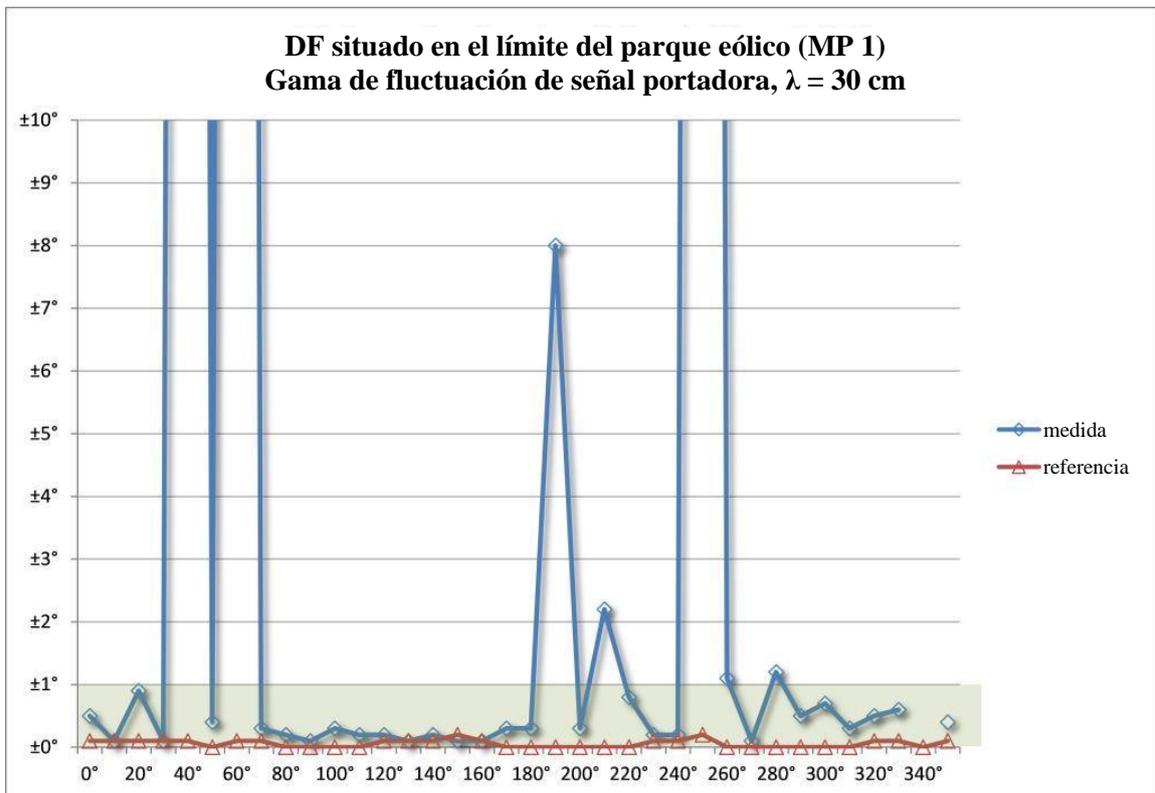
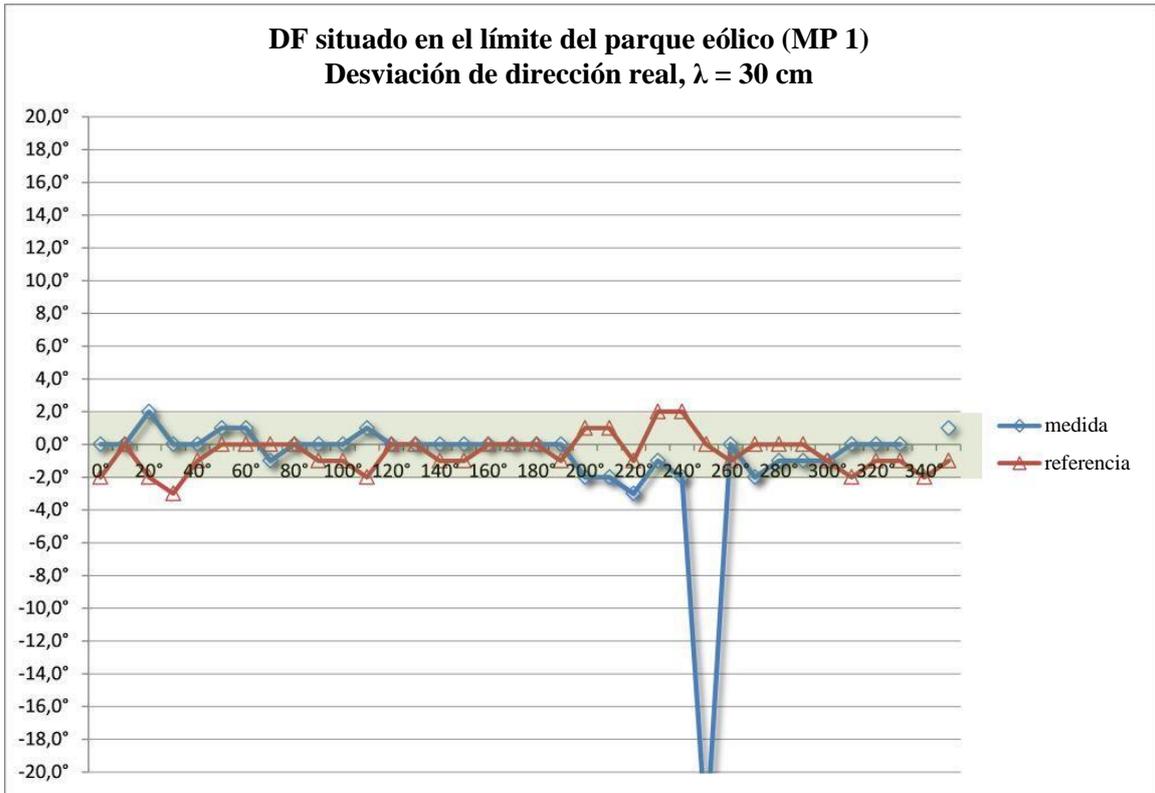
Conclusión: No puede utilizarse un radiogoniómetro dentro de un parque eólico.

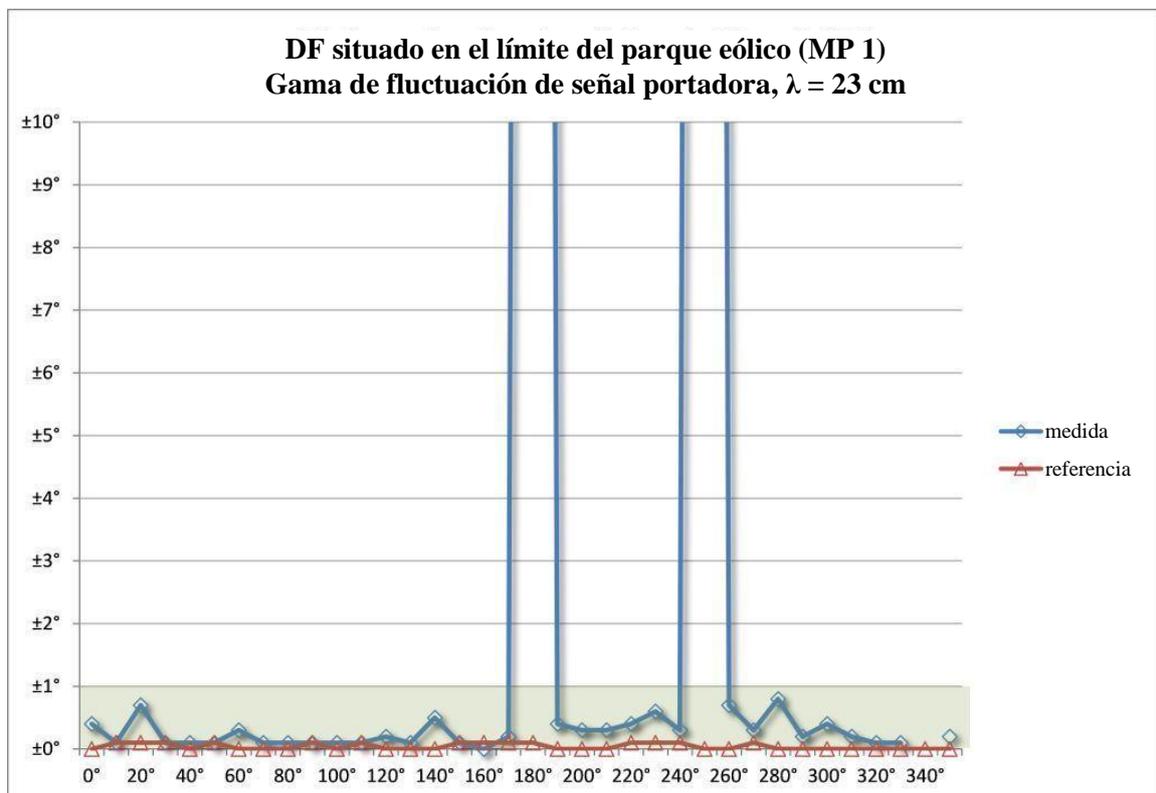
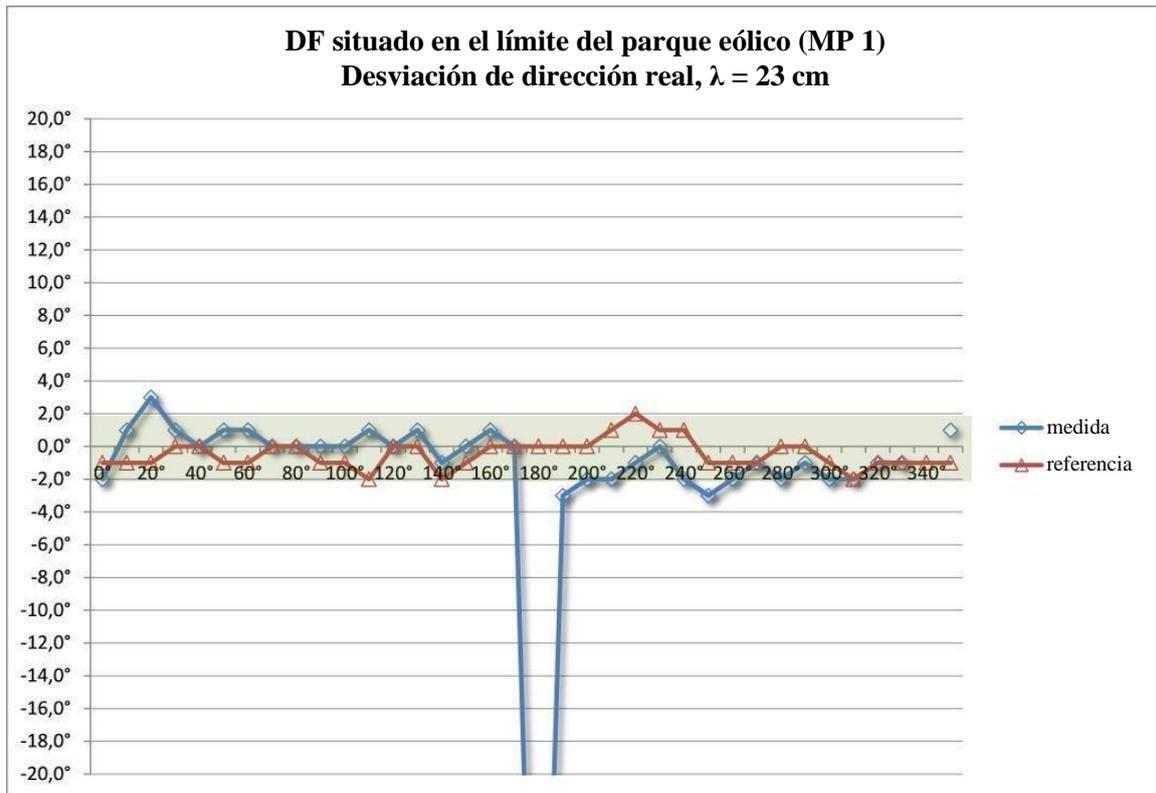
9.2.2 Radiogoniómetro situado en el límite del parque eólico

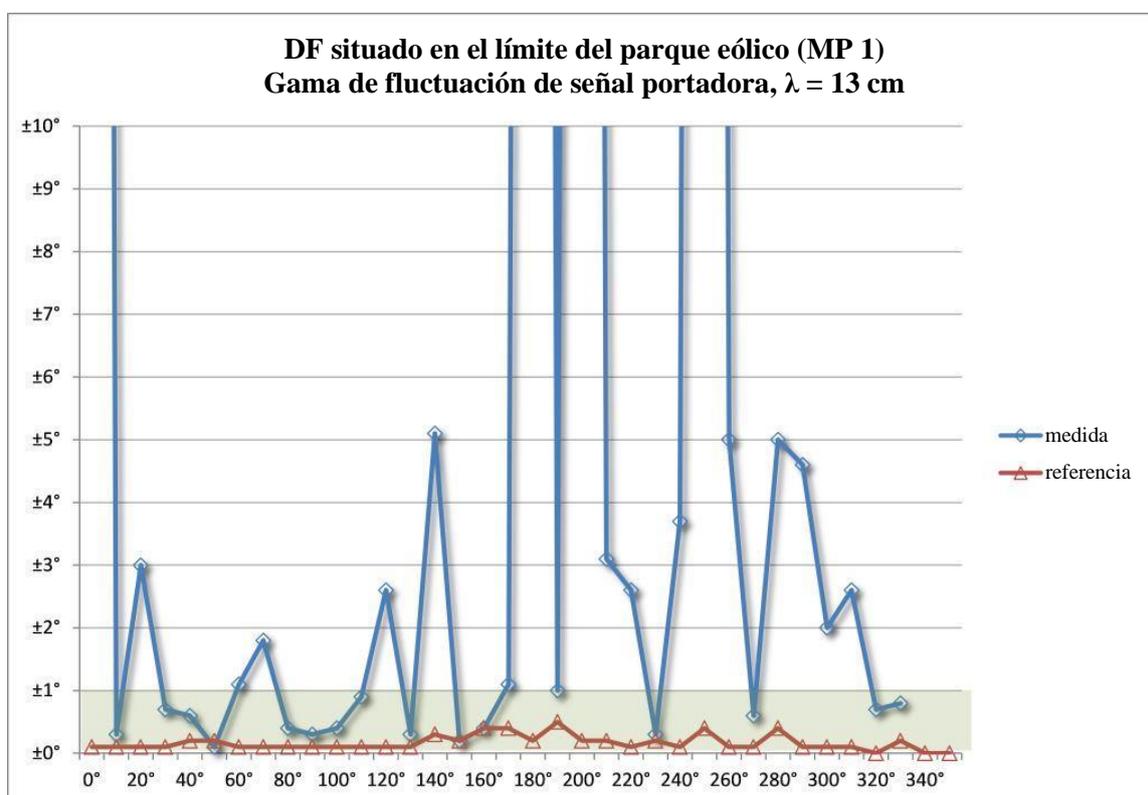
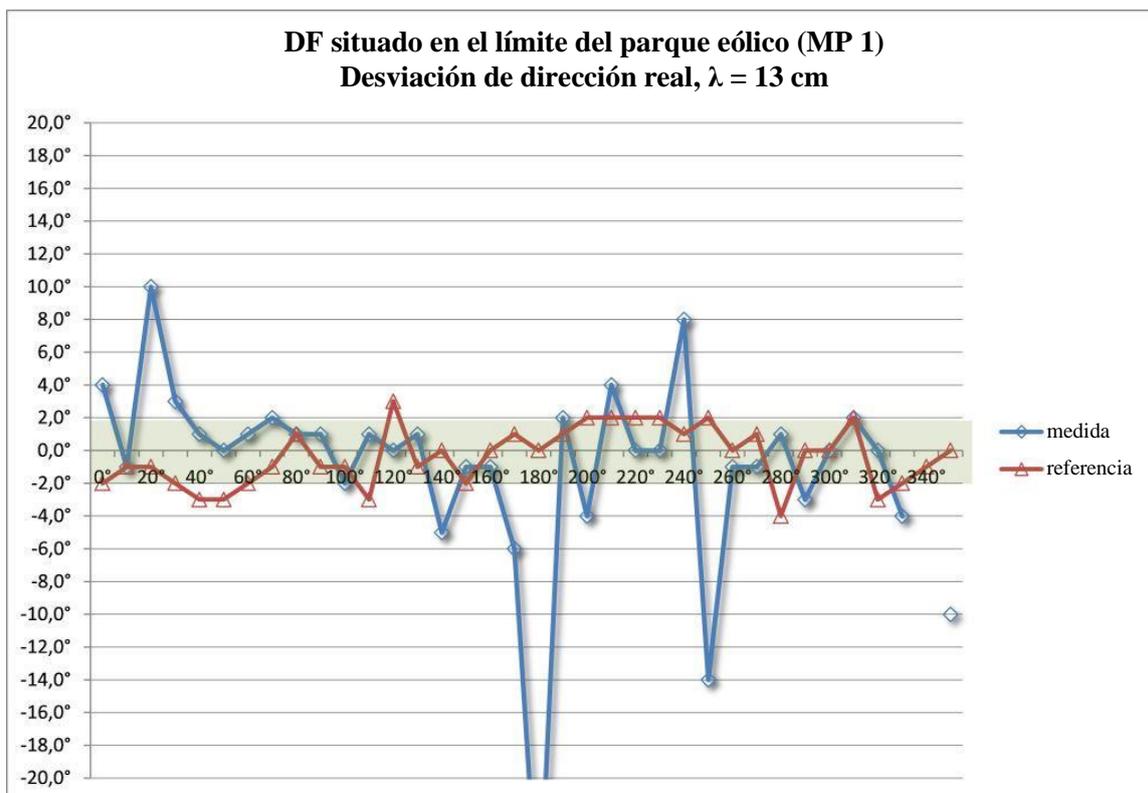












Se han registrado interferencias (en algunos casos, importantes) en todas las bandas de frecuencias probadas. Esas interferencias son particularmente importantes en la banda de 4 m, donde se observaron importantes errores DF en todas las direcciones, los más fuertes en el caso de marcaciones a través del parque eólico y, curiosamente, en la dirección contraria.

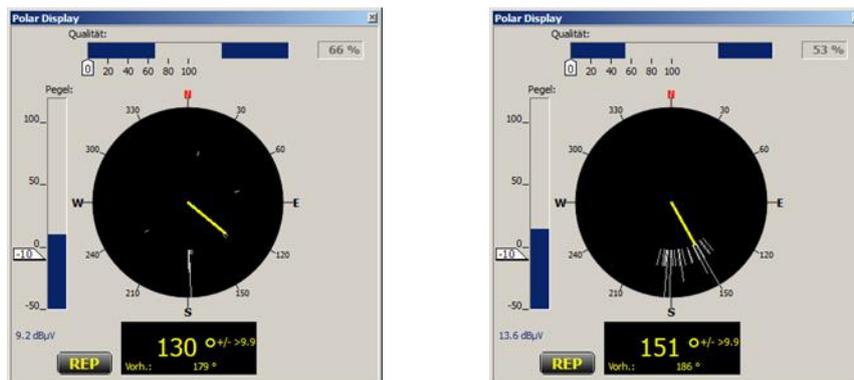
En la banda de 2 m los errores DF más pronunciados se registraron en el caso de marcaciones a través del parque eólico y en la dirección contraria. En este caso también volvieron a observarse

fluctuaciones importantes en la indicación de la marcación, así como una marcación «correcta» aleatoria en 320°.

La banda de 70 cm se comporta relativamente bien en esta constelación, aunque presenta errores DF en direcciones que no apuntan hacia el parque eólico (hacia el sur)!

Las tres bandas de frecuencias más altas (800 MHz – 3 GHz) volvieron a destacar por, en algunos casos, las fluctuaciones importantes en la indicación de la marcación con gamas de ángulo limitadas. En las bandas de 30 y 23 cm fueron posibles marcaciones fiables dentro de gamas de ángulos más amplias. Con todo, y debido a las fluctuaciones importantes en la indicación de la marcación en ciertas direcciones, esas marcaciones en esas gamas solo son posibles, en algunos casos, tras un largo periodo de observación, algo que no es posible para la mayoría de los sistemas radioeléctricos digitales.

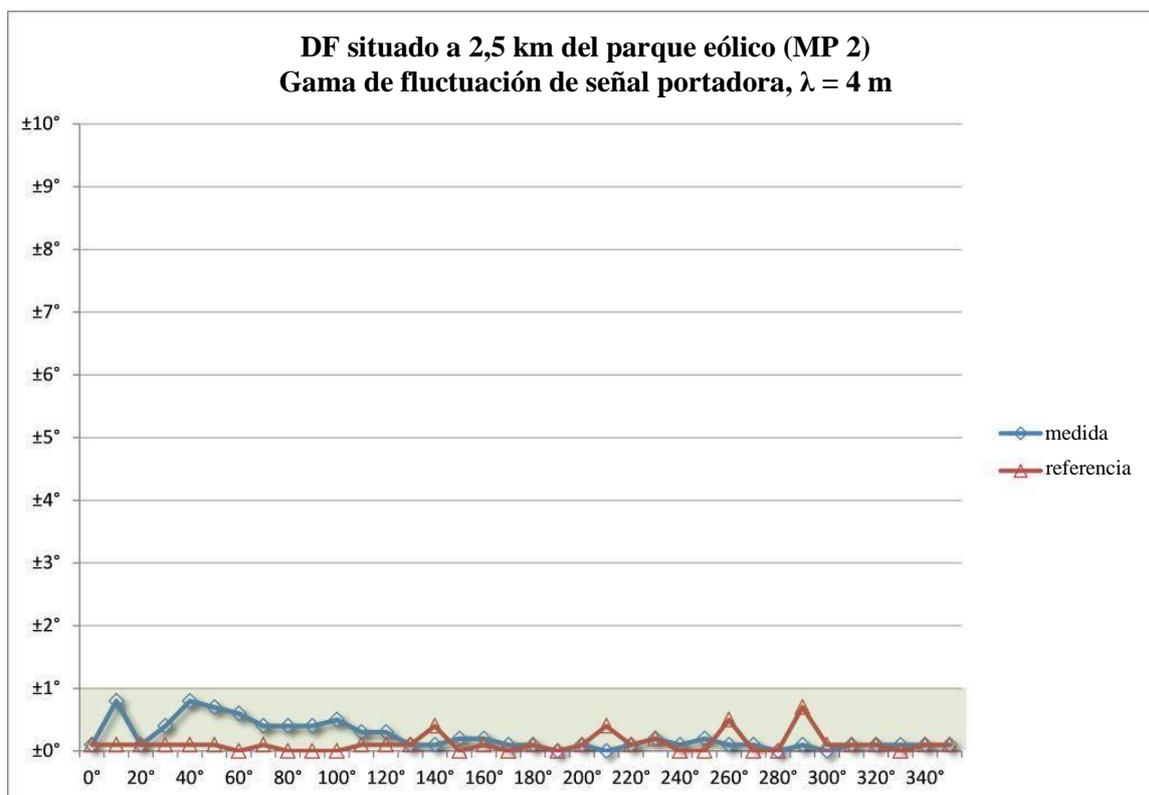
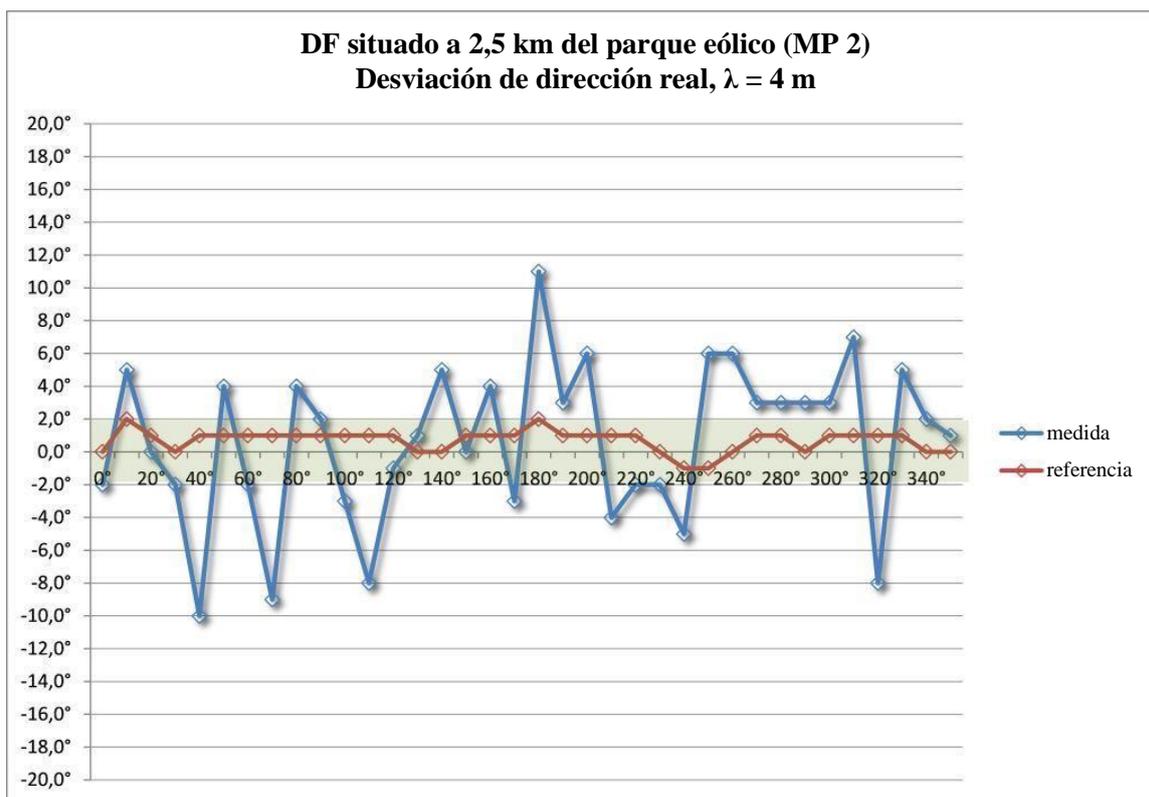
En la banda de 13 cm, las marcaciones fueron caóticas y estuvieron sujetas a fluctuaciones importantes, sobre todo en la dirección del parque eólico y en la dirección contraria.

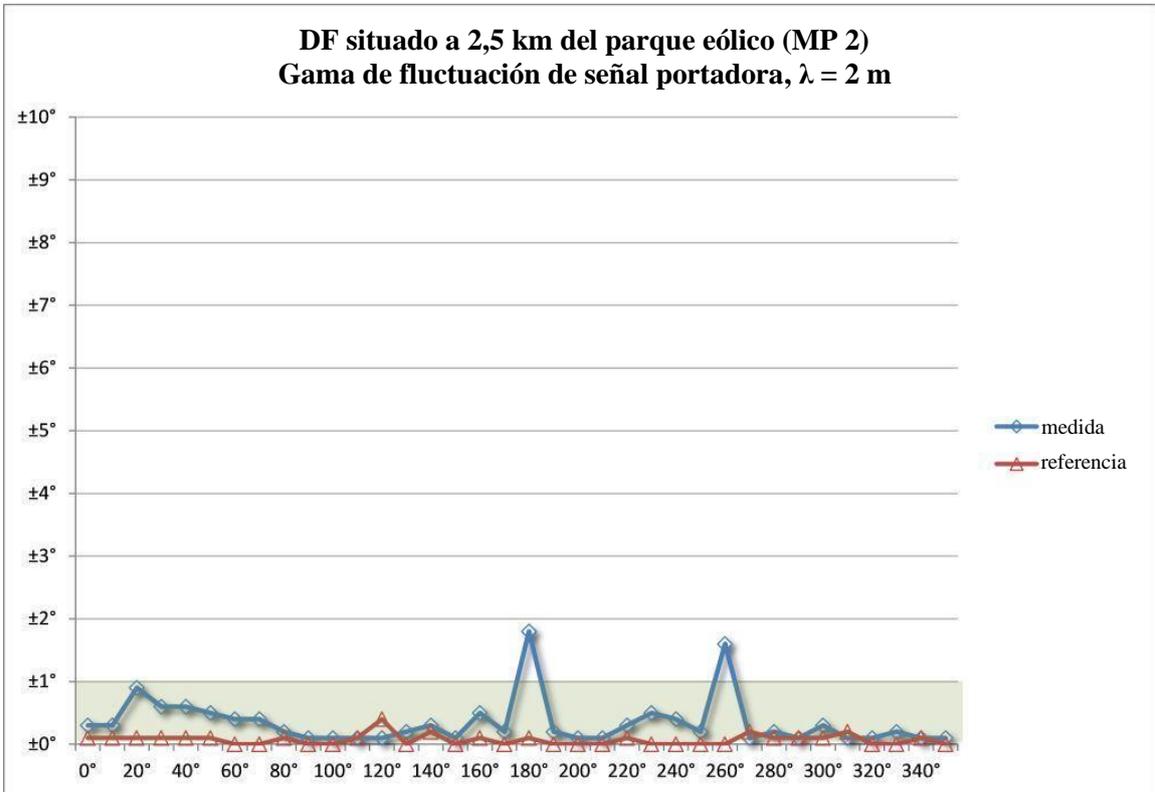
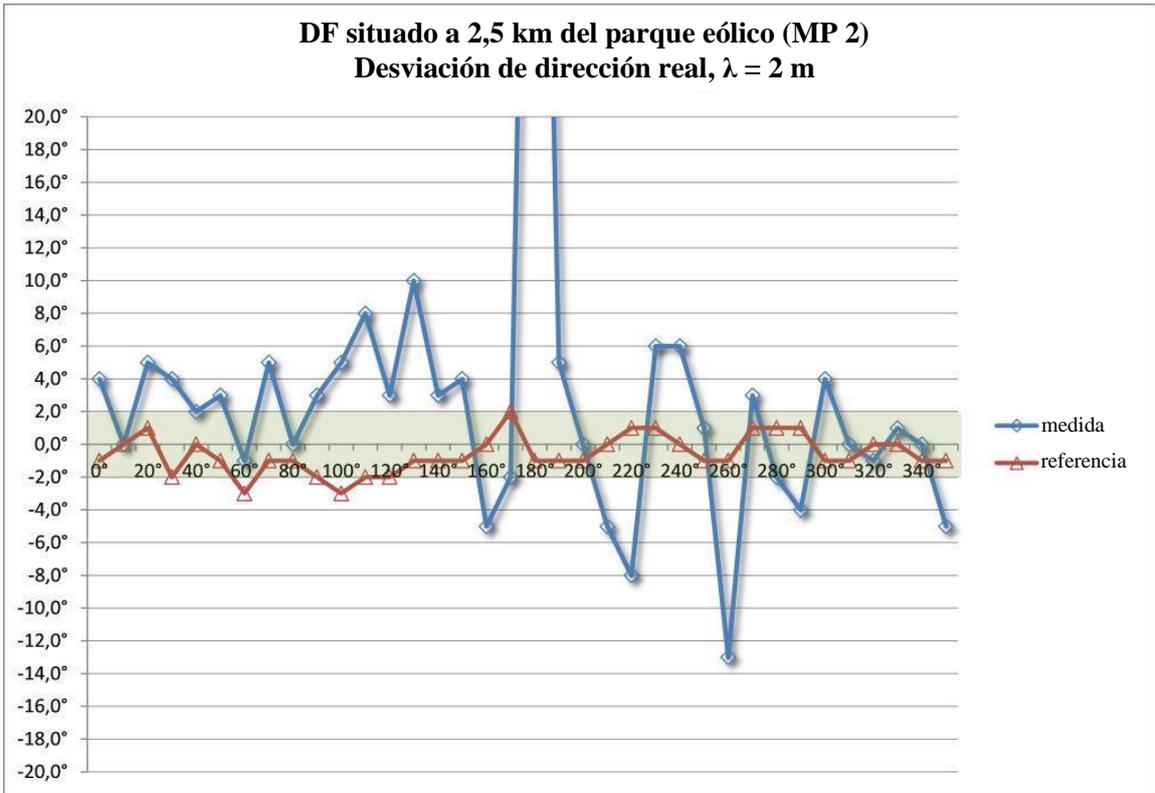


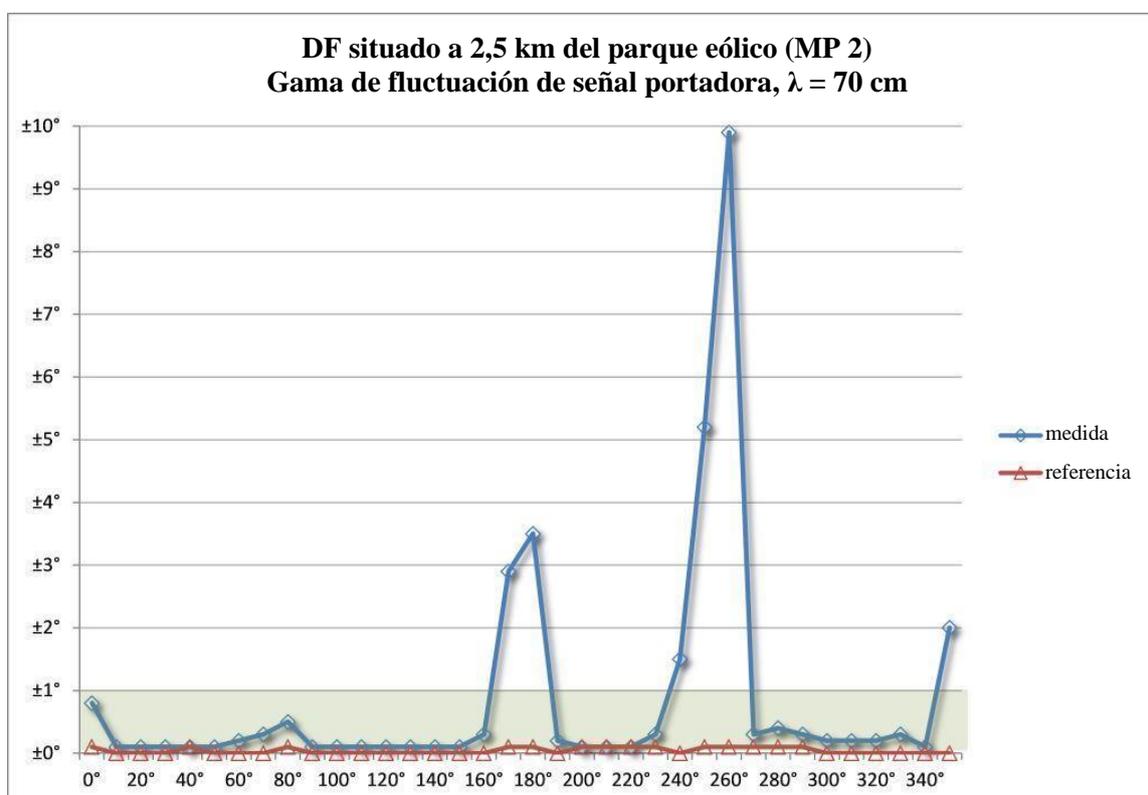
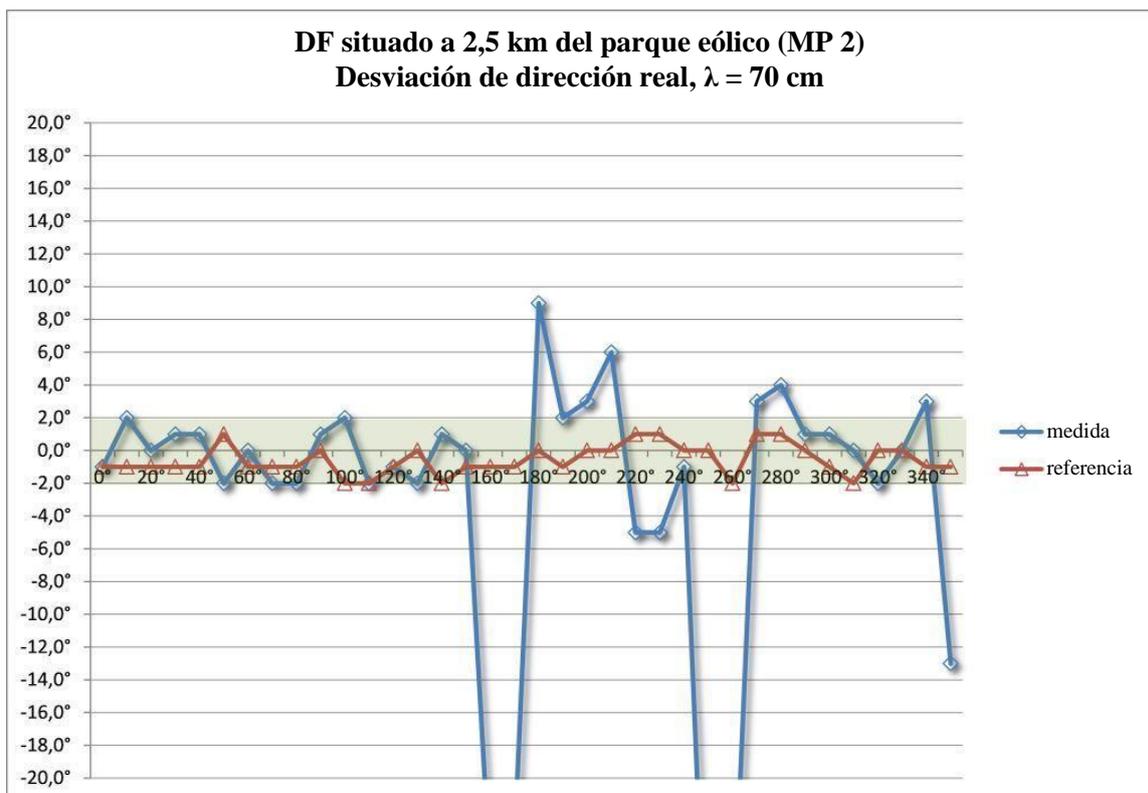
Las capturas de pantalla muestran dos ejemplos típicos de indicaciones de la marcación en esa serie de medidas. La primera ilustra una indicación de la marcación en la banda de 23 cm con diversas direcciones de marcación separadas. Las líneas blancas cortas del historial de la marcación indican que el radiogoniómetro salta lentamente entre direcciones de marcación. El segundo ejemplo muestra una marcación en la banda de 13 cm con una indicación de la marcación que parece fluctuar entorno a un valor promedio.

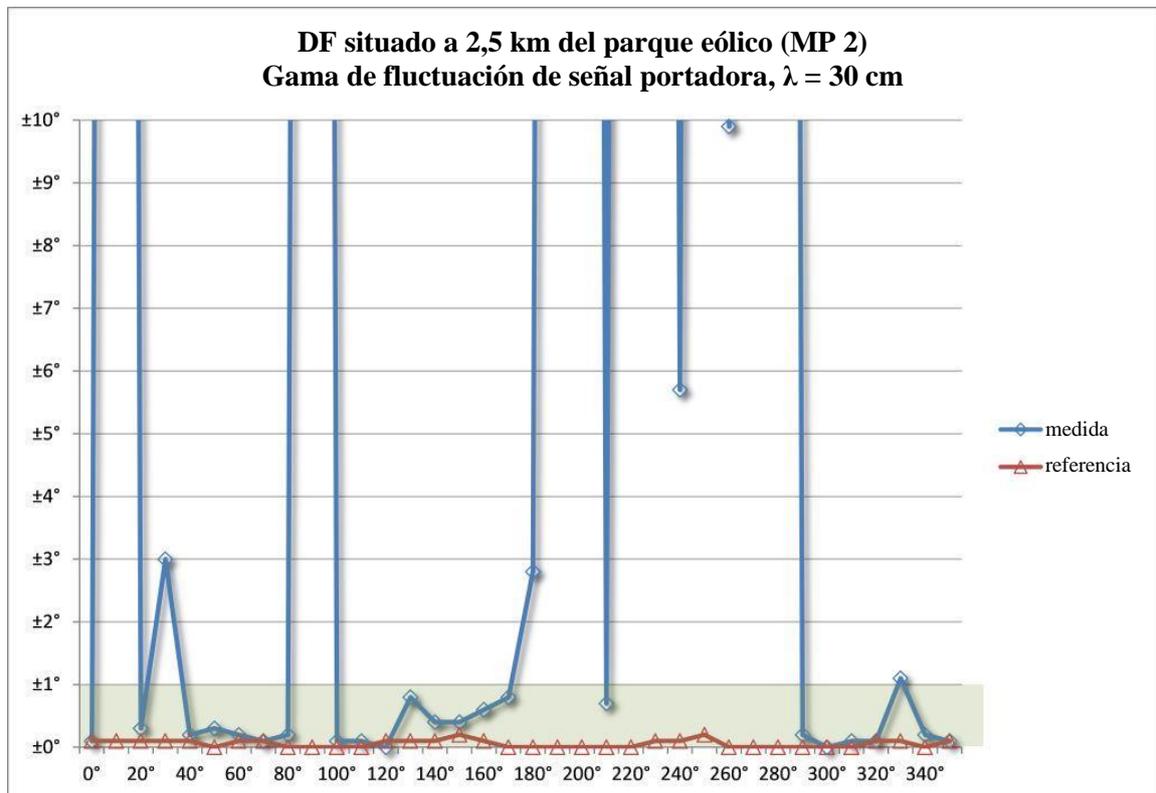
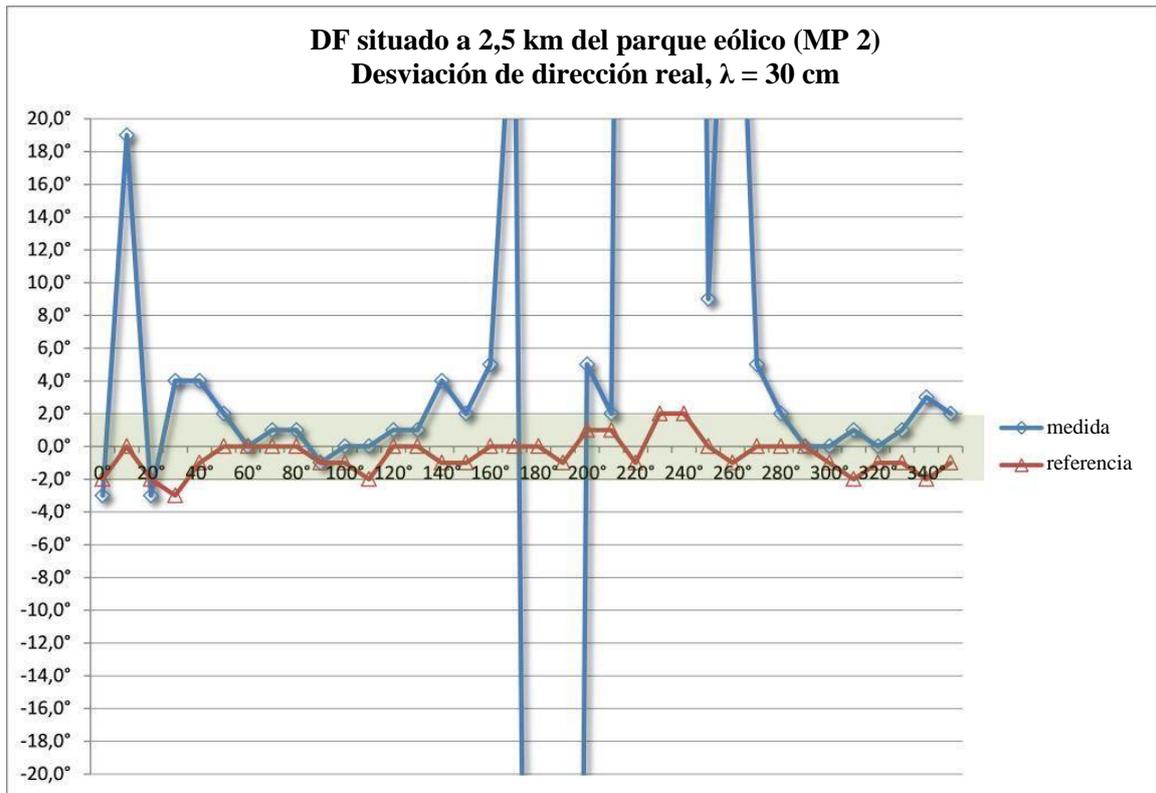
Conclusión: Cuando se sitúa en el límite del parque eólico, el radiogoniómetro solo puede utilizarse en la banda de 70 cm e, incluso entonces, solo en cierta medida.

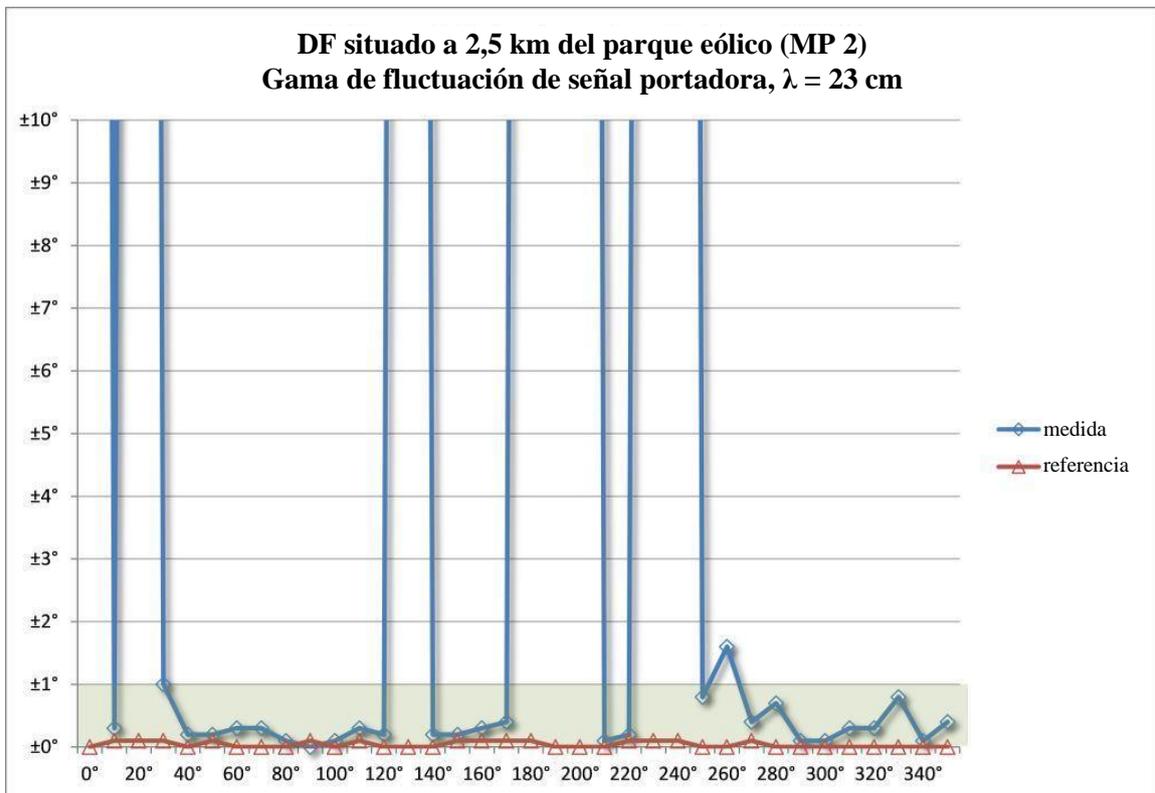
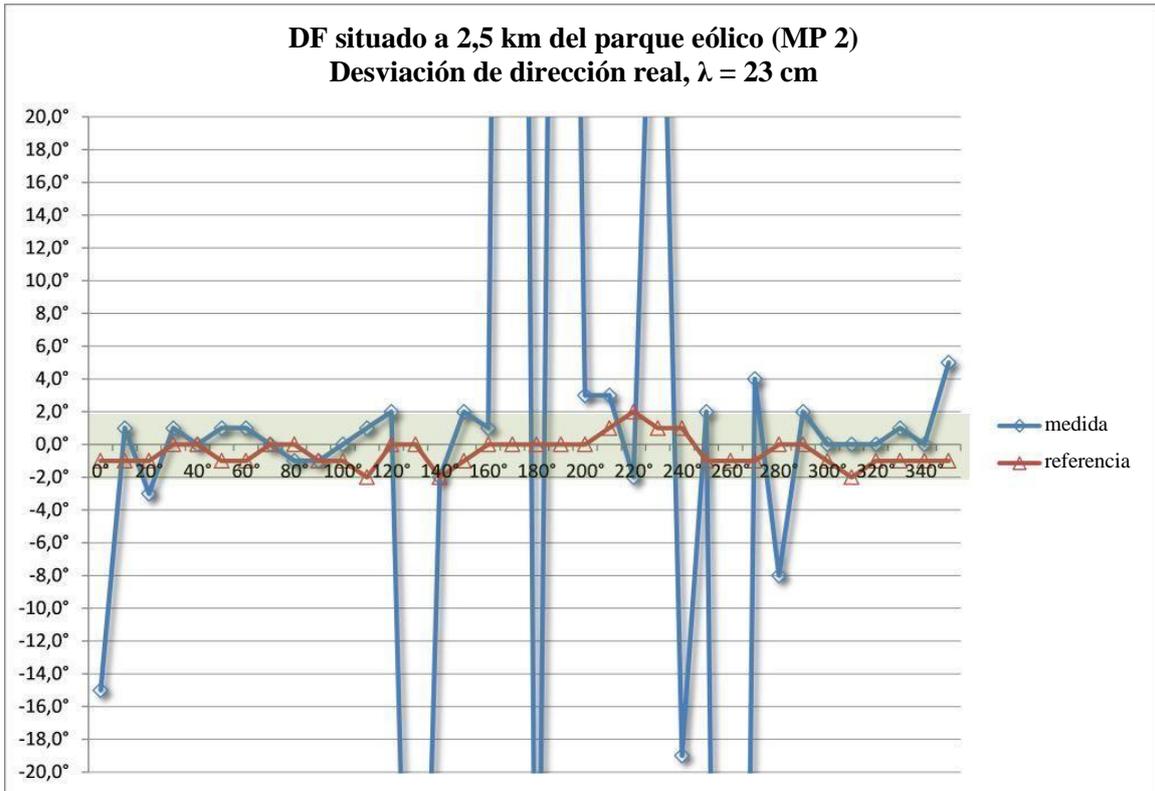
9.2.3 Radiogoniómetro situado a 2,5 km del parque eólico

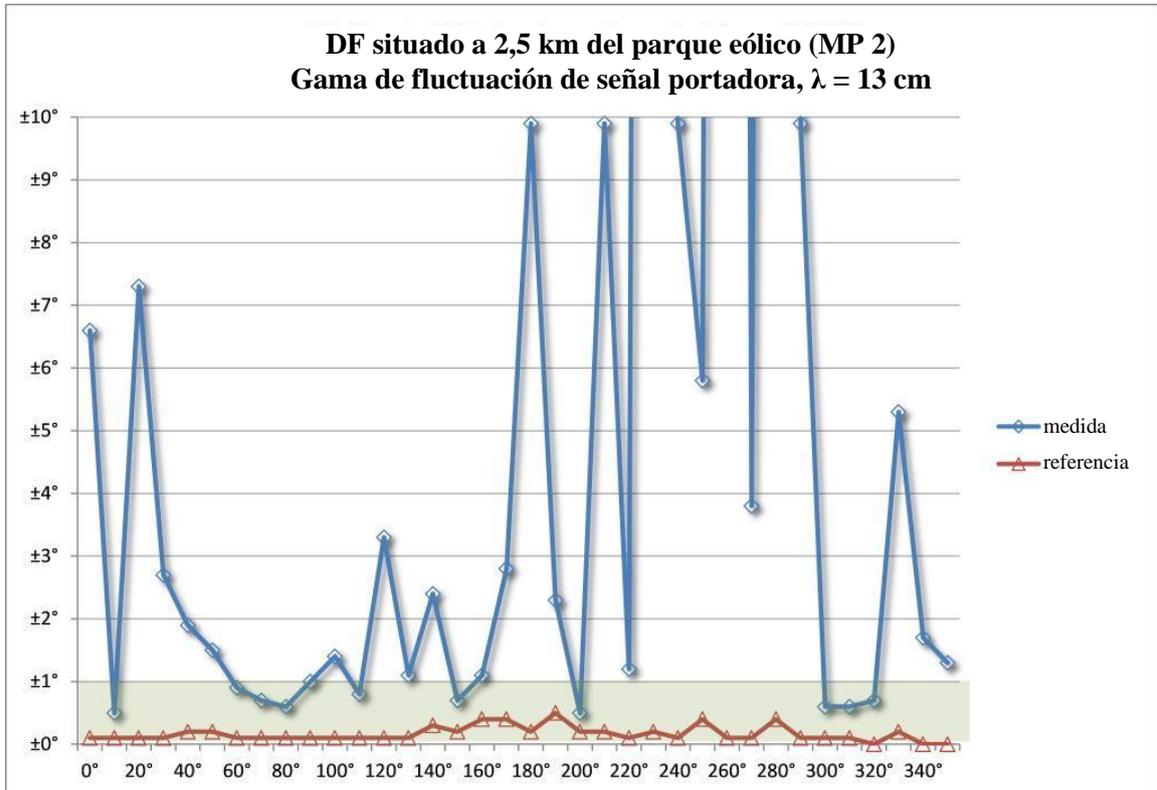
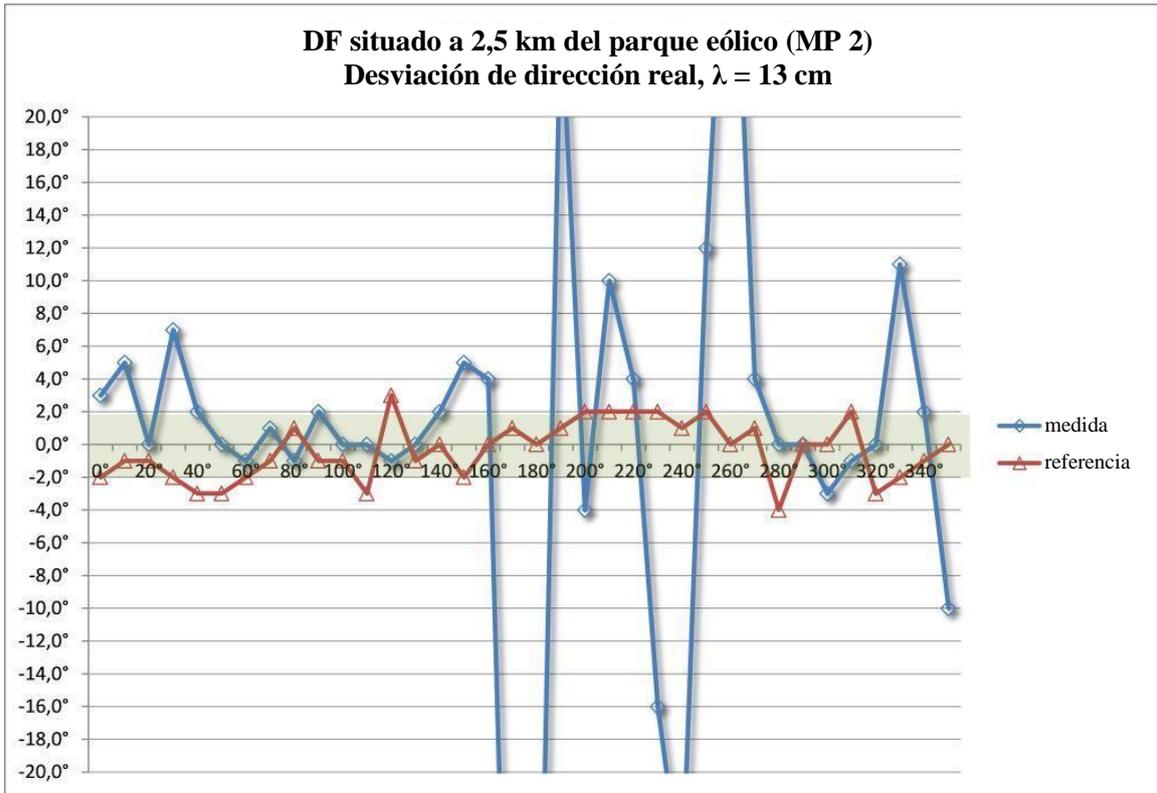


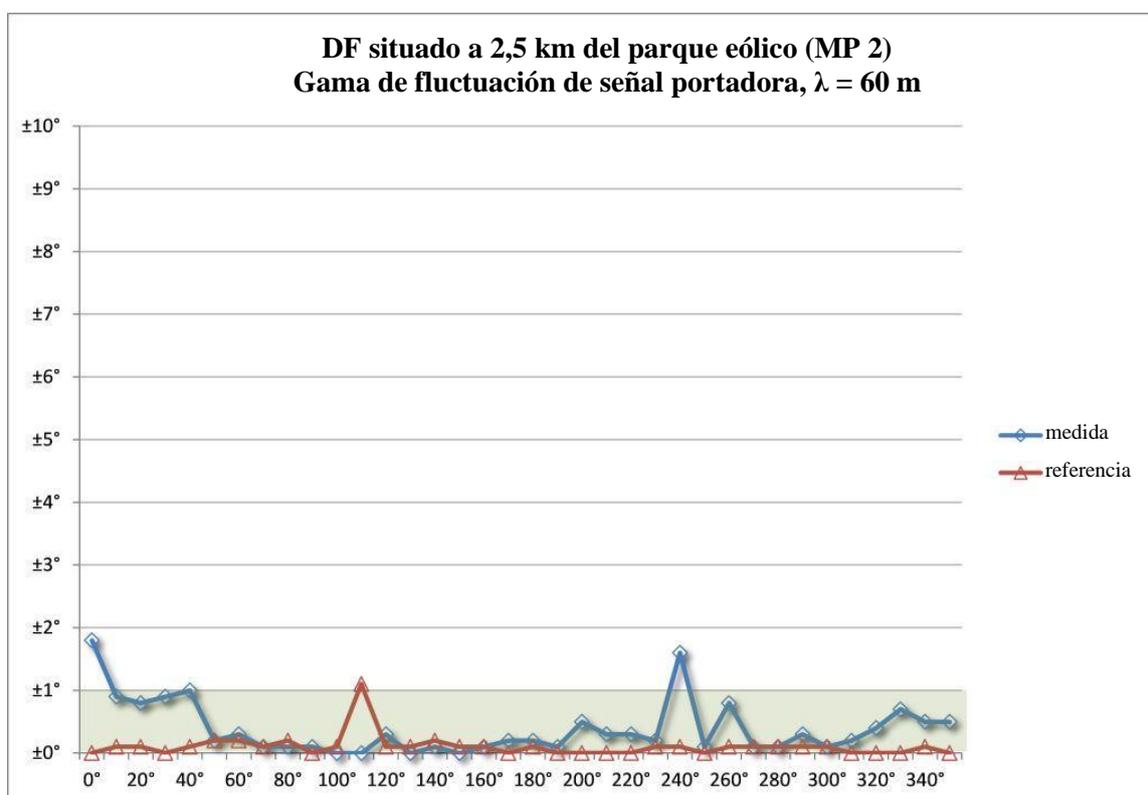
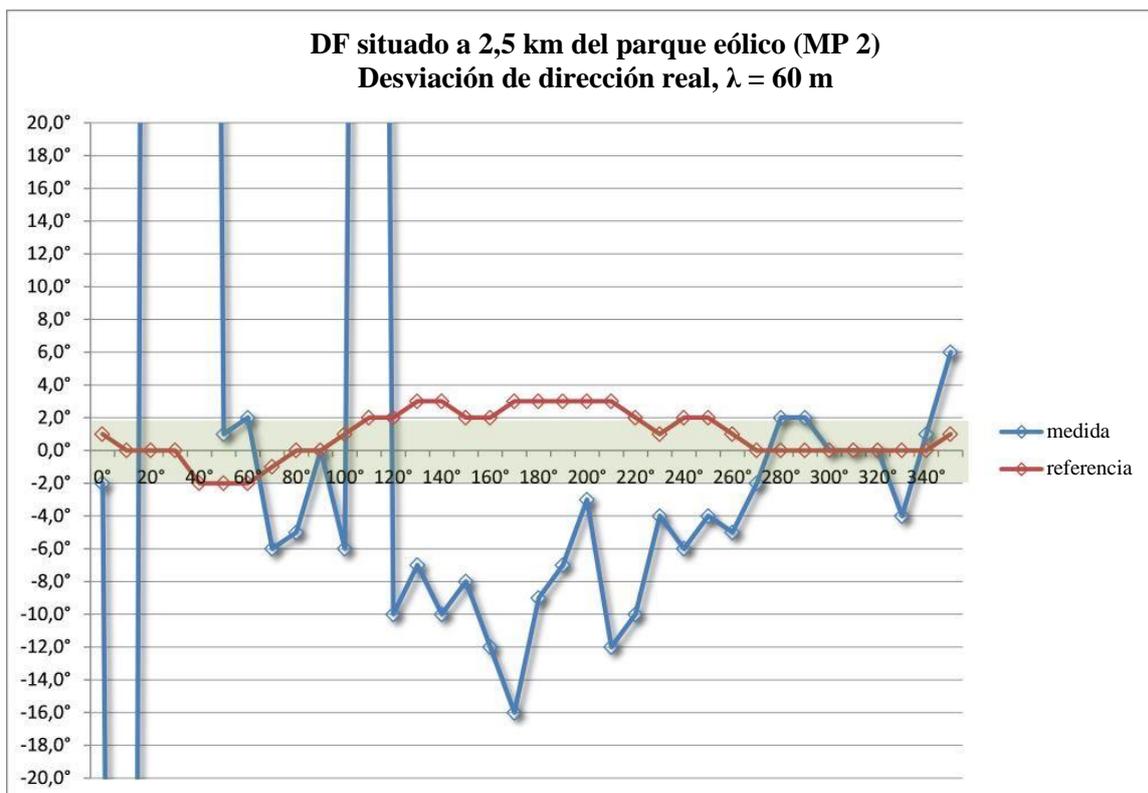












Cuando el radiogoniómetro se sitúa a 2,5 km del parque eólico se registran errores DF importantes en todas las bandas métricas y decimétricas.

En las bandas de 4 y 2 m, se observaron errores DF importantes en los cuatro cuadrantes.

En las demás bandas (70 cm... 13 cm) solo se registraron errores DF menores en la gama de ángulos de noreste a sudeste (es decir, apenas en la dirección del parque eólico). Con todo, se observaron

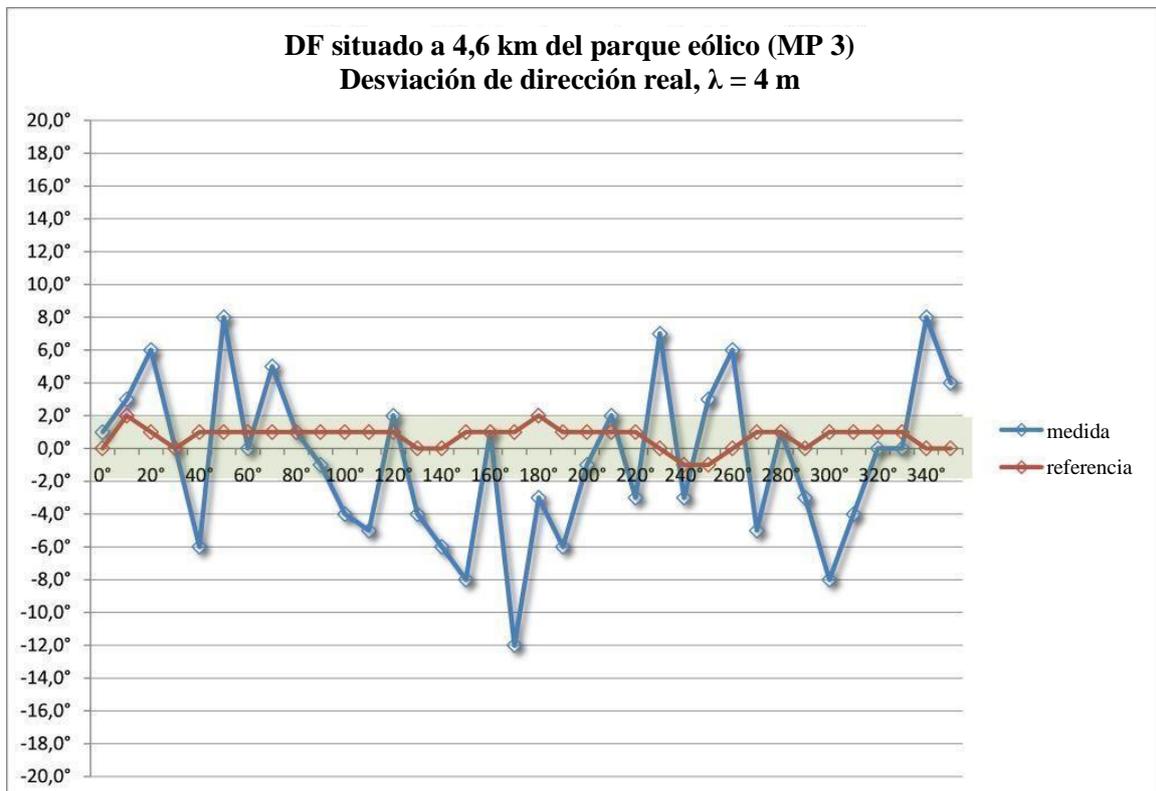
errores DF importantes en la dirección opuesta. La gama de ángulos en la que se observaron interferencias particularmente fuertes forma un arco cuya longitud corresponde claramente a la longitud del arco que el parque eólico forma sobre el horizonte desde la perspectiva del radiogoniómetro. Ahora bien, la gama de ángulos en la que se experimenta la interferencia es siempre mayor al arco formado por el parque eólico.

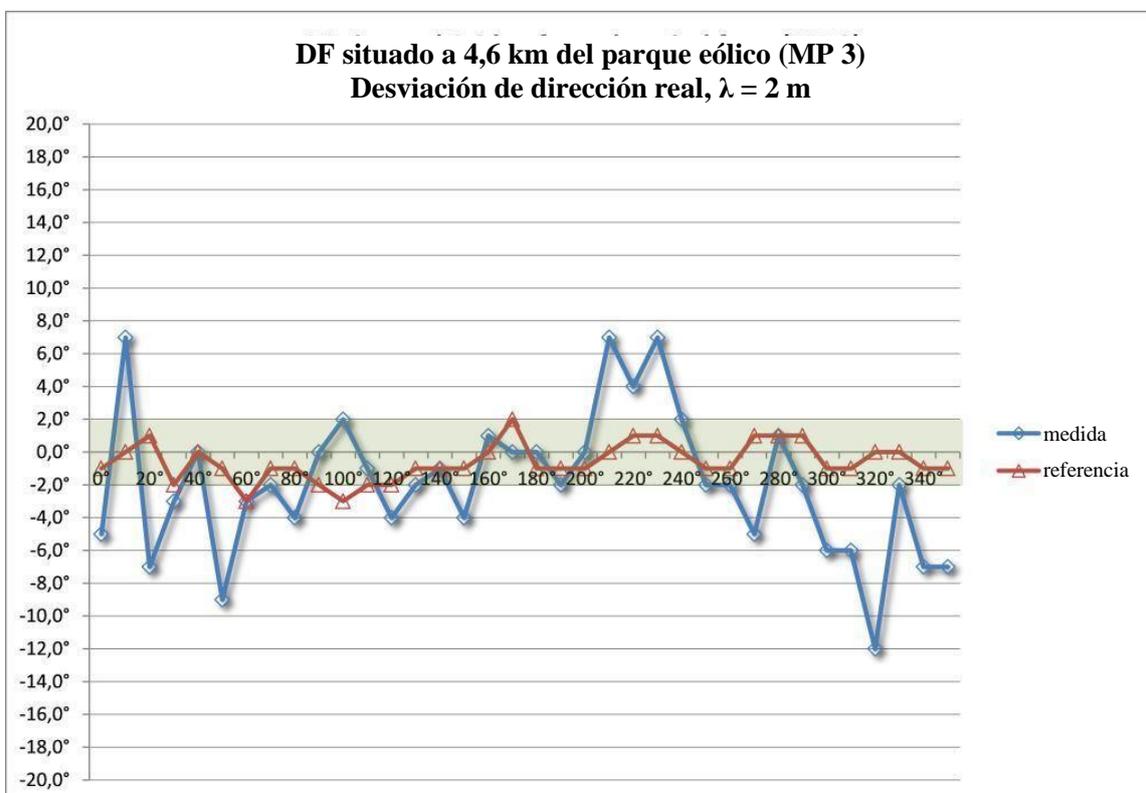
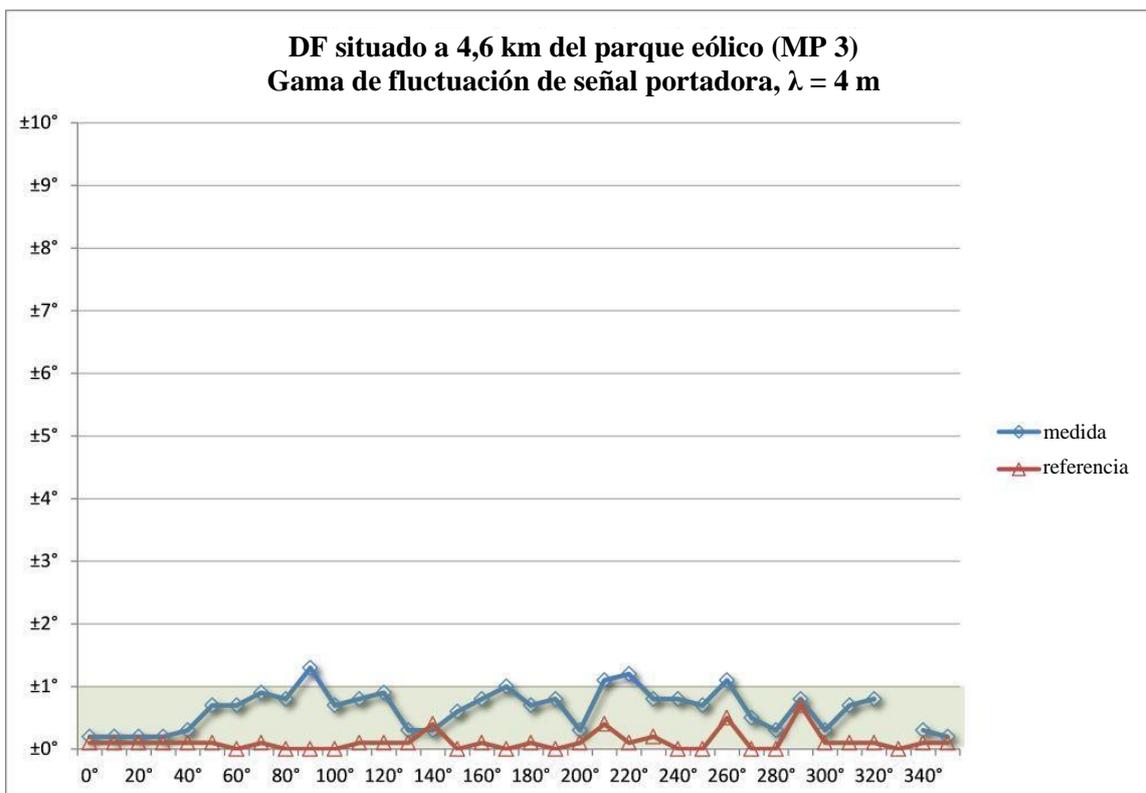
Además de los errores DF descritos anteriormente, en la banda de 70 cm también se observaron fluctuaciones importantes en las indicaciones de la marcación en algunas gamas de ángulos. Ese efecto es todavía más pronunciado en las bandas de longitud de onda incluso más corta (30, 23 y 13 cm) y se extiende a gamas de ángulos todavía más grandes a medida que las longitudes de onda se acortan.

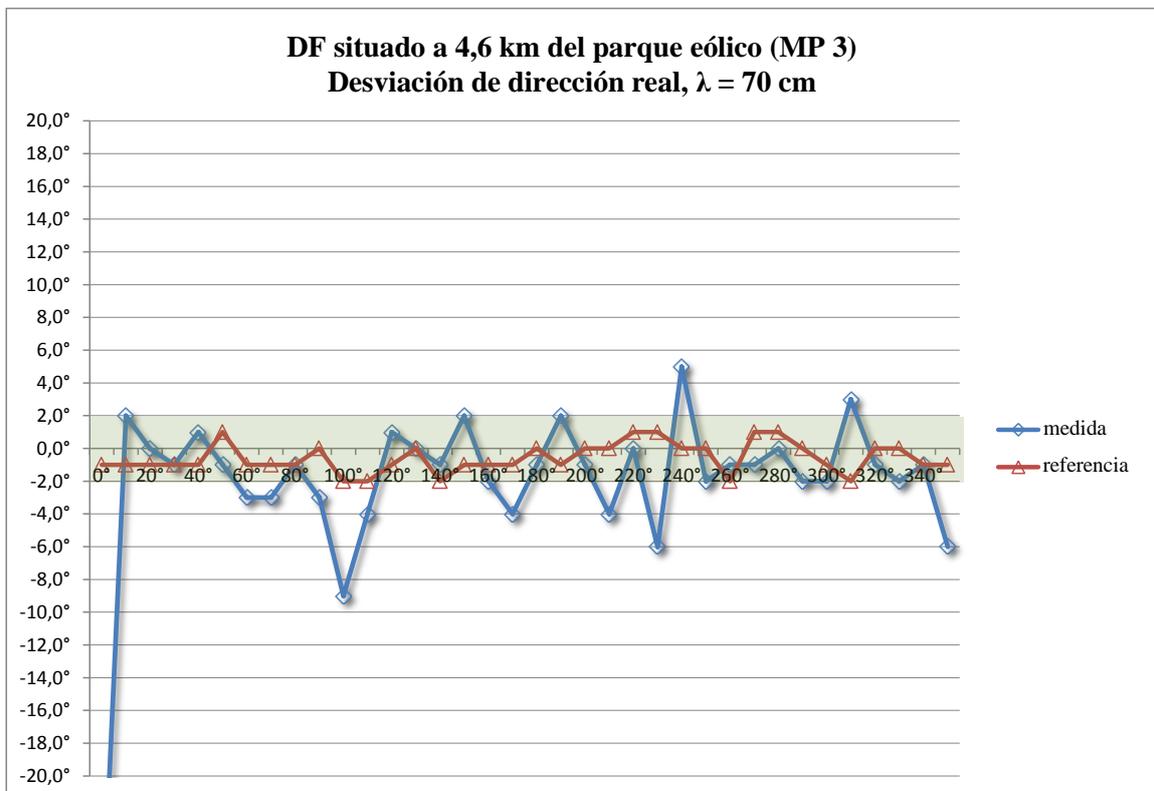
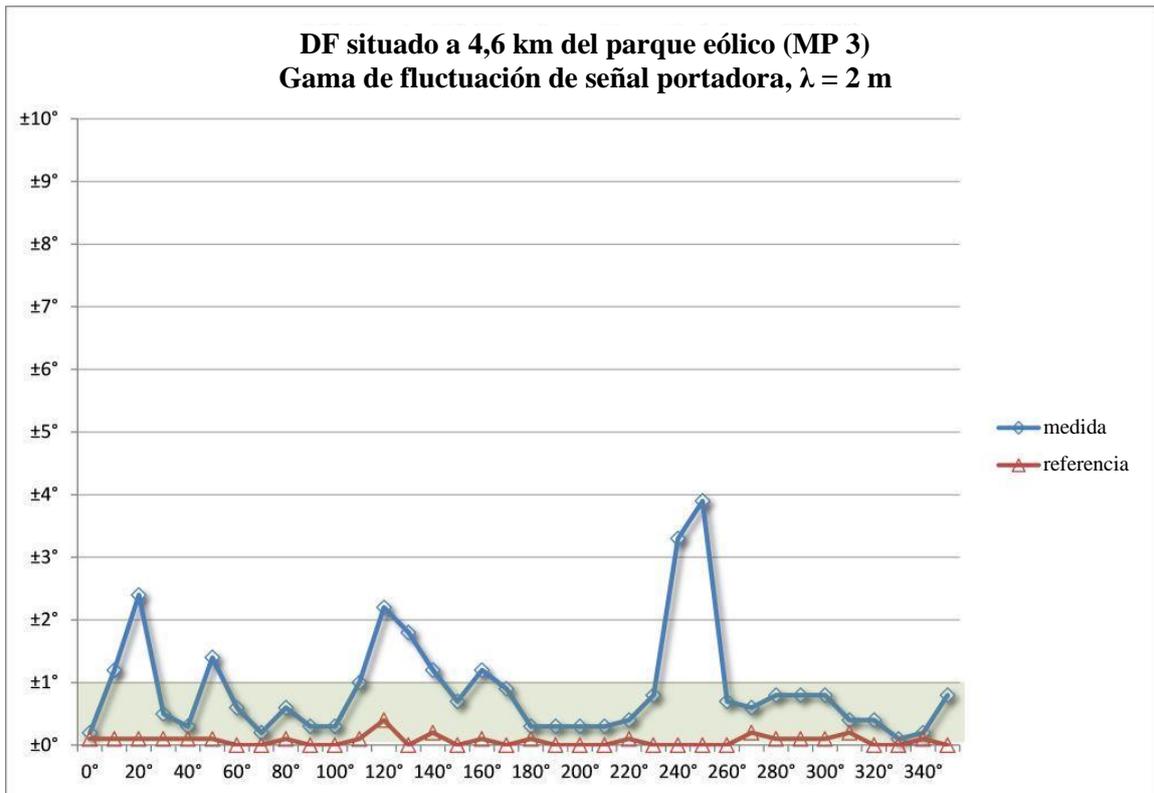
En la gama de ondas decamétricas se registraron errores DF importantes en los cuatro cuadrantes, con la excepción de un sector estrecho perpendicular al parque eólico. En la dirección del parque eólico los errores DF son tan pronunciados que ya no es posible determinar el cuadrante correcto.

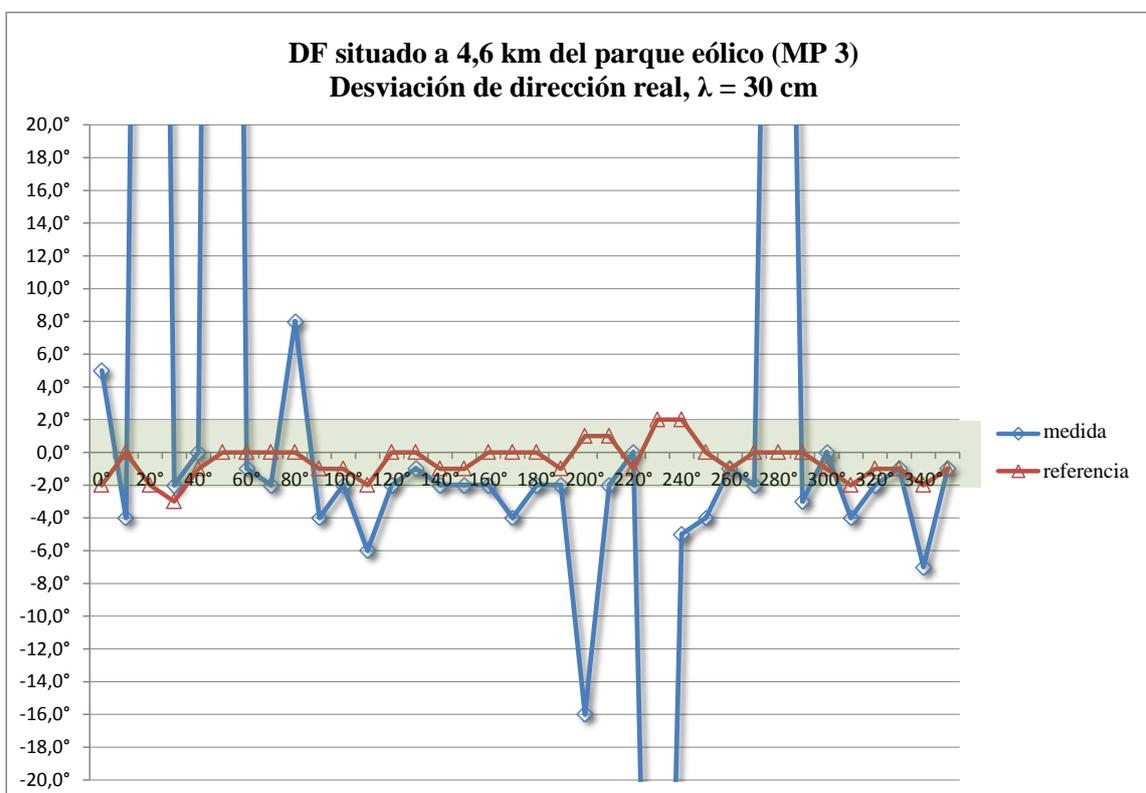
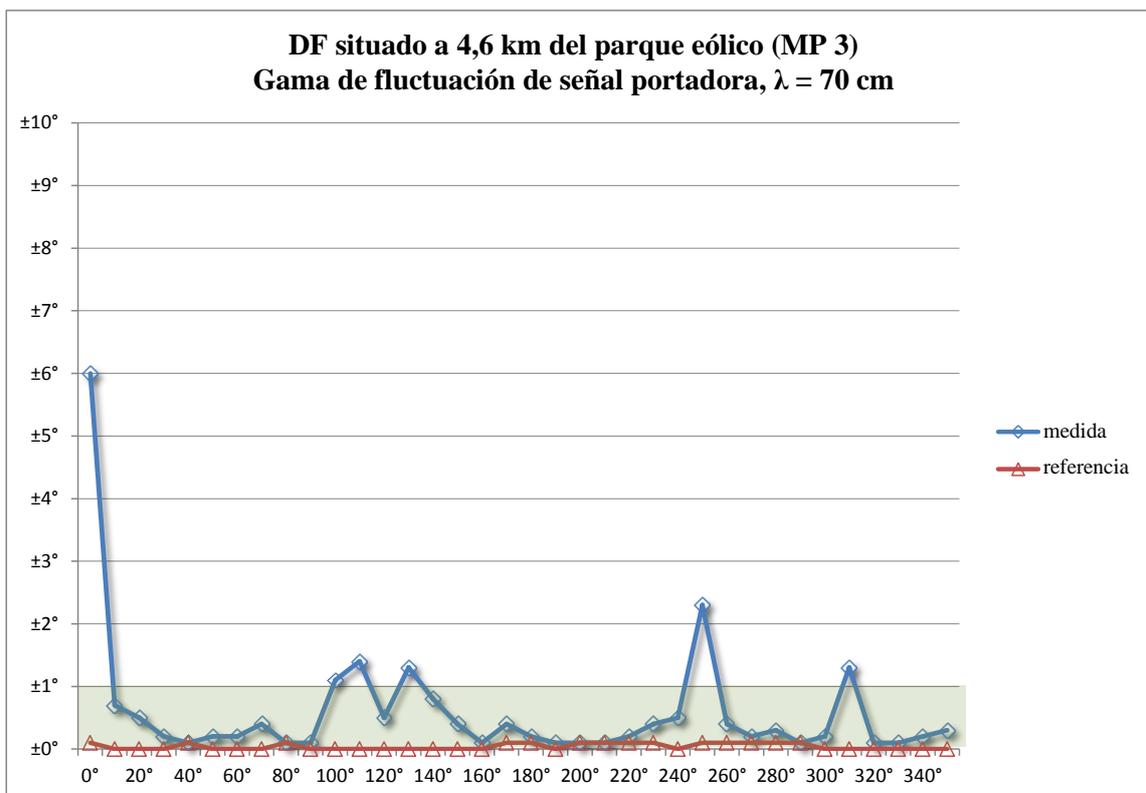
Conclusión: Solo es posible utilizar un radiogoniómetro fijo situado a 2,5 km del parque eólico en la banda de 70 cm, e incluso en ese caso sólo dentro de una gama de ángulos limitada.

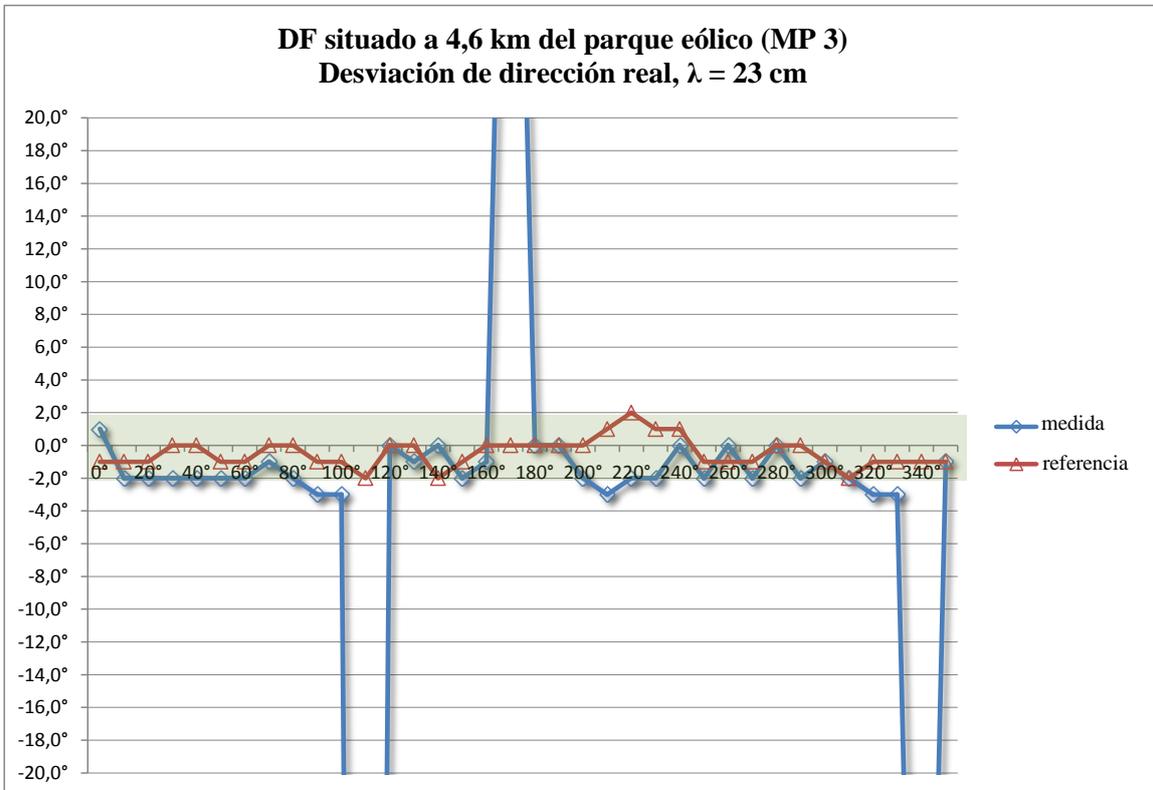
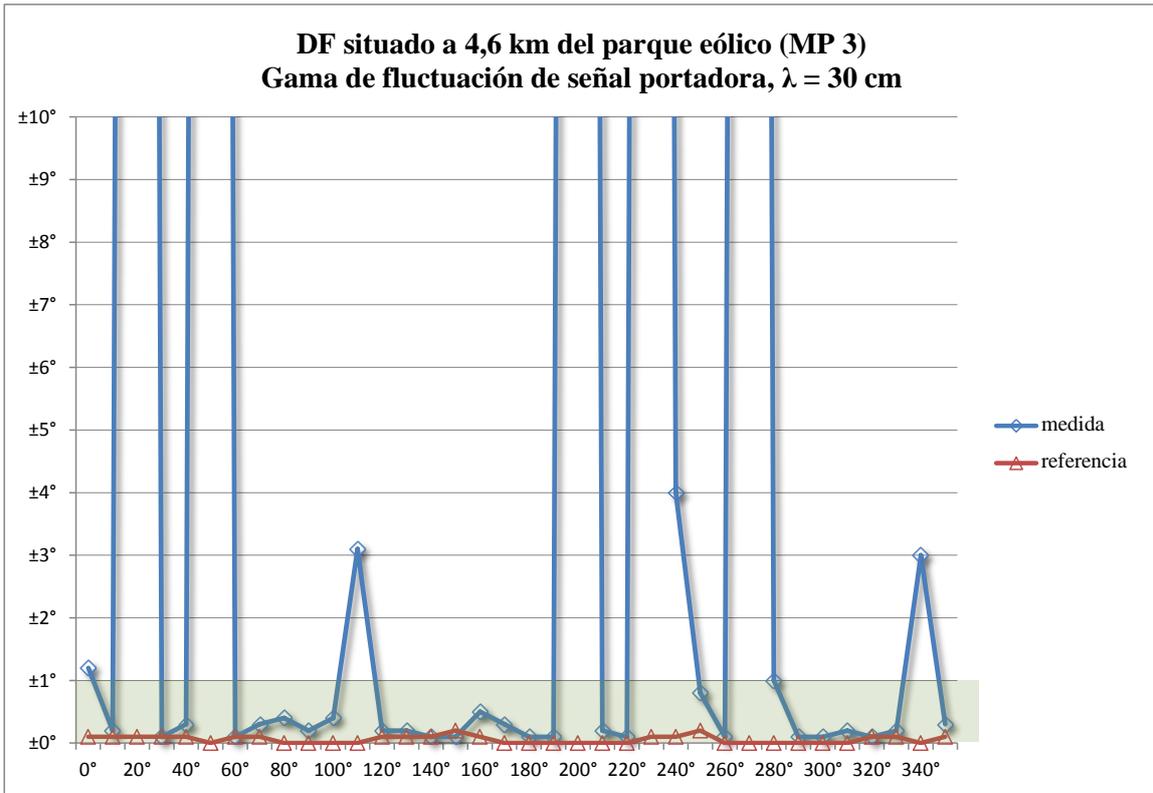
9.2.4 Radiogoniómetro situado a 4,6 km del parque eólico

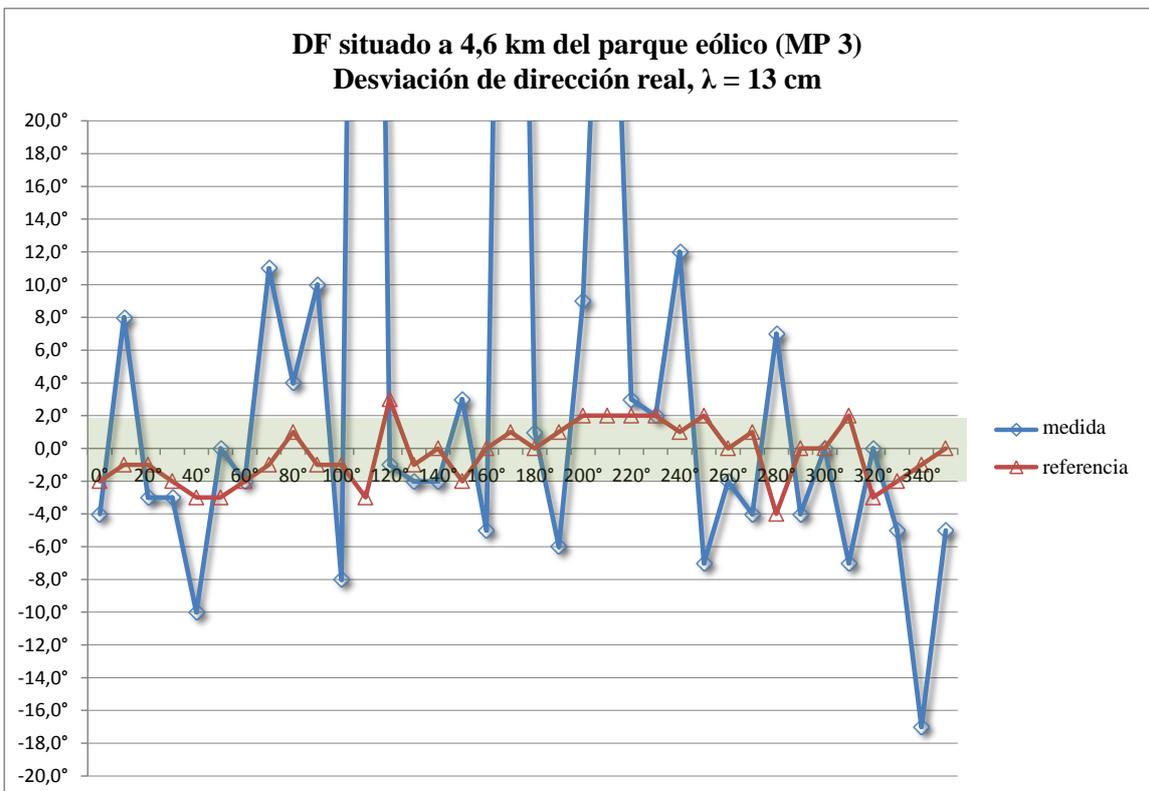
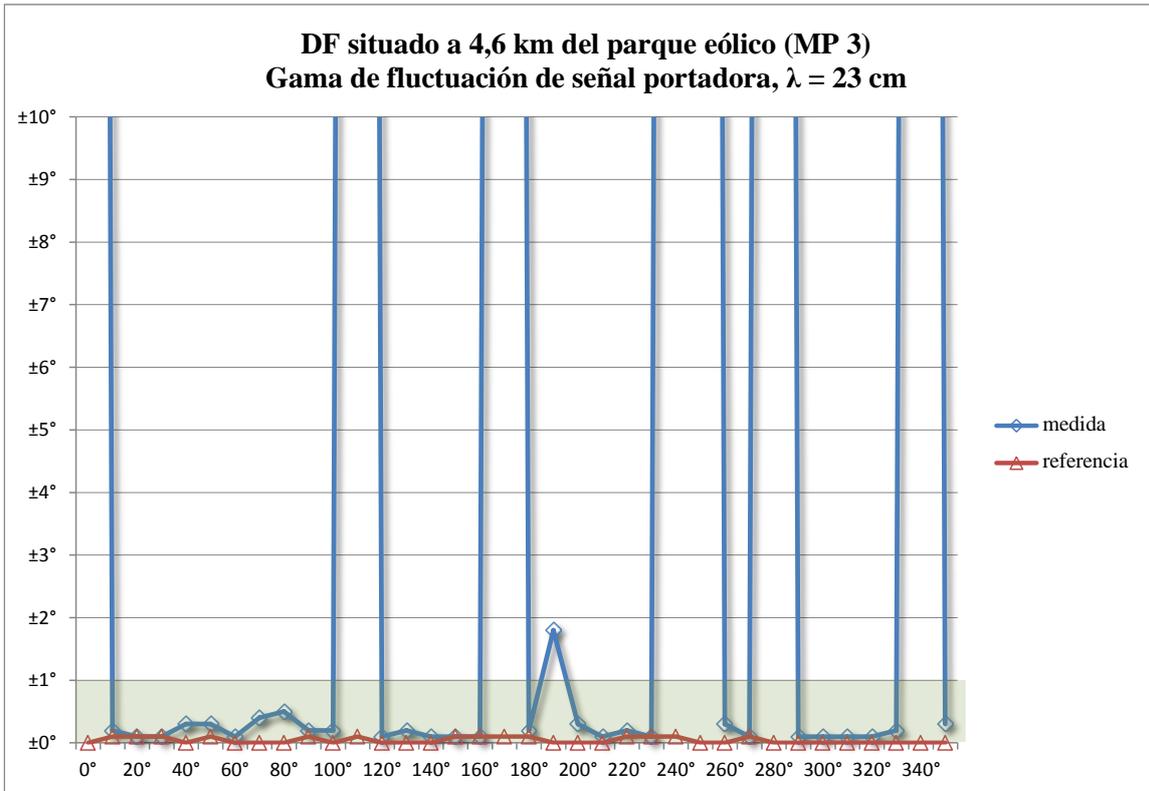


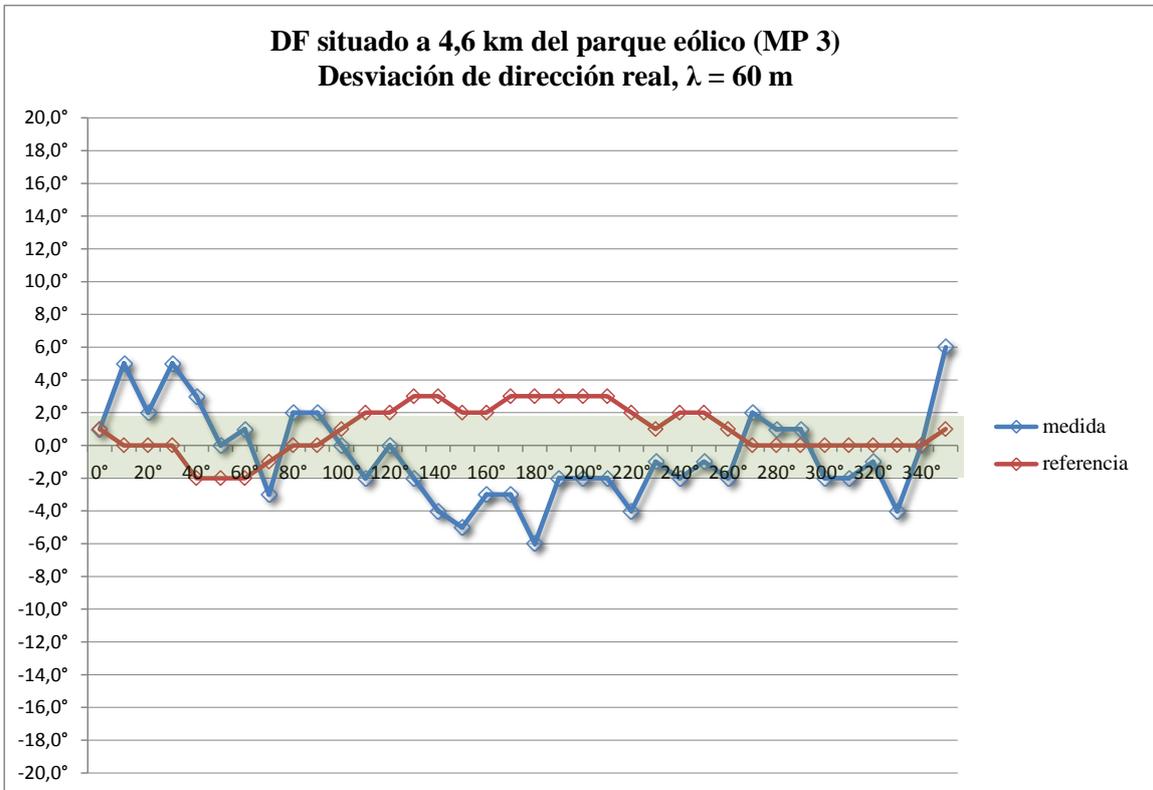
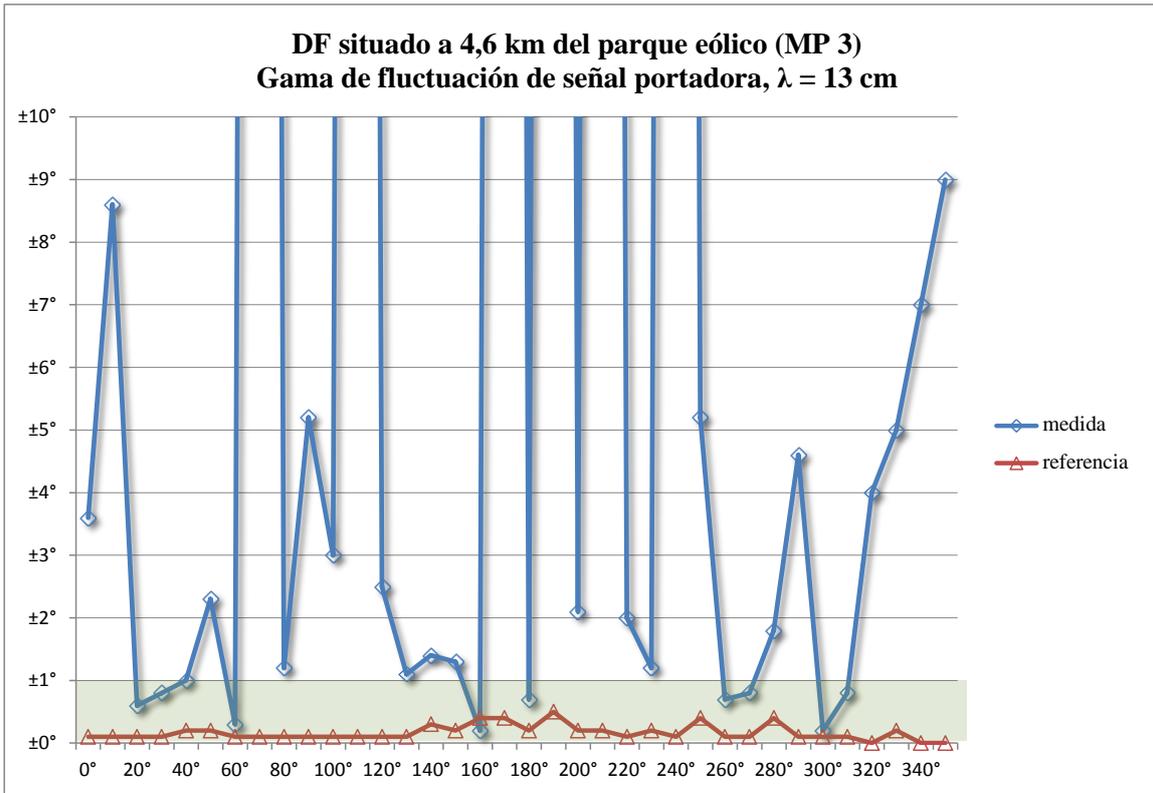


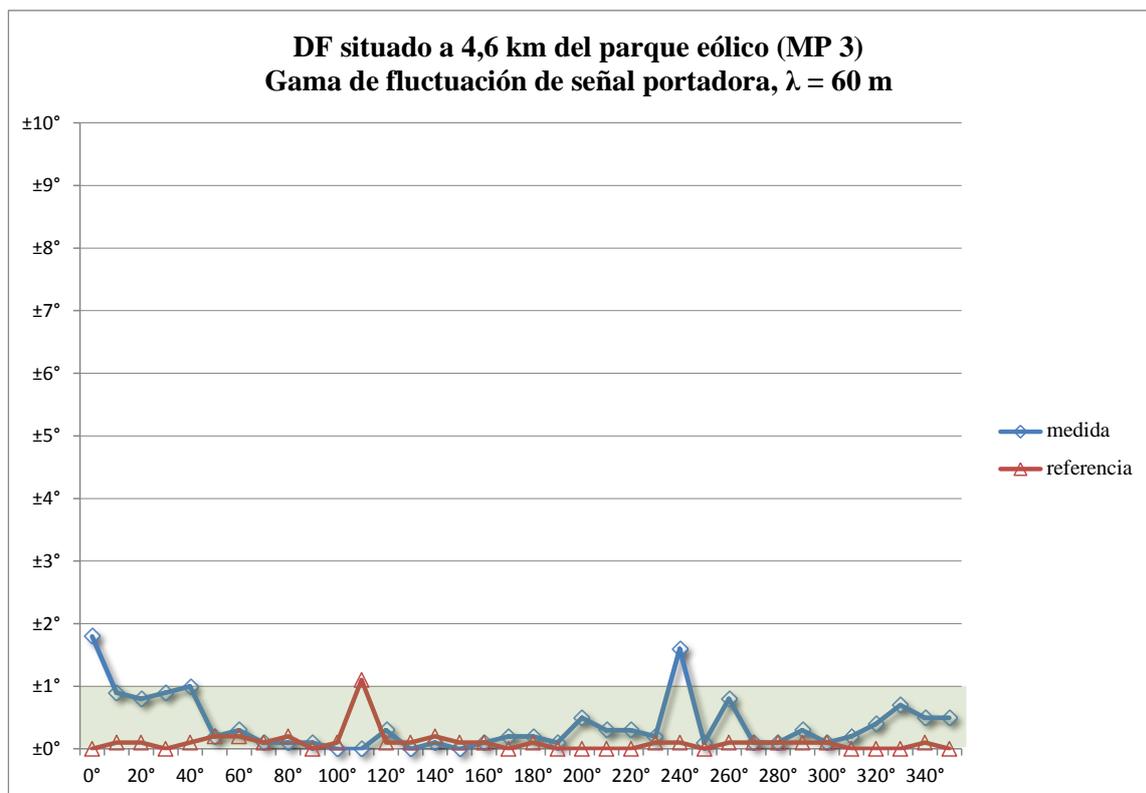












Cuando el radiogoniómetro se sitúa a 4,6 km del parque eólico se registran errores DF importantes en todas las bandas métricas y decimétricas.

En las bandas de 4 y 2 m, se observaron errores DF importantes en los cuatro cuadrantes. En definitiva, esos errores son algo menos pronunciados que los medidos a una distancia de 2,5 km (véase punto 9.2.3), si bien en la banda de 4 m se registraron errores DF incluso más pronunciados en la dirección contraria al parque eólico.

En la banda de 70 cm dejaron de observarse los errores DF particularmente importantes registrados a una distancia de 2,5 km en la dirección contraria al parque eólico. Por el contrario, los cuatro cuadrantes se vieron afectados por errores DF importantes, con la excepción de una pequeña gama de ángulos en la dirección del parque eólico. Ese hecho correspondía con las observaciones previas en las que, como resultado de una mayor distancia, el arco formado por el parque eólico es mucho más corto desde la perspectiva del radiogoniómetro.

En la banda de 30 cm volvieron a observarse errores DF muy importantes en la dirección contraria al parque eólico. Ahora bien, en una nueva prueba se registraron errores DF muy pronunciados en la dirección del parque eólico. Solo las gamas de ángulos estrechas perpendiculares al parque eólico presentan errores DF más pequeños, aunque importantes.

En la banda de 23 cm hay dos gamas de ángulos más grandes perpendiculares al parque eólico con solo errores DF pequeños. Por el contrario, en la gama de ángulos 230°-330° se observaron fluctuaciones muy pronunciadas en valores DF, con lo que solo podía utilizarse un sector en la dirección del parque eólico.

En las bandas de 13 cm, se observaron errores DF caóticos e interferencias importantes en los cuatro cuadrantes.

En el rango de ondas decamétricas también se registraron errores DF intolerables a esa distancia, en la dirección del parque eólico y la contraria. Ahora bien, esos problemas eran mucho menos pronunciados que los registrados a una distancia de 2,5 km. Llegados a este punto cabe mencionar

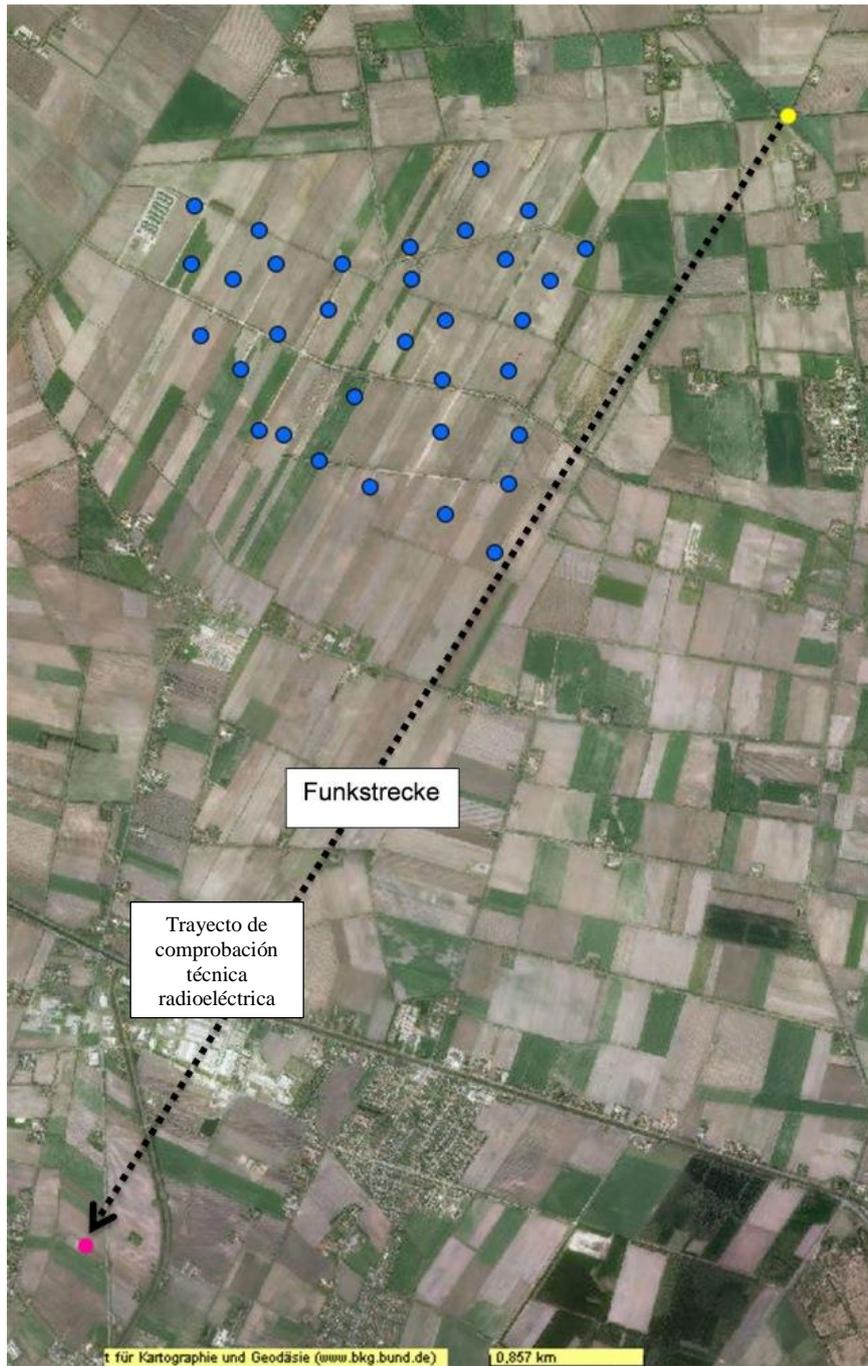
las explicaciones en el punto 9.1.2 en las que se plantea la cuestión de la transferibilidad de esas medidas al radiogoniómetro fijo de ondas decamétricas para las ondas ionosféricas.

Conclusión: Un radiogoniómetro fijo situado a 4,6 km del parque eólico no puede utilizarse en ninguna banda de ondas métricas ni ondas decimétricas.

10 Nivel de medición

Para examinar el efecto de las turbinas eólicas en los niveles de recepción, se estableció un trayecto de comprobación técnica radioeléctrica de unos 7,5 km de longitud y un barrido de la periferia sudeste del parque eólico en Haren. El objeto del examen es determinar cualquier nivel de fluctuación desde la ubicación del radiogoniómetro y localizar los efectos directos producidos por las turbinas eólicas de los alrededores.

Trayecto de comprobación técnica radioeléctrica donde se muestra la ubicación del radiogoniómetro (punto rojo) y el transmisor (punto amarillo)



Ubicación del transmisor para niveles de medición

Una turbina eólica funciona mejor cuando la velocidad del rotor se calibra según la velocidad del viento. En condiciones de trabajo de intensidad media (regulación de par), la velocidad de la punta y el ángulo de la hoja se optimizan de modo que la velocidad del rotor sea casi proporcional a la velocidad del viento. Las turbinas modernas de tres hojas funcionan una gama efectiva de 5 a 32 revoluciones/minuto. Las medidas de velocidad del rotor realizadas durante las medidas de nivel en el parque eólico de Haren mostraron una velocidad de rotación variable entre 5,1 y 6,5 segundos.

10.1 Sensibilidad del sistema

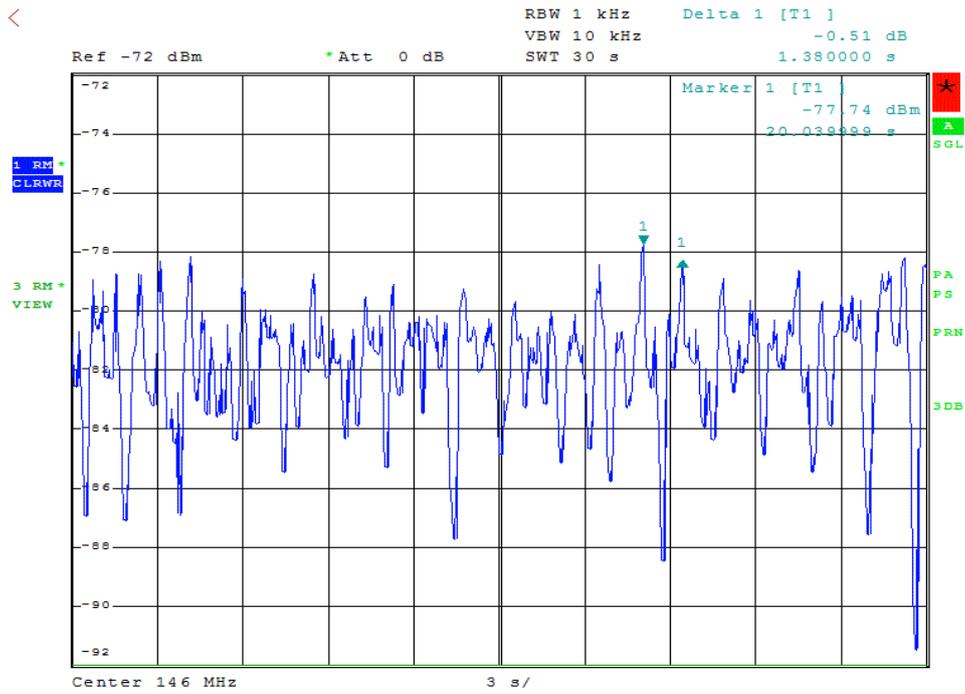
La sensibilidad del sistema receptor utilizado, compuesto de un analizador de espectro y una antena a plano de tierra sintonizada a la gama de frecuencias pertinente, es superior a -134 dBm para todas las frecuencias examinadas.

10.2 Registro dentro del dominio de tiempo

Para obtener una primera visión general del nivel de fluctuaciones se registraron inicialmente niveles en todas las gamas de frecuencias durante tres segundos dentro del dominio de tiempo (intervalo cero). Se utilizó una señal N0N como señal de prueba (portadora continua no modulada, potencia de transmisión continua/onda continua).

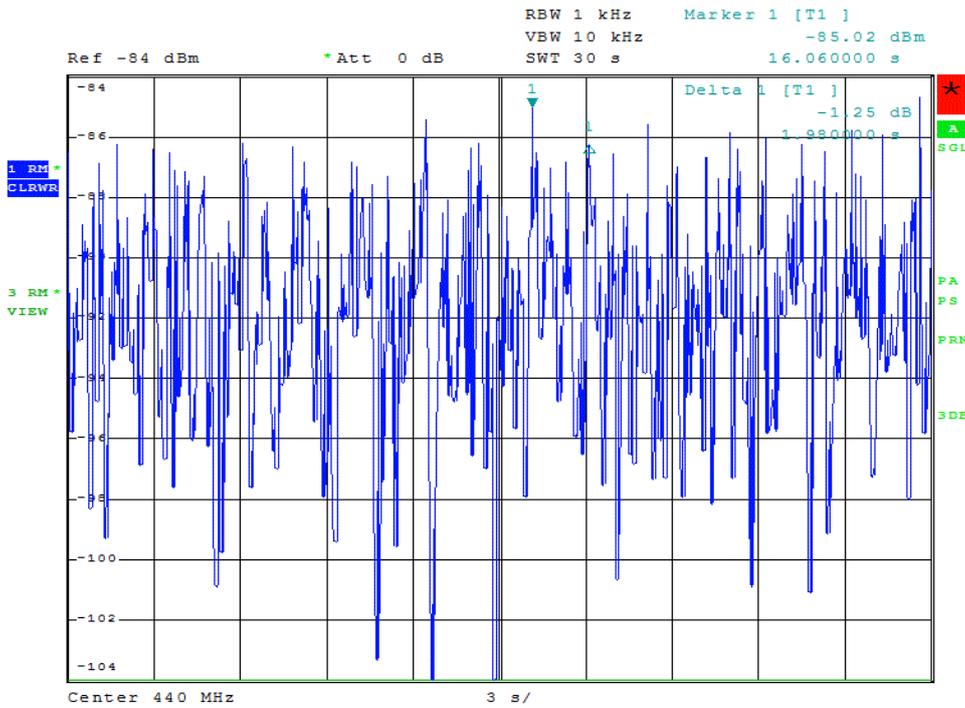
En las siguientes mediciones la curva azul representa el nivel de señal recibida, mientras que la verde representa la sensibilidad del sistema. En algunos casos, la señal recibida está tan por encima del ruido que ya no se ve la curva verde que muestra el ruido de fondo.

Banda de 2 m



Date: 8.FEB.2015 17:07:29

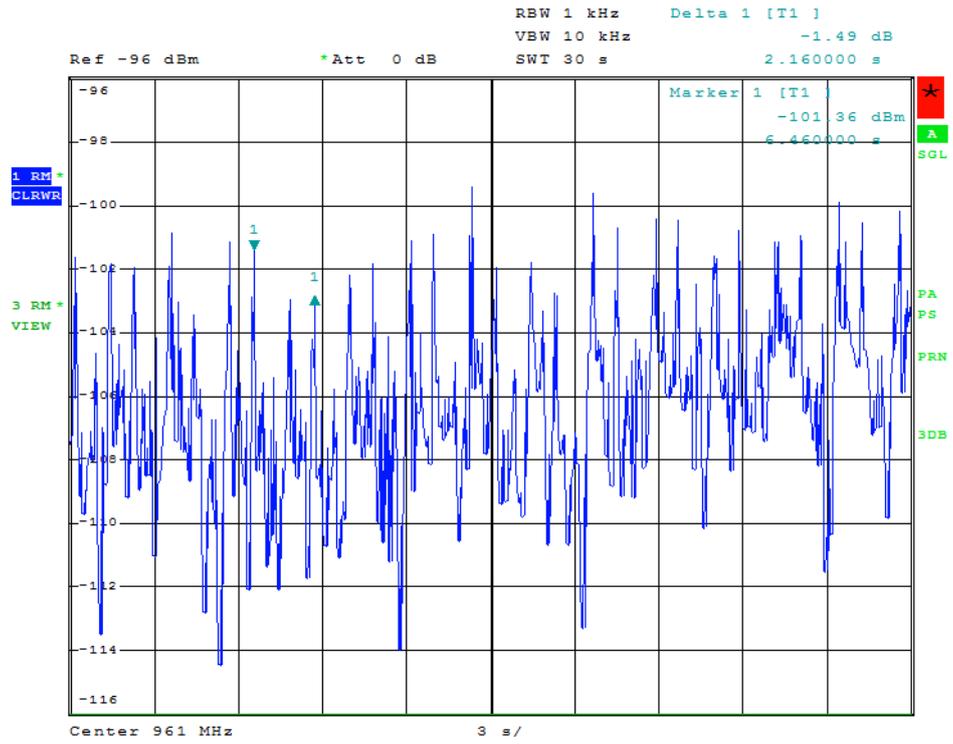
Banda de 70 cm



Date: 8.FEB.2015 16:45:42

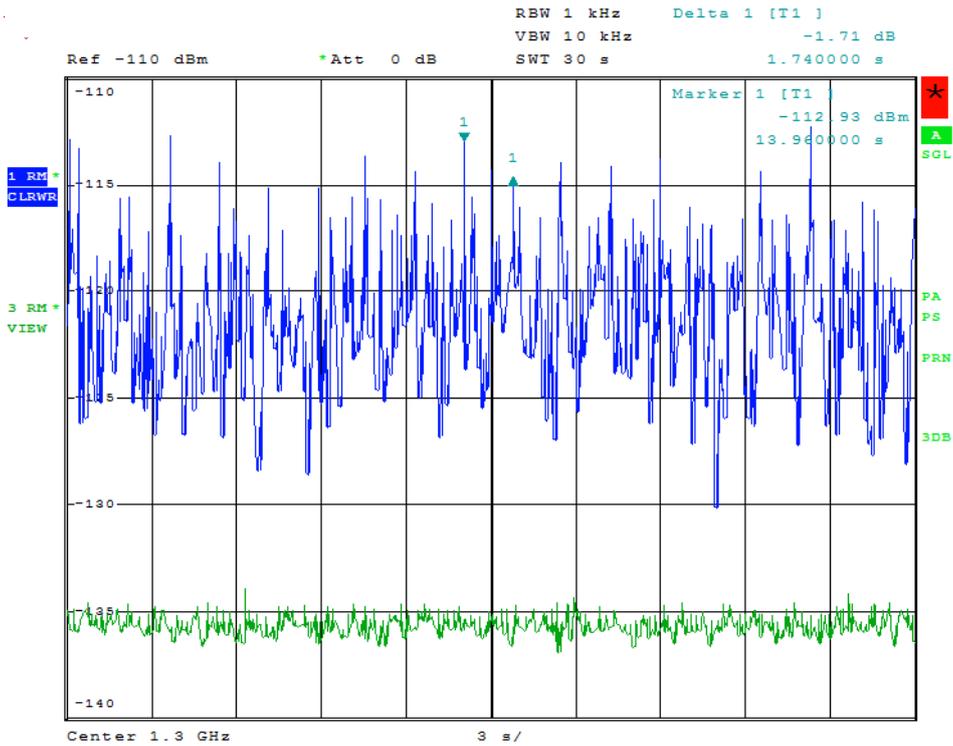
I. UIT-R SM.2391-0

Banda de 30 cm



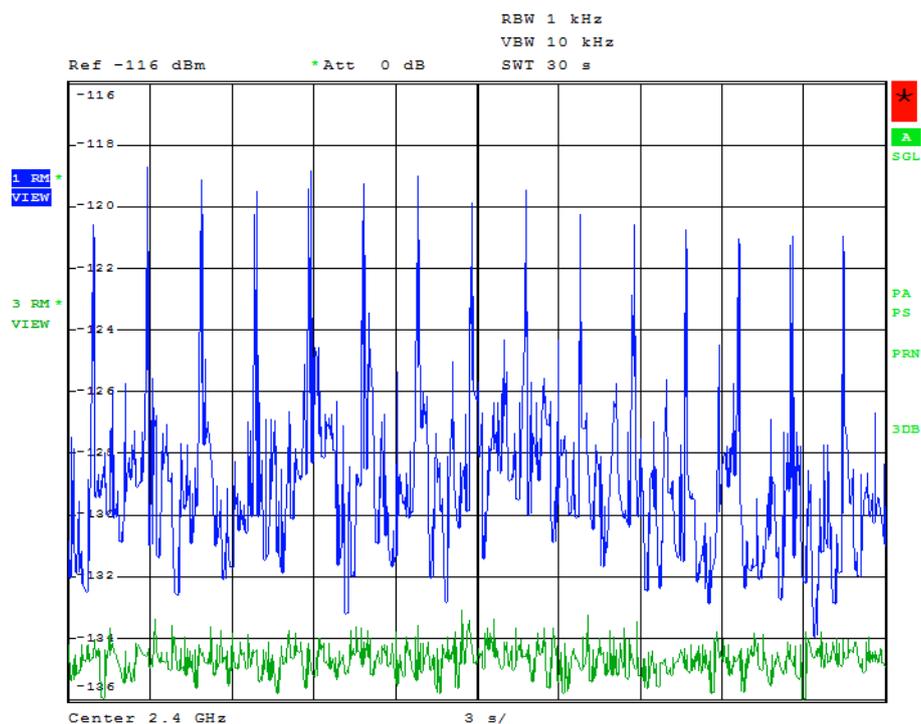
Date: 8.FEB.2015 16:24:49

Banda de 23 cm



Date: 8.FEB.2015 15:57:12

Banda de 13 cm



Date: 8.FEB.2015 15:26:16

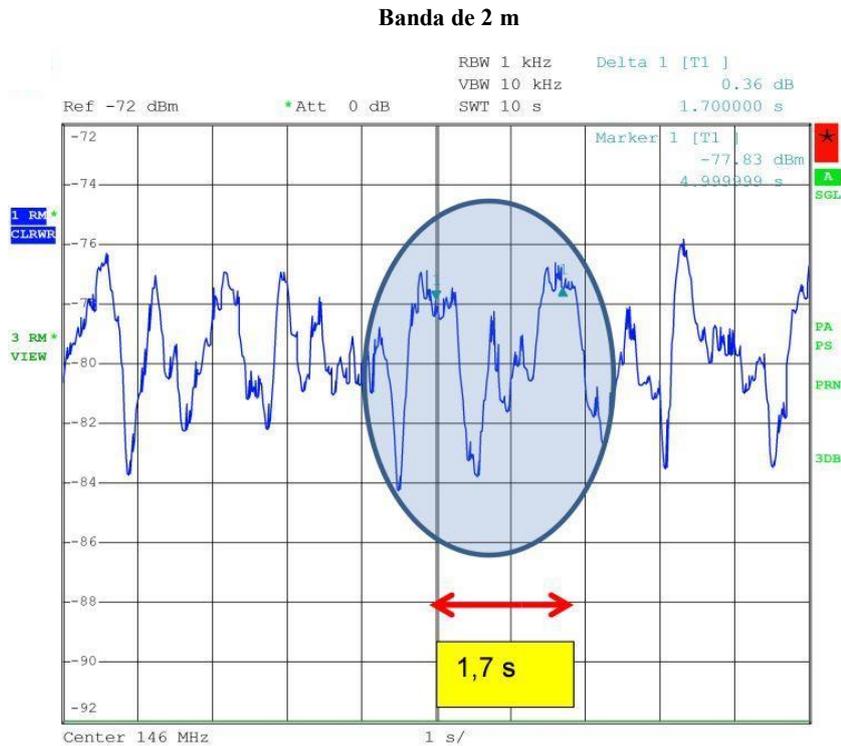
Es evidente que los niveles no solo suben (picos) y bajan (valles) en intervalos regulares sino que también se producen efectos de solapamientos como resultado de diferentes variables de interferencias. El desarrollo de los niveles parece estar fuertemente relacionado con la longitud de onda de la señal radioeléctrica.

Cuando se mide la distancia entre los picos, la diferencia de tiempo varía entre 1,7 y 2,16 segundos, lo que corresponde a la velocidad del rotor de 5,1 a 6,48 segundos (para turbinas de tres hojas). Estos valores medidos corresponden a las medidas puramente visuales de la velocidad de revolución del rotor de 5,1 a 6,5 segundos tomados durante el registro de los valores medidos. Ello sugiere que las hojas del rotor de las 29 turbinas eólicas parecen ser las responsables de esos picos y valles de nivel. Dependiendo de la longitud de onda, los efectos de las diversas hojas del rotor se solapan y generan niveles de fluctuación casi caóticos que dificultan la atribución de cada fluctuación de nivel a una hoja en particular. Los puntos temporales particularmente pronunciados se marcan con triángulos.

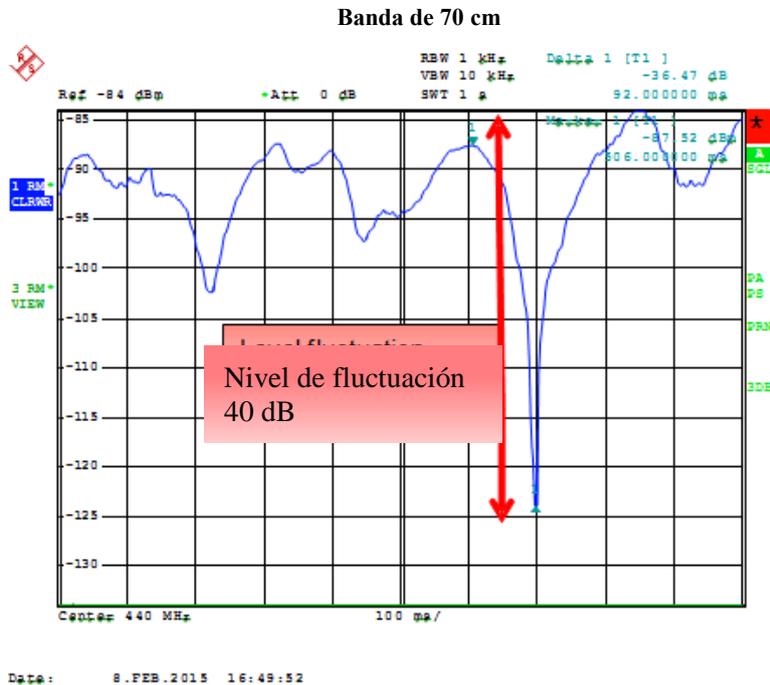
La diferencia entre los niveles máximo y mínimo, en ese caso medidos con un detector RMS, aumentan hasta 20 dB.

10.3 Análisis de nivel

Con tiempos de registro iguales o inferiores a un segundo, es todavía más evidente que cada pico puede agruparse y atribuirse a la misma causa.



A tasas de medición superiores, los resultados muestran que las fluctuaciones de nivel se acumulan hasta 40 dB. Desde un punto de vista práctico, eso significa que se cancelan entre sí.



El desarrollo temporal del nivel recibido ofrece más pruebas de que los valles de nivel no son una causa directa del bloqueo de la señal radioeléctrica por las hojas del rotor, algo que sería imposible en todo caso puesto que el trayecto de comprobación técnica radioeléctrica recorre la periferia del parque eólico. Por el contrario, las hojas del rotor originan reflejos que se solapan constantemente y que varían en polarización y duración, lo que da como resultado una recepción multitrayectos. En caso de una superposición de fase opuesta de múltiples trayectos de recepción, los trayectos casi se cancelan entre sí. Así, en principio, son posibles valles de nivel incluso más pronunciados que los documentados aquí.

Bajo las condiciones de recepción descritas ya no es posible realizar mediciones calibradas de intensidad de campo. Tampoco es posible la decodificación de las señales moduladas digitalmente.

En todo caso se produce una pérdida importante de sensibilidad en la decodificación de las señales moduladas analógica y digitalmente que no puede compensarse del todo con medidas técnicas (por ejemplo, mejora de antenas con mayor ganancia).
