

# Efecto en medidas radar 3-POL del diagrama de radiación contrapolar

Jose Manuel Pidre Mosquera, María Vera Isasa, Verónica Santalla del Río

jpudre@uvigo.es, mirentxu@uvigo.es, veronica@uvigo.es

Dpto. de Teoría de Sinal e Comunicacions. Universidade de Vigo.

ETSE de Telecomunicacions. Lagoas (Marcosende) s/n. 36310 Vigo (Pontevedra)

**Abstract- Current meteorological radars obtain detailed precipitation data from polarimetric measurements. The 3-POL scheme provides fully polarimetric and Doppler measurements by means of alternate transmission of three different polarizations.**

**Bias analysis and correction in meteorological radar polarimetric measurements is one of the most challenging issues and the subject of this research. Poor antenna's polarization purity is known to be responsible for errors in the estimation of the hydrometeor full-scattering matrix, and consequently in the hydrometeor classification.**

**This document evaluates the differential reflectivity and the copolar correlation coefficient biases due to cross-polar radiation when using the 3-POL scheme. In order to advance towards a more realistic scenario, the calculations in this research are performed using antenna copolar and cross-polar pattern measurements from operational weather radars. The results reveal that the 3-POL scheme guarantees a tolerable bias level even with the poorest antenna's performance.**

## I. INTRODUCCIÓN

El radar meteorológico polarimétrico permite la caracterización de las condiciones atmosféricas mediante la medida de la dispersión de los hidrometeoros cuando incide sobre ellos una onda electromagnética. La señal dispersada y, por tanto, recibida por el radar depende del agente meteorológico presente (lluvia, nieve, granizo, ...), de la intensidad de la precipitación y de la polarización empleada por el radar (tanto en transmisión como en recepción).

Un sistema completamente polarimétrico transmite alternativamente una polarización o su ortogonal y recibe simultáneamente ambas polarizaciones, pero por diferentes canales de recepción; en lo que se denomina comúnmente como modo ATSR (Alternative Transmission Simultaneous Reception). Este modo de funcionamiento permite medir los cuatro términos de la matriz de dispersión del blanco que, en el caso de utilizar la base de polarización h-v (horizontal-vertical), serían  $S_{hh}$ ,  $S_{hv}$ ,  $S_{vh}$  y  $S_{vv}$ , los dos primeros representan la relación entre las componentes dispersadas con polarizaciones horizontal y vertical respectivamente, si la polarización incidente es horizontal. Análogamente los dos últimos representan las componentes dispersadas si la polarización incidente es vertical.

La necesidad de métodos robustos de estimación frente a la variabilidad temporal de la dispersión de los hidrometeoros ha llevado a la propuesta de un sistema que emplea tres polarizaciones [1], cuyas ventajas e inconvenientes frente a otros modos de funcionamiento se analizan en [2]. El método, denominado 3-POL, se basa en la transmisión alternativa de tres polarizaciones y la recepción

simultánea de la copolar y la contrapolar de la polarización transmitida.

Sea cual sea el modo de funcionamiento es importante mantener la pureza de polarización de las antenas empleadas en el radar para que su funcionamiento no influya en las medidas realizadas y por tanto en la obtención de los parámetros polarimétricos que permiten estimar las condiciones climáticas.

En [3] se obtuvieron expresiones para el sesgo de la reflectividad diferencial  $Z_{dr}$  y del coeficiente de correlación copolar  $\rho_{hv}$  en función del nivel de aislamiento de polarización cruzada [4]. A partir de las mismas se evaluó cuan robusto es el método frente a la utilización de antenas no ideales, y se comparó con los resultados obtenidos para otros modos de funcionamiento [5][6].

En este artículo se completa el estudio anterior, analizando el sesgo de la reflectividad diferencial  $Z_{dr}$  y del coeficiente de correlación copolar  $\rho_{hv}$  cuando se emplean diagramas de radiación copolar y contrapolar típicos para las antenas parabólicas que se emplean en los radares meteorológicos polarimétricos. [5][7].

## II. DIAGRAMAS DE RADIACIÓN DE RADARES METEOROLÓGICOS

La mayoría de los radares meteorológicos que están en funcionamiento en la actualidad, emplean un reflector parabólico con orientación electro-mecánica [7] [8]. Cuando este tipo de antenas se alimenta en su centro, suelen presentar un diagrama de radiación contrapolar formado por 4 lóbulos distribuidos simétricamente alrededor de la dirección de máxima radiación del diagrama copolar. [9]. En la dirección broadside, la de máxima radiación del diagrama copolar, el diagrama contrapolar tiene un nulo.

Debido a que en la práctica tanto las bocinas de alimentación como los reflectores parabólicos presentan imperfecciones constructivas, y además se ven afectados por la presencia de sus propias estructuras de soporte, los diagramas de radiación contrapolar medidos por diversos autores [7][8] no se corresponden con el modelo anteriormente explicado. En dichas medidas, el diagrama contrapolar presenta un lóbulo adicional en la misma dirección angular que el haz principal del diagrama copolar.

Para analizar separadamente el efecto de este nuevo lóbulo contrapolar, *coaxial* con el copolar, se propone como segundo caso el tipo de diagrama contrapolar que se identificará como coaxial [6].

### A. Diagrama copolar

La ganancia de potencia copolar de un reflector parabólico con alimentación centrada, se va a aproximar mediante una función gaussiana:

$$g_c(\theta, \varphi) = g_c e^{-4 \ln(2) \frac{\theta^2}{\theta_c^2}} \quad (1)$$

donde  $g_c$  es la ganancia máxima y  $\theta_c$  es el ancho de haz a potencia mitad. Esta función se muestra en la Fig. 1 en color negro y línea continua.

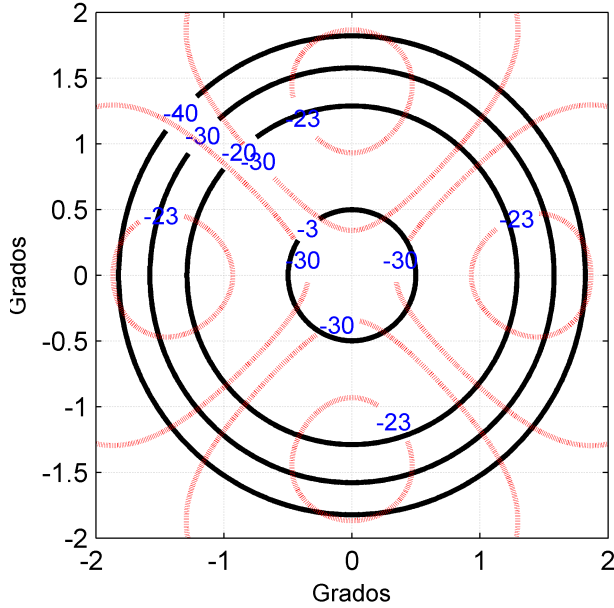


Fig. 1. Diagramas de radiación en decibelios y normalizados de un reflector parabólico de alimentación centrada. Copolar en negro y línea continua, y contrapolar en rojo y línea discontinua. Caso de 4 lóbulos.  $G_c=45.6$  dB,  $G_x=25.3$  dB,  $\theta_c=1^\circ$ ,  $\theta_x=2^\circ$ ,  $\theta_p=1.04^\circ$ . Se pueden observar los 4 lóbulos del diagrama contrapolar en las direcciones de azimut  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$ .

### B. Diagrama contrapolar de 4 lóbulos

La ganancia de potencia contrapolar de una antena parabólica con alimentación centrada se expresa como una función con 4 lóbulos gaussianos. Cada uno de estos lóbulos se calcularía con la siguiente ecuación:

$$g_x(\theta, \varphi) = g_x e^{-4 \ln(2) \frac{(\theta - \theta_p)^2 + (\varphi - \varphi_p)^2}{\theta_x^2}} \quad (2)$$

donde  $g_x$  es la ganancia máxima de la componente contrapolar y  $\theta_x$  es el ancho de haz a potencia mitad. A su vez  $\theta_p$  es el ángulo que forman los lóbulos con respecto al máximo de la componente copolar, y  $\varphi_p$  los 4 ángulos de azimut, separados entre sí  $90^\circ$ , donde se encuentran los máximos de radiación contrapolar.

Este tipo de diagrama se muestra normalizado en la Fig. 1, y será uno de los dos casos a considerar en este artículo. Los parámetros de estos diagramas copolar y contrapolar de la antena del radar KOUN, el radar meteorológico en banda S de la NOA-NSSL, han sido publicados en [7] y se recogen en la tabla 1.

$G_c$	45.6 dB
$\theta_c$	$1^\circ$
$\theta_p$	$1.04^\circ$
$G_x$	12.2 dB
$\theta_x$	$1^\circ$

Tabla 1. Parámetros de los diagramas de radiación copolar y contrapolar de la antena del radar KOUN.

### C. Diagrama contrapolar coaxial.

El diagrama de radiación contrapolar coaxial se representa como una función gaussiana con un máximo de radiación en la dirección broadside.

La componente contrapolar se diferenciará de la copolar en el valor de la ganancia máxima  $g_x$  y en el ancho de haz a potencia mitad  $\theta_x$ :

$$g_x(\theta, \varphi) = g_x e^{-4 \ln(2) \frac{\theta^2}{\theta_x^2}} \quad (3)$$

La Fig. 2 muestra el diagrama copolar y contrapolar para este segundo caso.

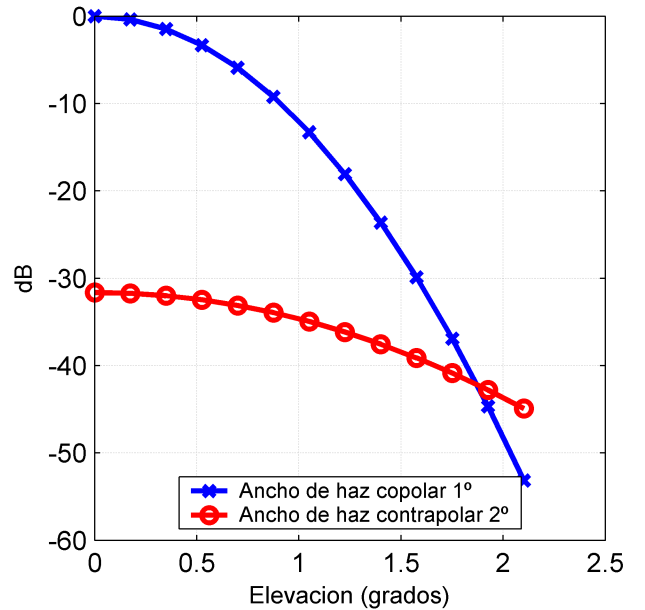


Fig. 2. Diagramas de radiación en decibelios y normalizados, copolar y contrapolar, de un reflector parabólico de alimentación centrada. Caso coaxial.  $G_c=45.6$  dB,  $G_x=14$  dB,  $\theta_c=1^\circ$ ,  $\theta_x=2^\circ$

## III. RESULTADOS

Para calcular el máximo sesgo introducido en la estimación de los parámetros polarimétricos con el método 3-POL [10], se compararon los valores asociados a cada fenómeno atmosférico que teóricamente deberían obtenerse, con los que se obtuvieron para las diferentes combinaciones de diagrama contrapolar y diferencia entre la fase de cada diagrama [3]. Alguno de los valores representativos para cada tipo de hidrometeoro [11] se recogen en la Tabla 2.

	Llovizna	Lluvia	Nieve húmeda	Pedrisca	Nieve seca	Granizo
$Z_{dr}$	0 dB	2.5 dB	1.5 dB	-1.2 dB	0.25 dB	0dB
$ \rho_{hv} $	0.99	0.98	0.88	0.98	0.99	0.97

Tabla 2. Valores típicos de los diferentes tipos de hidrometeoros.

Para estudiar la dependencia del sesgo, se considera que el diagrama de radiación copolar siempre es el mismo, de acuerdo con la ecuación (1) y los valores de la Tabla 1.

Para cada valor de ganancia máxima de diagrama contrapolar  $g_x$  se calcula la relación de pico polar-contrapolar como:

$$XPL [dB] = -10 \log_{10} \frac{g_x}{g_c} \quad (4)$$

Cabe destacar que este último parámetro coincide con el nivel de discriminación polar-contrapolar XPD en el caso coaxial.

Cada valor de XPL estará asociado a un ancho de haz a potencia mitad del diagrama contrapolar,  $\theta_x$ , que es distinto para el modo coaxial y para el caso de los 4 lóbulos.

#### A. Reflectividad diferencial

En la Fig. 3 y la Fig. 4 podemos observar el nivel de sesgo máximo en la estimación de la reflectividad diferencial  $\Delta Z_{dr}$  en función de la relación de pico polar-contrapolar XPL: la Fig. 3 muestra el caso del diagrama coaxial y la Fig. 4 el del diagrama de 4 lóbulos. Dado que el límite tolerable es de 0.1 dB [8][5], se observa que incluso para valores tan bajos de XPL como 10dB, no se rebasaría dicho límite.

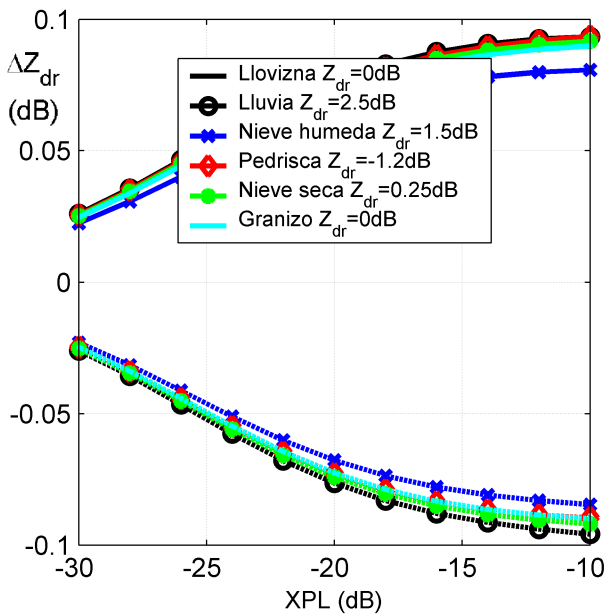


Fig. 3. Máximo sesgo de la reflectividad diferencial en función de la relación de pico polar-contrapolar para el caso coaxial, y diferentes tipos de hidrometeoros: llovizna ( $Z_{dr}=0$ dB), lluvia ( $Z_{dr}=2.5$ dB), nieve húmeda ( $Z_{dr}=1.5$ dB), pedrisca ( $Z_{dr}=-1.2$ dB), nieve seca ( $Z_{dr}=0.25$ dB) y granizo ( $Z_{dr}=0$ dB).

Si comparamos la Fig. 1 con la Fig. 2, se puede observar que en el intervalo angular cubierto por el ancho de haz del diagrama copolar, los valores del diagrama contrapolar son mucho más reducidos en el caso de los 4 lóbulos que en el caso coaxial. Eso explica porqué los niveles máximos de

error en la Fig.4, caso de 4 lóbulos, son mucho más reducidos que en el caso coaxial, Fig. 3.

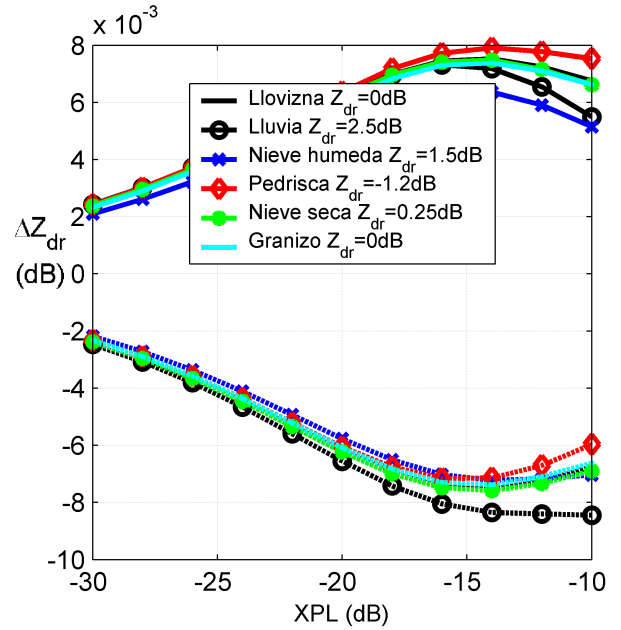


Fig. 4. Máximo sesgo de la reflectividad diferencial en función de la relación de pico polar-contrapolar para el caso de 4 lóbulos, y diferentes tipos de hidrometeoros: llovizna ( $Z_{dr}=0$ dB), lluvia ( $Z_{dr}=2.5$ dB), nieve húmeda ( $Z_{dr}=1.5$ dB), pedrisca ( $Z_{dr}=-1.2$ dB), nieve seca ( $Z_{dr}=0.25$ dB) y granizo ( $Z_{dr}=0$ dB).

#### B. Coeficiente de correlación copolar

En la Fig. 5 y la Fig. 6 podemos observar el nivel de sesgo máximo del coeficiente de reflectividad diferencial  $|\rho_{hv}|$  en función de la relación de pico polar-contrapolar XPL: la Fig. 5 muestra el caso del diagrama coaxial y la Fig. 6 el del diagrama de 4 lóbulos. Dado que el límite tolerable es del 1% [6], se observa que incluso para valores tan bajos de XPL como 10dB, no se rebasaría dicho límite.

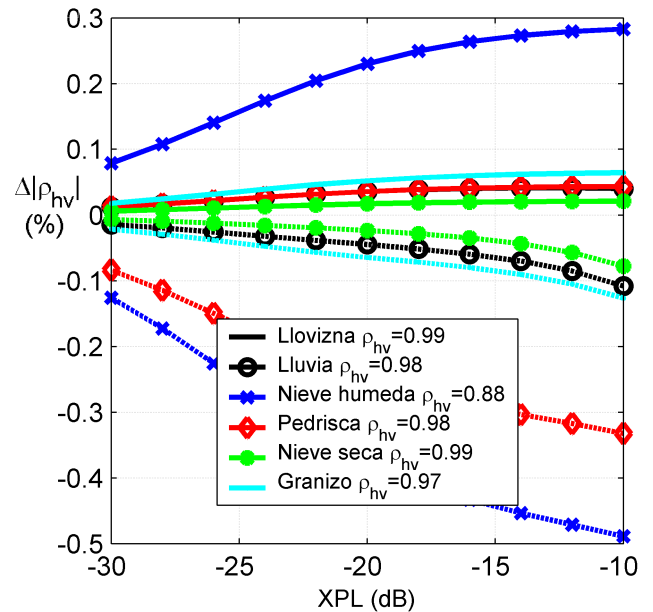


Fig. 5. Máximo sesgo del coeficiente de correlación copolar en función de la relación de pico polar-contrapolar para el caso coaxial, y diferentes tipos de hidrometeoros: llovizna ( $Z_{dr}=0$ dB), lluvia ( $Z_{dr}=2.5$ dB), nieve húmeda ( $Z_{dr}=1.5$ dB), pedrisca ( $Z_{dr}=-1.2$ dB), nieve seca ( $Z_{dr}=0.25$ dB) y granizo ( $Z_{dr}=0$ dB).

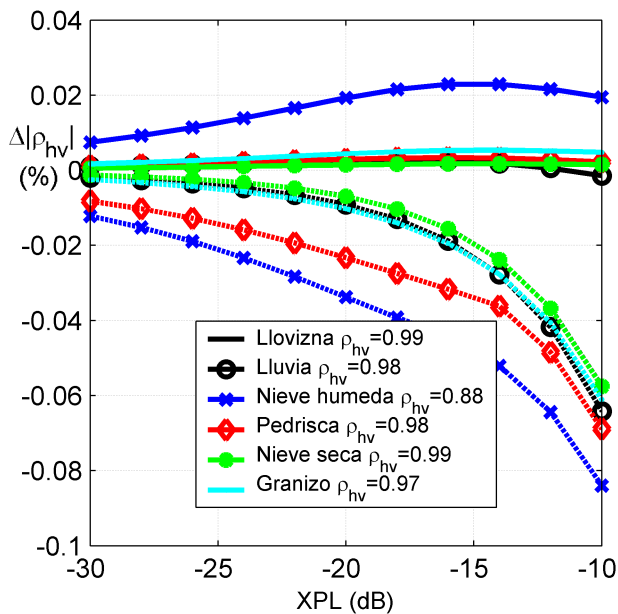


Fig. 6. Máximo sesgo del coeficiente de correlación copolar en función de la relación de pico polar-contrapolar para el caso de 4 lóbulos, y diferentes tipos de hidrometeoros: llovizna ( $Z_{dr}=0$ dB), lluvia ( $Z_{dr}=2.5$ dB), nieve húmeda ( $Z_{dr}=1.5$ dB), pedrisca ( $Z_{dr}=-1.2$ dB), nieve seca ( $Z_{dr}=0.25$ dB) y granizo ( $Z_{dr}=0$ dB).

#### CONCLUSIONES

En el radar polarimétrico meteorológico es necesario evaluar el impacto del diagrama de radiación contrapolar de las antenas empleadas, ya que puede introducir error en la estimación de los parámetros meteorológicos, que a su vez podría conducir a interpretaciones incorrectas de las condiciones meteorológicas presentes en el espacio bajo exploración.

En este estudio se ha evaluado el error máximo introducido en la medida de la reflectividad diferencial y del coeficiente de correlación copolar con el método 3-POL, empleando modelos basados en medidas reales de los diagramas de radiación copolar y contrapolar de antenas de radares meteorológicos.

Los resultados confirman que, incluso con diagramas de radiación de elevada componente contrapolar, el error máximo que se puede llegar a cometer en la estimación de ambos parámetros polarimétricos, está por debajo de los límites establecidos para garantizar predicciones meteorológicas exactas.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y la Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria bajo el proyecto CN 20112/260 "Consolidación de unidades de investigación competitivas: AtlanTIC" y por el Ministerio de Ciencia e Innovación bajo el proyecto TEC2011-28789-C02-02.

#### REFERENCIAS

- [1] G.C. McCormick, "On the completeness of polarization diversity measurements", *Radio Science*, vol. 24, pp. 511-518, 1989
- [2] V. Santalla and Y. M. M. Antar, "A comparison between different polarimetric measurement schemes", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, pp. 1007-1017, May, 2002.
- [3] J.M. Pidre, M. Vera and V. Santalla, "Requisitos de contrapolar para radar meteorológico en modo 3-pol" *Actas del XXVIII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*. Santiago de Compostela. 2013
- [4] Y. Wang and V. Chandrasekar, "Polarization isolation requirements for linear dual-polarization weather radar in simultaneous transmission mode of operation", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, pp. 2019-2028, 2006.
- [5] D. S. Zrnica, R. J. Doviak, G. Zhang and A. Ryzhkov, "Bias in differential reflectivity due to cross coupling through the radiation patterns of polarimetric weather radars", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 27, pp. 1624-1637, October 2010.
- [6] M. Galletti and D. S. Zrnica, "Bias in copolar correlation coefficient caused by antenna radiation patterns" *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, n° 6, pp. 2274-2280, June 2011.
- [7] R.J. Doviak, V. Bringi, A. Ryzhkov, A. Zahrai and D. Zrnica, "Considerations for Polarimetric Upgrades to Operational WSR-88D Radars", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 17, pp. 257-278, March 2000.
- [8] D. Brunkow, V.N. Bringi, P.C. Kennedy, S.A. Rutledge, V. Chandrasekar, E.A. Mueller and R.K. Bowie, "A description of the CSU-CHILL National Radar facility", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 17, pp. 1596-1608, December 2000.
- [9] A.Z. Frandin, *Microwave antennas*, Pergamon Press, 1961. pp. 668
- [10] V. Santalla del Rio, "Least squares estimation of Doppler and polarimetric parameters for weather targets", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 45, pp. 3760-3772, November 2007.
- [11] NOAA National Weather Service (NWS), "WSR-88D Dual-Polarization Radar Decision Aid", *Dual-Polarization Radar Training for NWS Partners*, <http://www.wdtdb.noaa.gov/courses/dualpol/Outreach/DualPol-Flipchart.pdf>