



→ Calidad ambiental y salud

# ANTENAS REFLECTORAS PLANAS EN TECNOLOGÍA IMPRESA PARA RADARES METEOROLÓGICOS

Eduardo M. de Rioja y del Nido

CONAMA2016



## → Índice

- 1) Radares meteorológicos
- 2) Antenas reflectoras planas en tecnología impresa (reflectarrays)
- 3) Aplicación de los reflectarrays a los radares meteorológicos
- 4) Conclusiones



ANTENAS REFLECTORAS PLANAS... PARA RADARES METEOROLÓGICOS

# Radares meteorológicos



# 01 Radares meteorológicos

CONAMA2016



## → Fundamentos

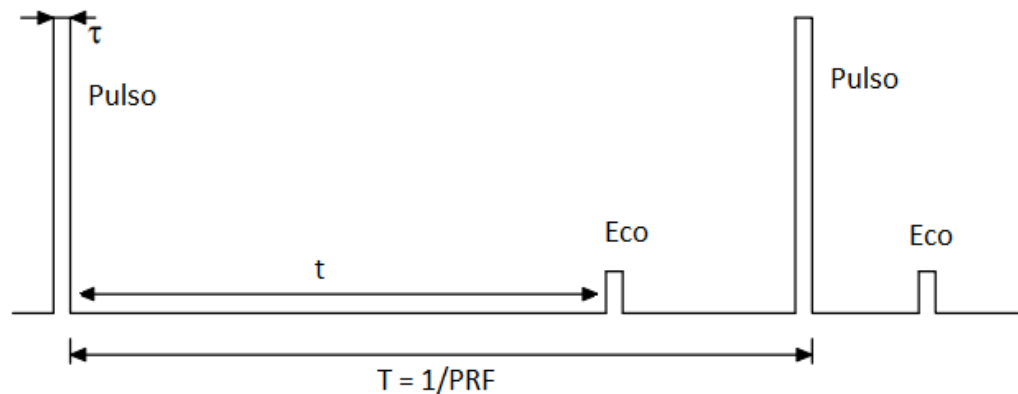
- Radar primario para detección de blancos.
- Recibe los ecos generados por los objetos reflectores situados en su campo de visión.
- Antena: reflector parabólico con barrido mecánico en azimut y elevación.
- Bandas de frecuencia: 2-12 GHz



$$d = \frac{c \cdot t}{2}$$

$$R_{mna} = \frac{c}{2 \cdot PRF}$$

$$f_d = \frac{2 \cdot V \cdot \cos \theta}{\lambda}$$





## → Medidas

- La magnitud medida por un radar meteorológico es la reflectividad (Z):

$$Z = \int_0^{\infty} N(D) \cdot D^6 dD$$

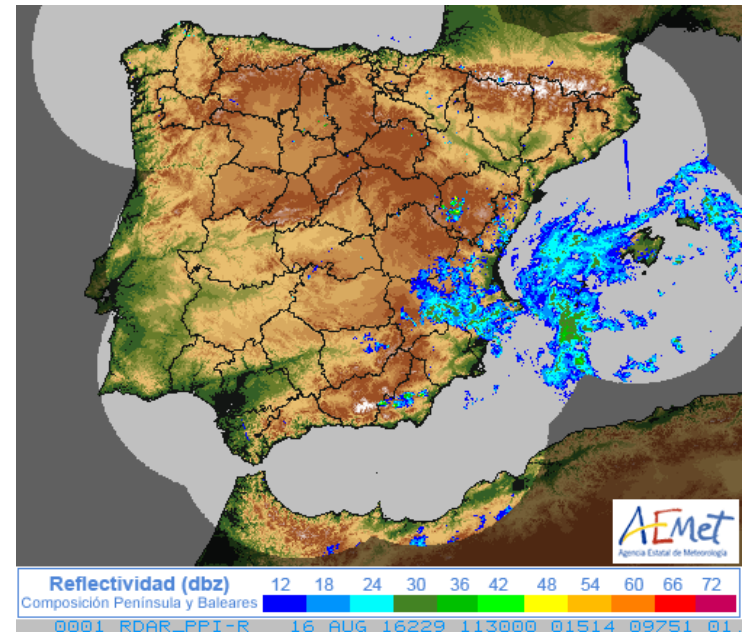
- Intensidad de lluvia (R):

$$R = \frac{\pi}{6} \int_0^{\infty} V(D) \cdot N(D) \cdot D^3 dD$$

- Fórmula de Marshall-Palmer:

$$Z = a \cdot R^b$$

Medida de la reflectividad (dBZ) para la Península Ibérica

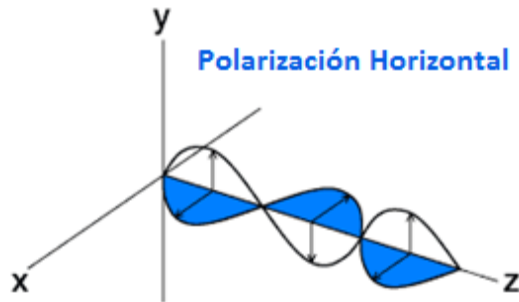


$$P_r = cte \cdot \frac{P_t \cdot \tau \cdot f_p^2 \cdot G^2}{d^2} \cdot Z$$



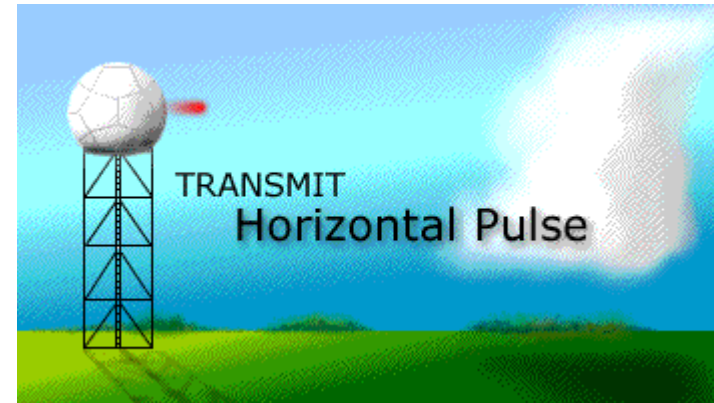
## → Radares polarimétricos

La polarización de una onda viene dada por la dirección de variación del vector de campo eléctrico.

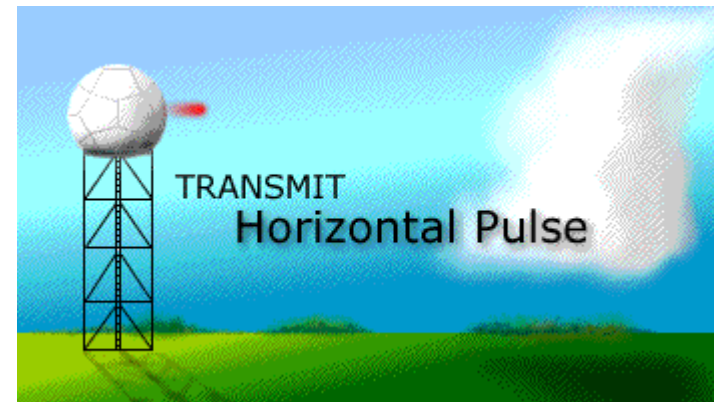


- Los radares tradicionales operan en polarización horizontal.
- Recientemente, aparecen los radares polarimétricos o de doble polarización, con mejores prestaciones.

Radar meteorológico convencional



Radar polarimétrico (doble polarización)





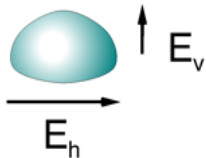
## → Ventajas de la polarimetría

El radar polarimétrico permite trabajar con nuevas magnitudes:

- Reflectividad diferencial ( $Z_{DR}$ )
- Coeficiente de correlación cruzada ( $\rho_{HV}$ )
- Fase diferencial específica ( $\theta_{dp}$ )

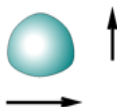
Desarrollo de nuevos Algoritmos de Clasificación de Hidrometeoros (HCA).

Heavy Rain ( $>30 \text{ mm h}^{-1}$ )



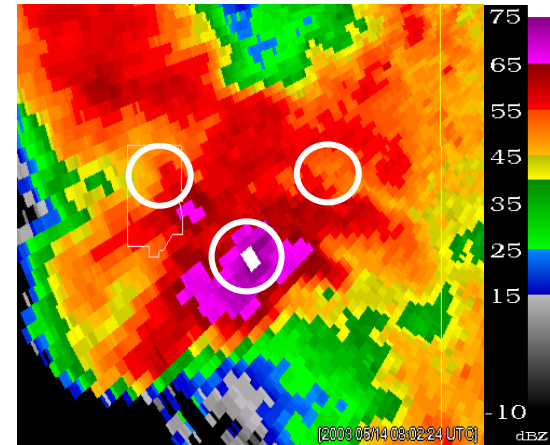
$$Z_h > Z_v$$
$$Z_{DR} = Z_h - Z_v > 0 \text{ dB}$$

Light Rain ( $<5 \text{ mm h}^{-1}$ )

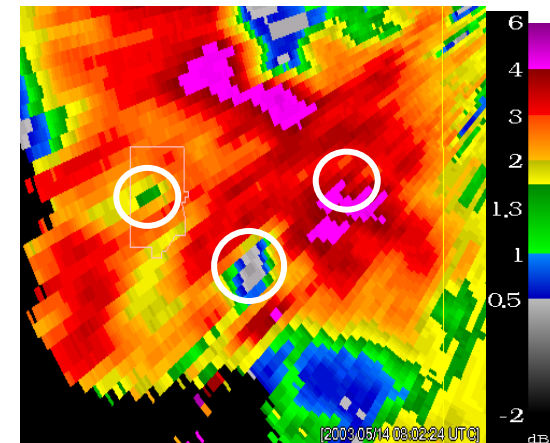


$$Z_h \approx Z_v$$
$$Z_{DR} \approx 0 \text{ dB}$$

Reflectividad horizontal



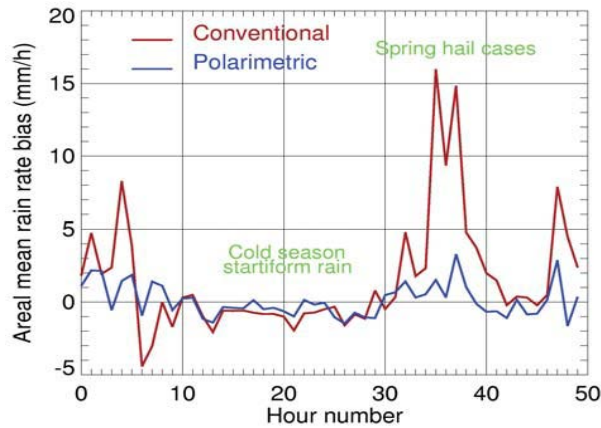
Reflectividad diferencial



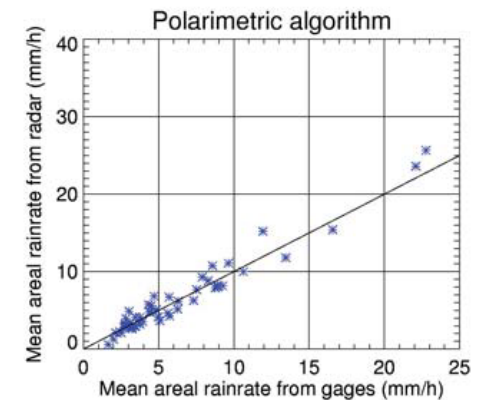
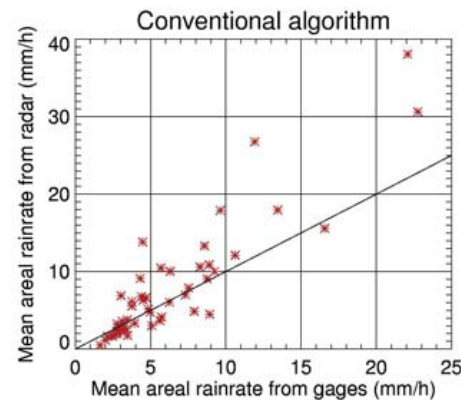
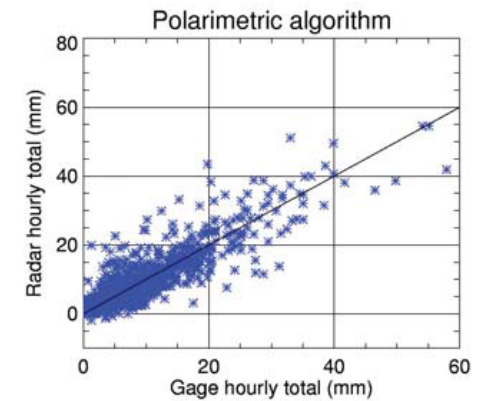
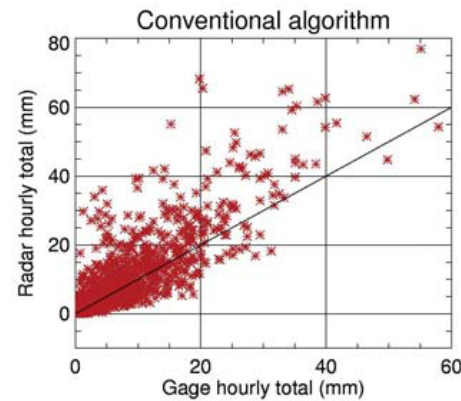


## → Experimento de Polarización Conjunta (I)

- Realizado en el “*National Severe Storms Laboratory*” de Oklahoma (EE. UU.), 2002-2003.
- Radar Doppler convencional vs radar polarimétrico.



Estimación de la intensidad de lluvia







## → Experimento de Polarización Conjunta (II)

Estudio de diferentes Algoritmos de Clasificación de Hidrometeoros:

- Clima de invierno
- Clima de verano
- Detección del granizo

Ejemplo de algoritmo sencillo

- Ecos meteorológicos (RA):

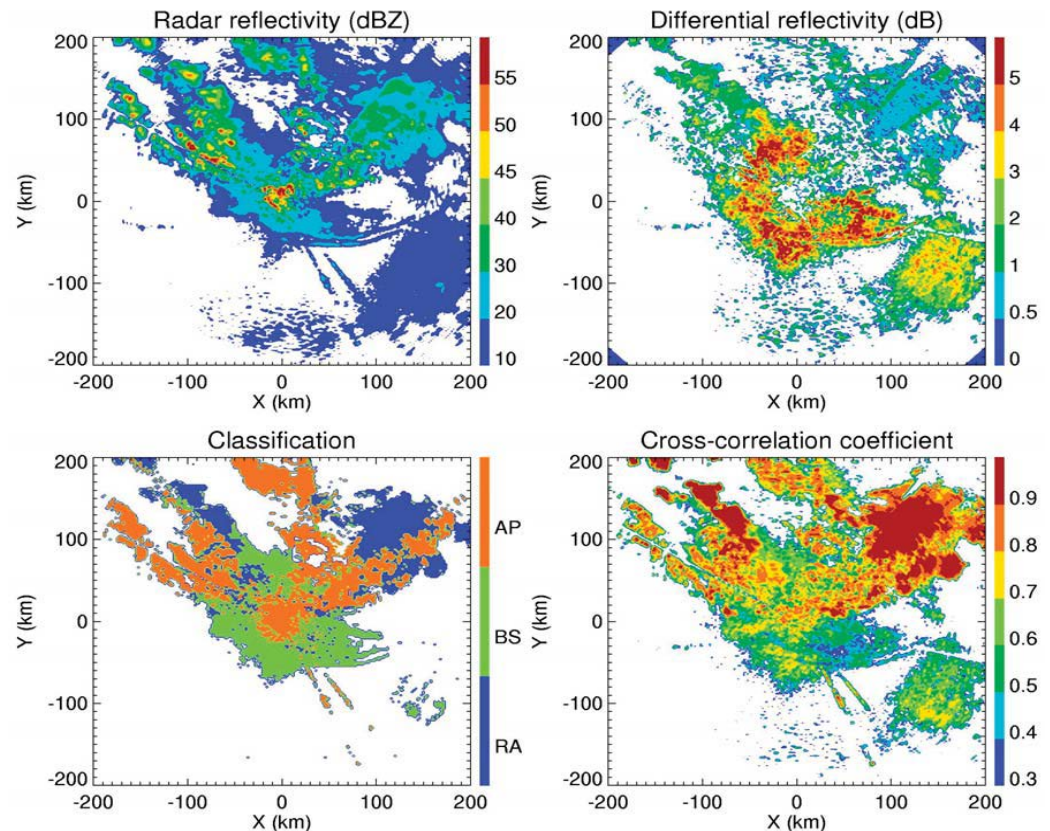
$$\rho_{HV} \approx 1$$

- Agentes biológicos (BS):

$$\rho_{HV} \downarrow \text{ y } Z_{DR} \uparrow$$

- Reflexiones en el suelo (AP):

$$\rho_{HV} \uparrow \text{ y } Z_{DR} \downarrow$$



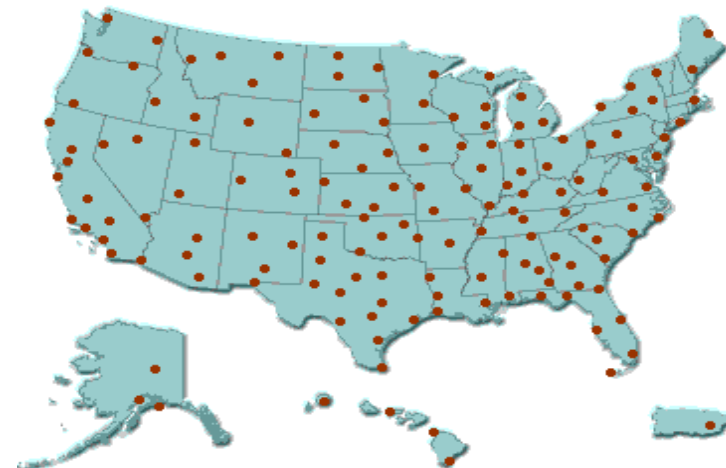
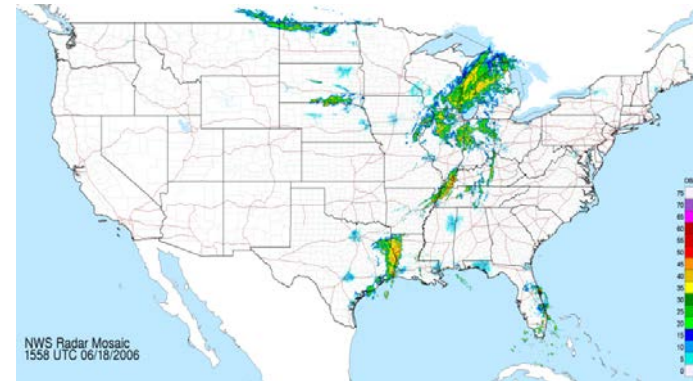


## → Experimento de Polarización Conjunta (III)

Ventajas radares polarimétricos:

- Detección del granizo
- Estimación intensidad de lluvia
- Clasificación más completa de tipos de precipitación
- Predicción fiable de tornados, riadas, inundaciones, etc.
- Reducción ruido en las medidas
- Detección riesgos para aviación

A finales de 2013, EE. UU. completó la actualización de su red de radares a tecnología de doble polarización (161 estaciones)





## → Radares polarimétricos en España

- Existen 2 radares polarimétricos en Galicia y País Vasco.
- Banda C (4-8 GHz), alcance superior a 300 km, reflector parabólico de unos 6 m de diámetro.



Cuntis (Pontevedra)



Bernedo (Álava)



ANTENAS REFLECTORAS PLANAS... PARA RADARES METEOROLÓGICOS

**Antenas reflectoras planas en tecnología impresa**



# 02 Antenas reflectoras planas en tecnología impresa

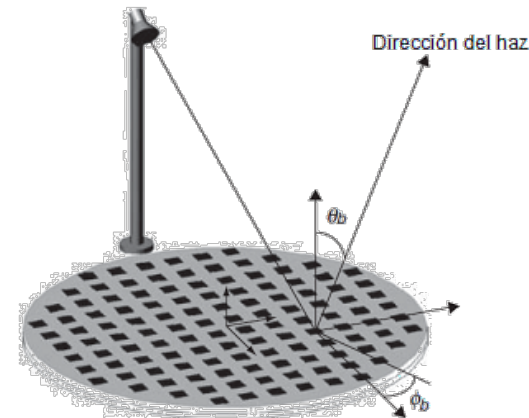
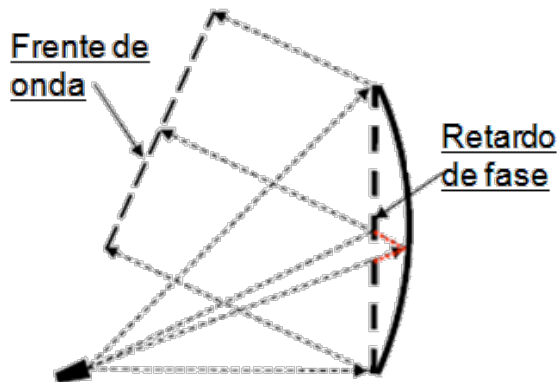
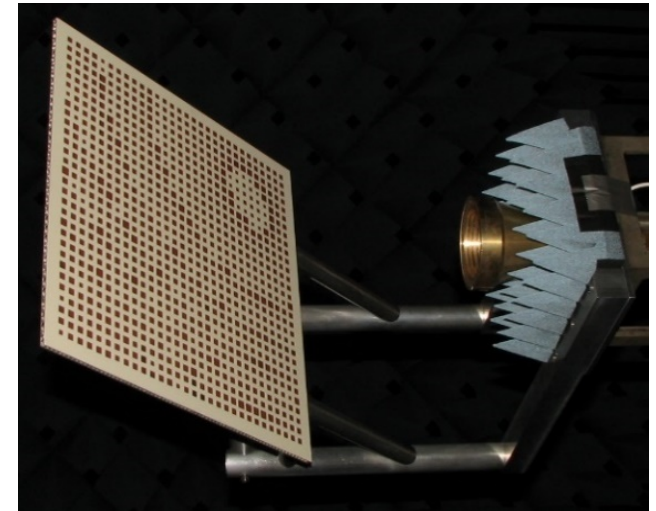
CONAMA2016



## 02. Antenas reflectoras planas en tecnología impresa

### → Antenas reflectarray

- Agrupación plana de elementos radiantes iluminada por un alimentador.
- Cada elemento introduce un determinado ajuste en la fase del campo incidente para generar un haz enfocado o conformado.
- Operación similar en concepto a la de un reflector parabólico.





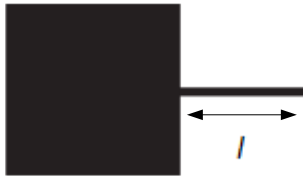
## 02. Antenas reflectoras planas en tecnología impresa

### → Diseño de un reflectarray

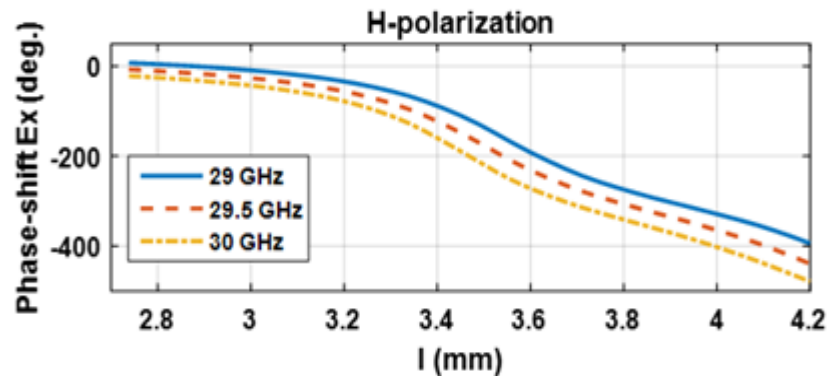
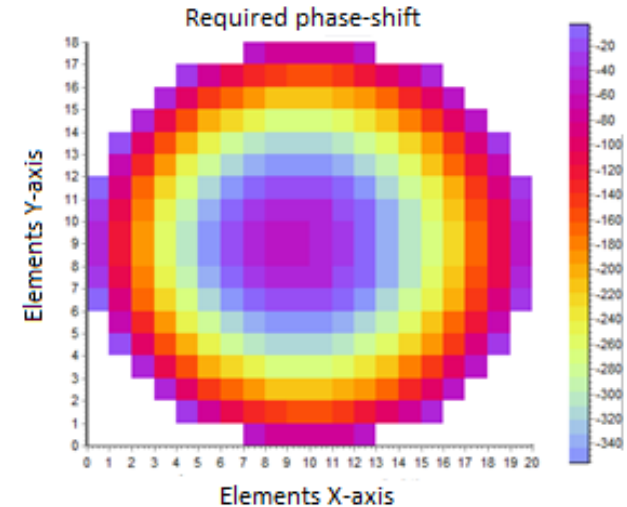
1. Cálculo del retardo de fase a introducir en cada elemento:

$$\phi_R = k_0(d_i - (x_i \cos \varphi_b + y_i \sin \varphi_b) \sin \theta_b)$$

2. Ajuste de las dimensiones de los elementos impresos:



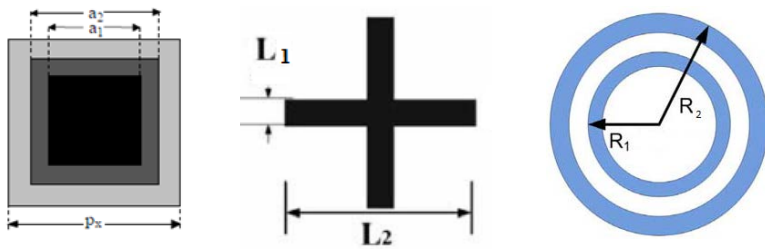
Variable: longitud de la línea de transmisión



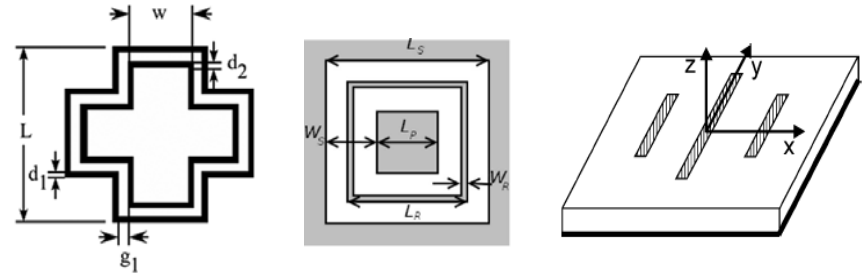


## → Tipos de elementos

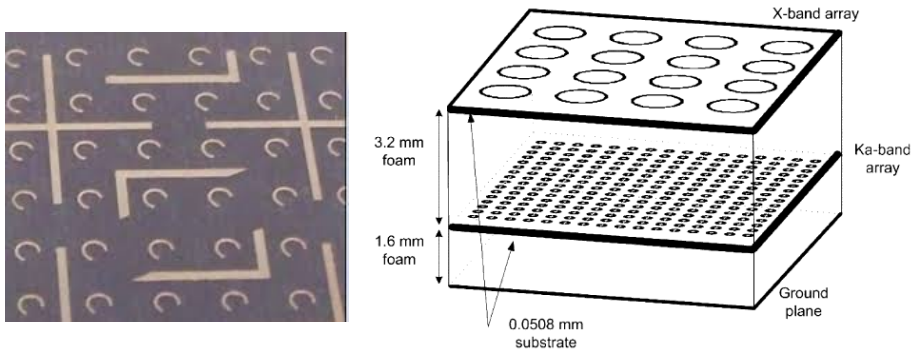
Polarización lineal o circular



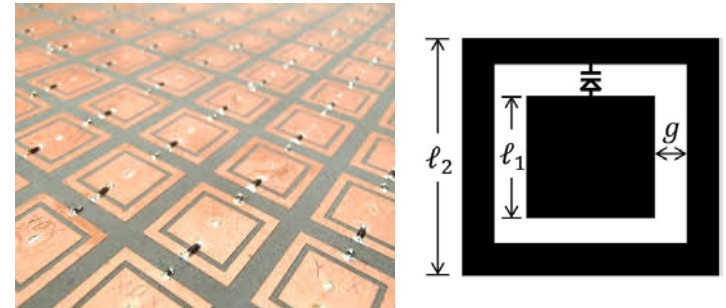
Ancho de banda



Funcionamiento a varias frecuencias



Reconfigurabilidad





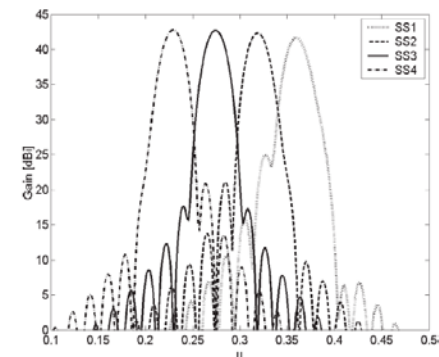
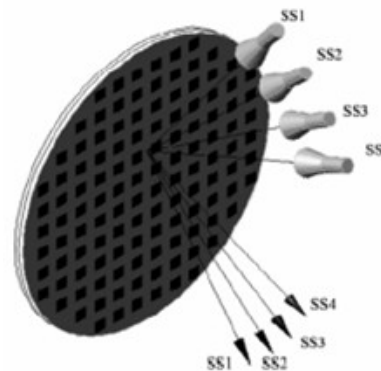
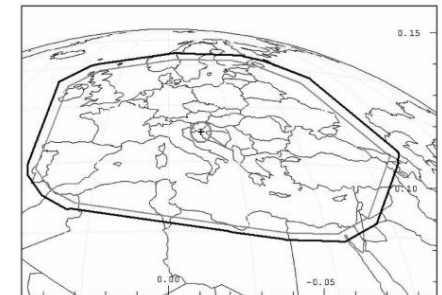
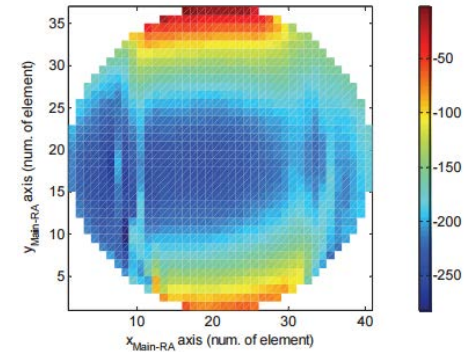
## → Características de los reflectarrays

Ventajas:

- Alta ganancia y eficiencia de radiación
- Bajo coste de fabricación
- Generación de haces enfocados o conformados
- Operación independiente en cada polarización
- Operación independiente a distintas frecuencias
- Aplicaciones multi-haz
- Reconfigurabilidad

Inconvenientes:

- Ancho de banda limitado







ANTENAS REFLECTORAS PLANAS... PARA RADARES METEOROLÓGICOS

# Aplicación a los radares meteorológicos



# 03

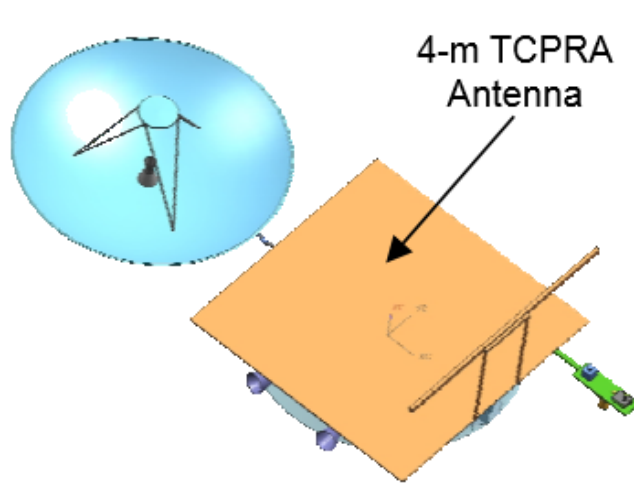
## Aplicación de los reflectarrays a los radares meteorológicos

CONAMA2016

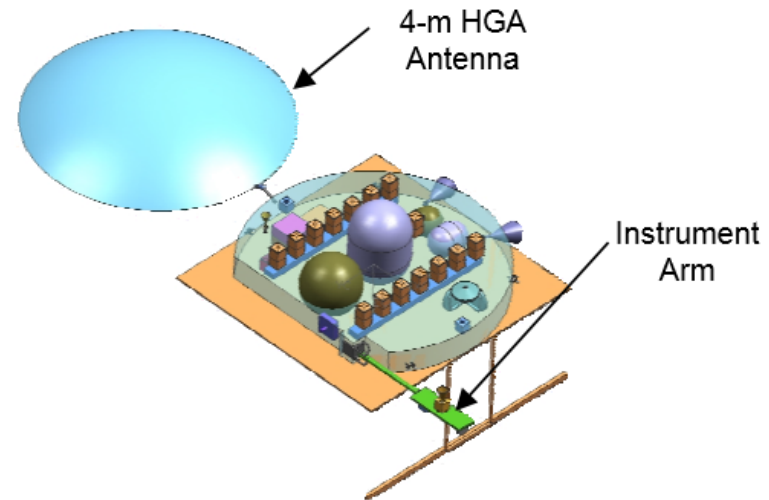


## → Proyecto *Titan Cloud/Precipitation Radar and Altimeter*

- Impulsado por la NASA, como parte de la misión *Titan Orbiter*.
- Continuación de la misión *Cassini-Huygens* enviada a Saturno (todavía activa).
- Objetivo: estudio de la atmósfera y topografía del satélite Titán.
- Radar meteorológico con antena de tipo reflectarray.



Front View of Orbiter in Deployed Configuration



Rear View of Orbiter in Deployed Configuration



## → Especificaciones técnicas - TCPRA

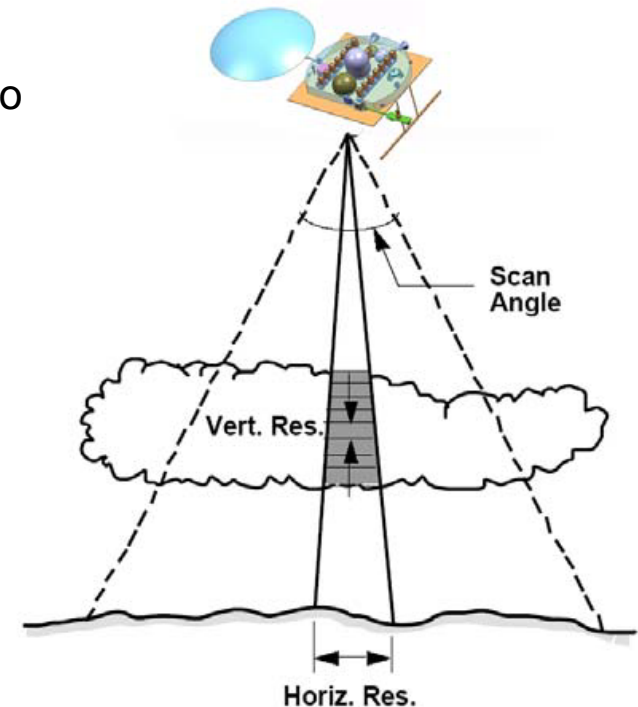
Antena reflectarray:

- Funcionamiento a dos frecuencias: 14 y 35 GHz.
- Alta ganancia: 4 metros de diámetro, para un ancho de haz a -3 dB menor de  $0.15^\circ$
- Capacidad de escaneo del haz:  $\pm 20^\circ$

Sistema radar:

- Frecuencia de repetición de pulsos: 3 kHz
- Ancho de los pulsos: 10-40  $\mu\text{s}$
- Potencia de pico: 3 kW
- Ancho de banda: 3 MHz
- Resolución horizontal: 3.4 km
- Resolución vertical: 250 m
- Precisión en la medida de la velocidad: 0.7 m/s
- Enlace de datos a 10 Mbps

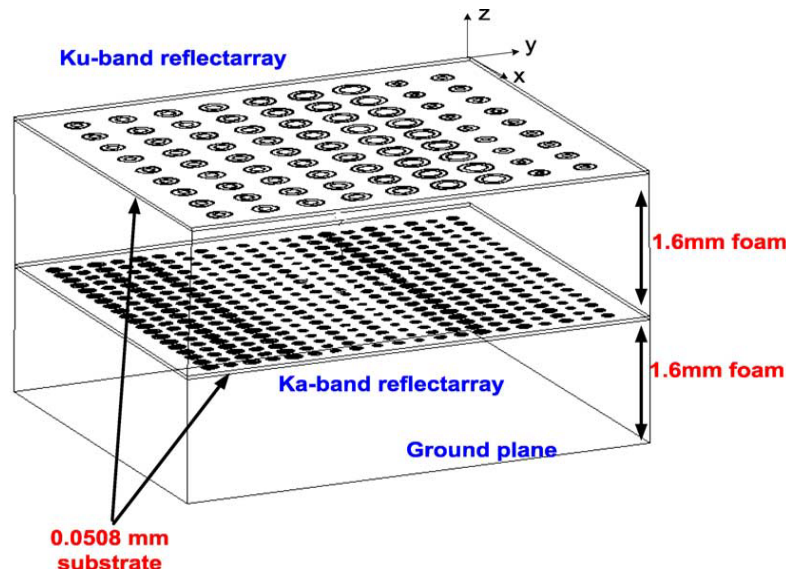
Masa del módulo TCPRA:  
400 Kg



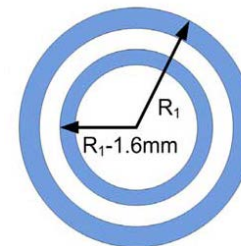


## → Diseño de la antena reflectarray – TCPRA (I)

- Funcionamiento a dos frecuencias con una estructura de dos capas:
  - Nivel inferior: elementos para controlar la respuesta a 35 GHz (banda Ka).
  - Nivel superior: elementos para controlar la respuesta a 14 GHz (banda Ku).
- No permite operación independiente en las polarizaciones H y V.

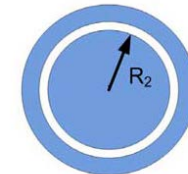


outer ring width: 0.5 mm  
inner ring width: 0.4 mm



Ku band element

outer ring width: 0.4 mm  
gap width: 0.2 mm

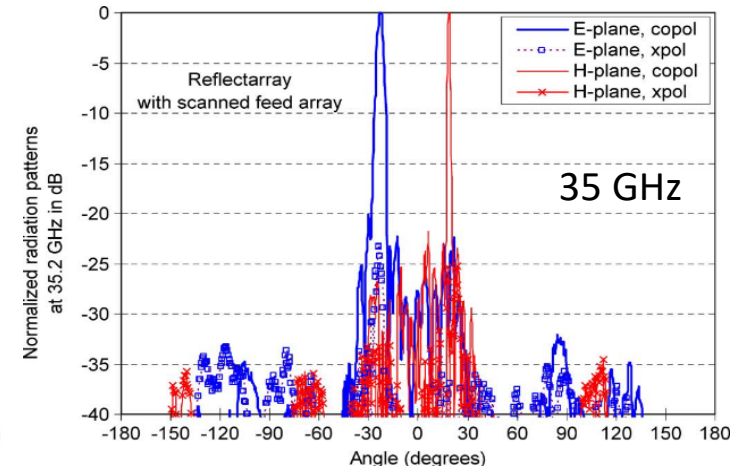
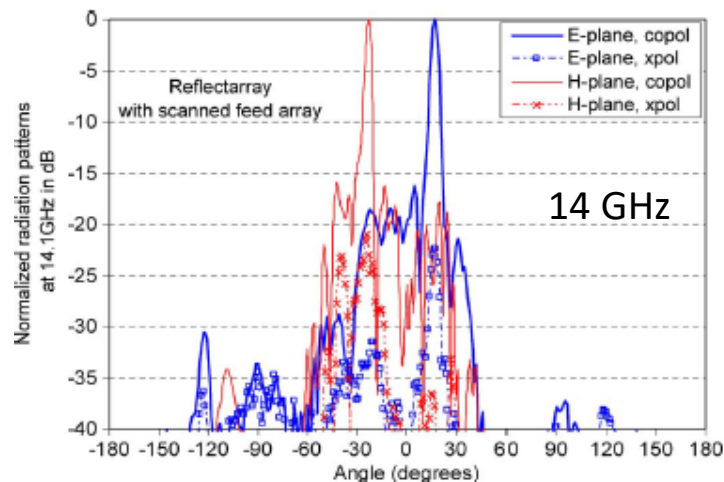
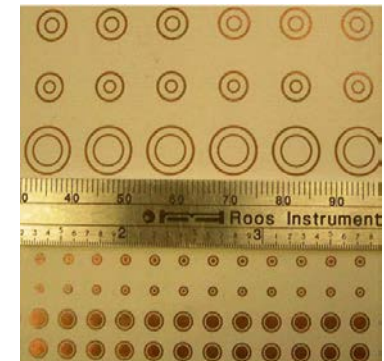
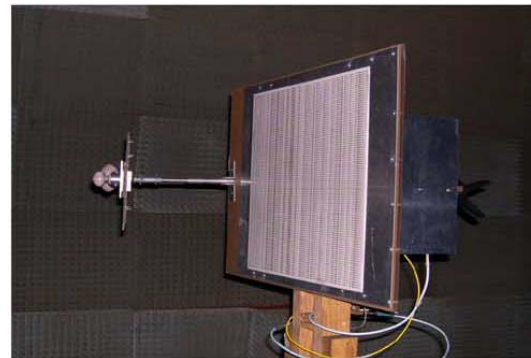


Ka band element



## → Diseño de la antena reflectarray – TCPRA (II)

- Fabricación y medida de un prototipo de 50 cm en la Universidad de Texas.
- La misión *Titan Orbiter* estaba prevista para su lanzamiento en 2015, pero fue relegada en 2009 por motivos económicos.

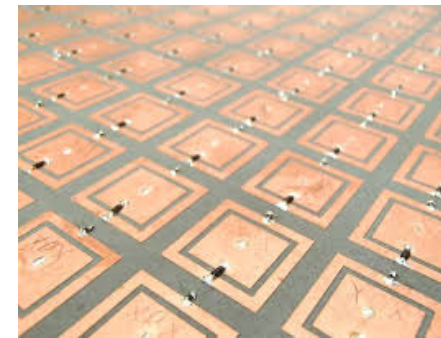
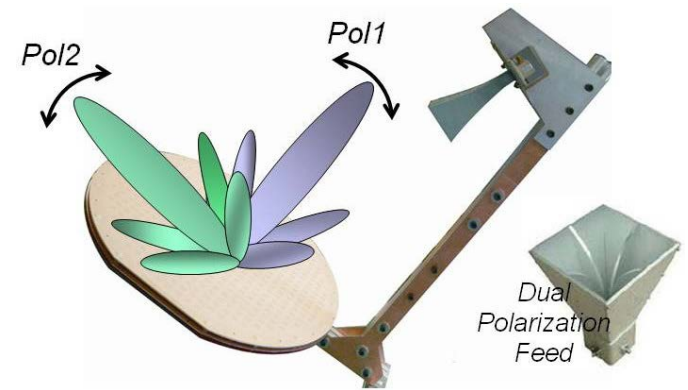




## → Antenas reflectarray para radares meteorológicos

Características:

- Alta eficiencia de radiación con un bajo coste de fabricación, gracias a la tecnología impresa.
- Control independiente de las polarizaciones Horizontal y Vertical, útil para diseño de antenas de radar polarimétrico.
- Bajo nivel de polarización cruzada, importante para aislar las dos componentes ortogonales del campo eléctrico y evitar problemas en las medidas de reflectividad.
- Antenas reconfigurables con capacidad de escaneo electrónico del haz.

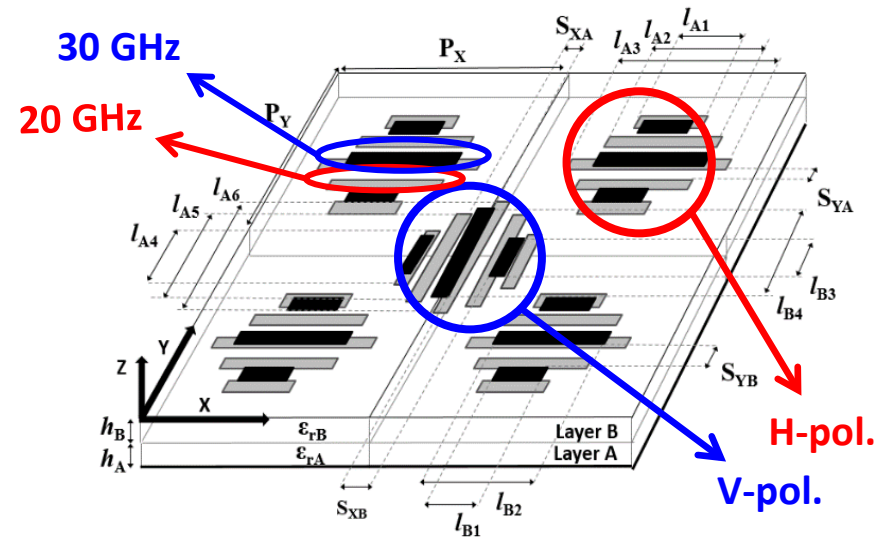




## → Ejemplo: control de fase independiente en H y V (I)

- Elemento basado en agrupaciones ortogonales de dipolos paralelos
- Funcionamiento a dos frecuencias con una estructura de dos capas:
  - Nivel inferior: elementos para controlar la respuesta a 20 GHz.
  - Nivel superior: elementos para controlar la respuesta a 30 GHz.
- En este caso sí es posible operación independiente en polarizaciones H y V a ambas frecuencias.

Aplicación: frecuencias de transmisión/recepción de satélites de comunicaciones en banda Ka.



$$P_x = P_y = 6.5 \text{ mm}$$

$$h_A = 1.5 \text{ mm}, h_B = 1 \text{ mm}$$

$$S_{XA} = S_{YA} = 0.5 \text{ mm}, S_{XB} = S_{YB} = 1 \text{ mm}$$

$$l_{A1} = 0.65 \cdot l_{A3}, l_{A2} = 0.8 \cdot l_{A3}, l_{A4} = 0.65 \cdot l_{A6}, l_{A5} = 0.8 \cdot l_{A6}$$

$$l_{B1} = 0.8 \cdot l_{B2}, l_{B3} = 0.8 \cdot l_{B4}$$

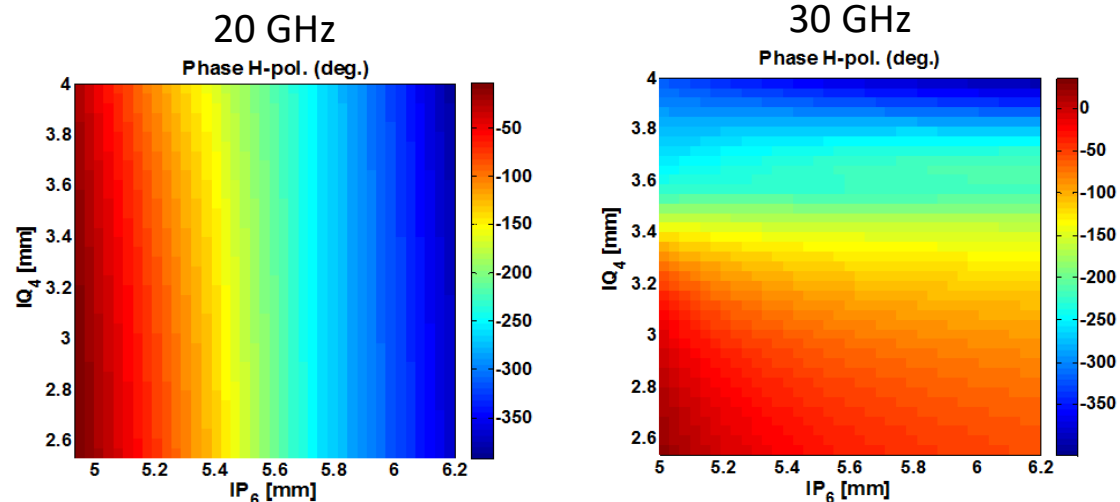


## → Ejemplo: control de fase independiente en H y V (II)

El desplazamiento de fase introducido en cada polarización y frecuencia se controla mediante las longitudes de los dipolos:

- Diseño independiente para cada frecuencia considerando dipolos de la capa inferior o superior.
- Diseño independiente para cada polarización considerando dipolos en la dirección del eje X o del eje Y

Variación de la fase con respecto a la longitud de los dipolos inferiores y superiores en dirección del eje X

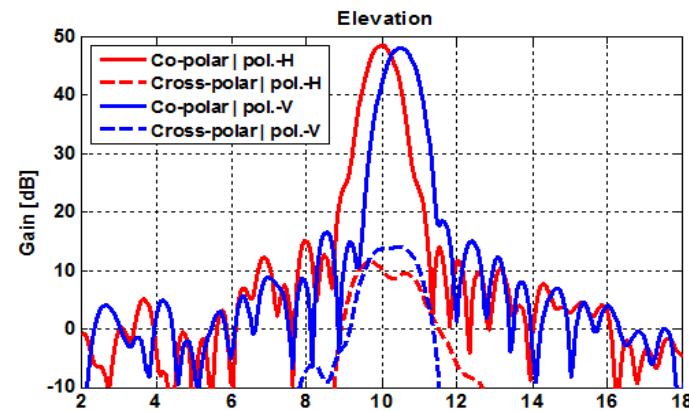
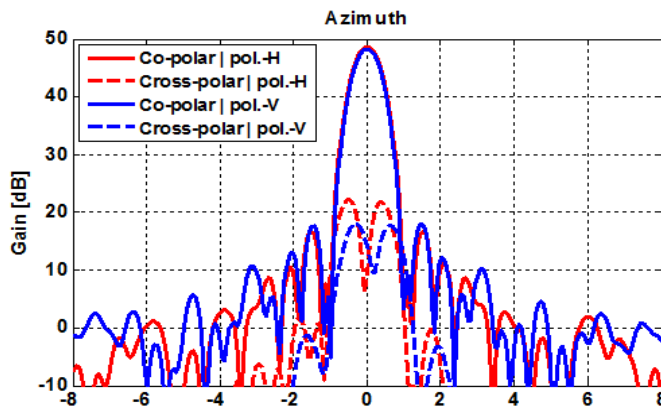




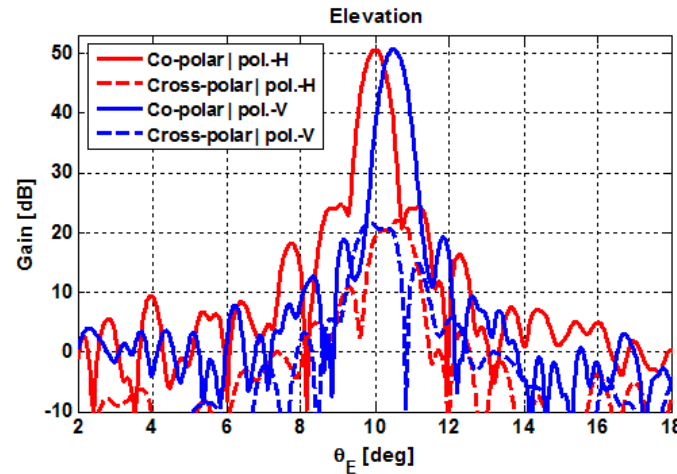
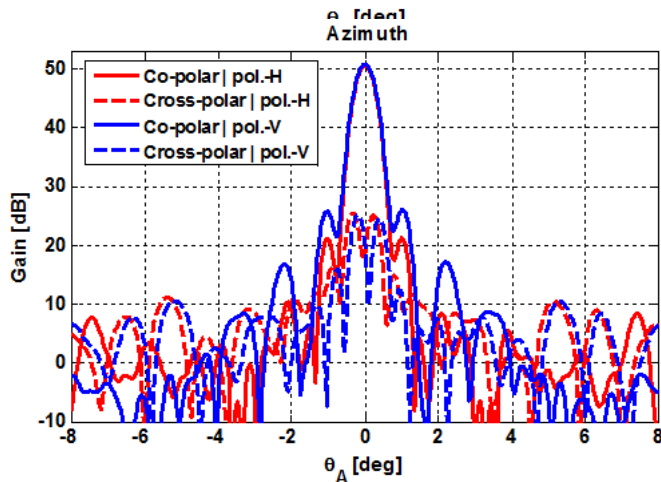


## → Ejemplo: control de fase independiente en H y V (III)

20 GHz



30 GHz





# 04 Conclusiones



### → Conclusiones

- Los radares meteorológicos permiten la localización de las precipitaciones, así como la estimación de su composición y su trayectoria.
- Instalación cada vez más frecuente de radares polarimétricos o de doble polarización: mejores prestaciones que los radares tradicionales de una polarización.
- Desarrollo de antenas reflectoras planas en tecnología impresa, denominadas reflectarrays, que combinan muchas de las ventajas de los reflectores parabólicos y los *arrays*.
- Características interesantes de los reflectarrays para su utilización como antenas de radares polarimétricos: control independiente de las polarizaciones H y V, reconfigurabilidad, bajo coste de fabricación, etc.

**¡GRACIAS!** 

CONAMA2016