

**LOW-COST WEATHER RADARS FOR PRECIPITATION DETECTION AND
DEVELOPMENT OF AIR OPERATIONS IN COLOMBIA****RADARES METEOROLÓGICOS DE BAJO COSTO PARA LA DETECCIÓN DE
PRECIPITACIÓN Y DESARROLLO DE OPERACIONES AÉREAS EN
COLOMBIA****MSc. Melisa Andrea Acosta Coll**

Universidad de la Costa CUC, Programa de Ingeniería Electrónica.
Calle 58 # 55-66. Barranquilla, Atlántico, Colombia.
Tel.: +(57) (5) 3362258, Fax: +(57) (5) 3442670.
E-mail: macosta10@cuc.edu.co

Abstract: Currently, low-cost weather radars have been developed, which not only provide accurate and real-time information of the atmospheric phenomena, but also are an excellent option for countries with complex relief, as in the case of Colombia, because they are short range. For this reason, the implementation of low-cost weather radar, it is necessary for the protection of the community and the development of air operations.

Keywords: Weather radars, troposphere, weather satellites, weather stations, reflectivity factor Z.

Resumen: Actualmente, se han desarrollado radares meteorológicos de bajo costo, que no solo brindan una información precisa y en tiempo real de los fenómenos atmosféricos, sino que son una excelente opción para países con relieves complejos, tal es el caso de Colombia, debido a que son de corto alcance. Por esta razón, la implementación de radares meteorológicos de bajo costo, se hace necesario para la protección de la comunidad y del buen desarrollo de las operaciones aéreas.

Palabras Claves: Radares meteorológicos, tropósfera, satélites meteorológicos, estaciones meteorológicas, factor de reflectividad Z.

1. INTRODUCCIÓN

Los radares son instrumentos que utilizan ondas electromagnéticas para la detección y localización de objetos, y brindan información de la distancia, altitud, dirección y velocidad de los mismos (Skolnik, 1981). Los radares se clasifican basados en el diseño y uso, de esta manera existen radares de uso militar y de uso civil. Los radares de uso militar son empleados para la vigilancia y defensa aérea, para el control y guía de misiles entre otras aplicaciones. Los radares de uso civil son ampliamente utilizados para la navegación

marítima, control de tráfico aéreo y para la detección de fenómenos atmosféricos, tal es el caso de los radares meteorológicos.

La principal diferencia entre los radares meteorológicos y otro tipo radares es la naturaleza de los objetos a detectar. Los radares meteorológicos son diseñados para la detección de fenómenos atmosféricos relacionados con el viento y las precipitaciones, tales como lluvia, granizo, nieve, ciclones tropicales y tornados, dentro de un radio de cobertura determinado. Estos radares son ubicados de tal manera que observen la parte baja

de la atmósfera, la tropósfera, que se encuentra entre 0 y 10 km de la superficie de la tierra, donde ocurren la mayor parte de los eventos atmosféricos (Ahrens, 2009), de esta manera brindan información detallada de los fenómenos atmosféricos que entran en contacto con la superficie de la tierra y que afectan la integridad física de las personas y sus pertenencias (Potterman y Coleman, 2003).

Existen otros instrumentos utilizados para la detección de fenómenos atmosféricos como son los satélites meteorológicos, que son un tipo de satélite artificial utilizados para la supervisión del tiempo atmosférico y del clima de la tierra. A diferencia de los radares meteorológicos, los satélites son ubicados a 35000 km aproximadamente por encima de la superficie de la tierra, en consecuencia no brinda información detallada tal como lo hacen los radares meteorológicos (Elbert, 2008).

Otro instrumento complementario para la medición de elementos atmosféricos son las estaciones meteorológicas. Las estaciones meteorológicas es un conjunto de sensores utilizados para medir diferentes variables atmosféricas tales como temperatura, presión atmosférica, humedad, cantidad de precipitación caída en el suelo, radiación solar, velocidad y dirección del viento entre otros. Estos instrumentos son utilizadas para la elaboración de predicciones meteorológicas y el desarrollo de modelos que permitan el estudio del clima (Pettersen, 1950).

Sin duda alguna, tanto los satélites como las estaciones meteorológicas se constituyen como elementos esenciales para la predicción de fenómenos atmosféricos, pero a diferencia de los radares meteorológicos, éstos últimos proporcionan mayor precisión en la información ya que poseen mejor resolución espacial y temporal.

Es por esto que hoy en día la mayor parte de Europa, Asia, Norte América y el Caribe poseen redes de radares meteorológicos para la detección y monitoreo de fenómenos atmosféricos, no solo para realizar una oportuna gestión del riesgo que permita salvar las vidas y pertenencias de sus habitantes, sino para garantizar el éxito de sus operaciones aéreas.

A diferencia de estos países, Colombia no cuenta con radares meteorológicos y solo emplea estaciones meteorológicas y el satélite

meteorológico geoestacionario GOESS-12 (propiedad de los Estados Unidos de América EE.UU) para el monitoreo de eventos meteorológicos (CUCTRÓNICA, 2012). Debido a su posición geográfica contigua a las aguas del Océano Pacífico y Atlántico, Colombia ha sido uno de los países Suramericanos más afectados por los fenómenos atmosféricos en la última década, el cual ha dejado un sin número de víctimas y millonarias pérdidas materiales.

En Colombia, el *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* (IDEAM), es la institución encargada de la generación de conocimiento y acceso a la información de las condiciones hidrometeorológicas de todo el país, para que las autoridades y toda la población en general puedan tomar decisiones oportunas ante inminentes desastres, y encargado de la manipulación de la información meteorológica (IDEAM, 2012).

El año 2010 fue uno de los más calientes y lluviosos en toda la historia colombiana, el cual el uso del satélite no fue suficiente para obtener información detallada y en tiempo real de las zonas afectadas, ya que al ser un satélite de propiedad de otro país, hay que incurrir en la compra de la información, y esto produce que no se pueda acceder de manera inmediata (CUTRÓNICA, 2012). Ese mismo año, se perdieron muchas estaciones meteorológicas, que fueron arrasadas por las inundaciones. A su vez, se vieron afectadas todas las operaciones aéreas, no solo por el mal estado del tiempo, sino por la escasa información meteorológica.

Teniendo en cuenta los altos costos en los que se debe incidir para obtención de un satélite propio, y la necesidad de poseer radares meteorológicos; una alternativa es la implementación de radares de bajo costo, que observen la parte baja de la atmósfera, tal es el caso de los radares meteorológicos desarrollados por el grupo de investigación CASA (*Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere*) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez (UPRM) (Puerto Rico, EE.UU) (Colom, *et al.*, 2010). Estos radares son de bajo costo y necesitan poca infraestructura para su funcionamiento, en comparación con los radares meteorológicos alrededor del mundo. Así, mismo pueden funcionar con energía solar, es por esto que son llamados *Off The Grid Radar* ó OTG RADAR, ya

que pueden funcionar fuera de la red de suministro eléctrico. Éstos radares poseen una alta resolución espacial y temporal en comparación con los satélites meteorológicos y funcionan en Banda-X (Trabal *et al.*, 2011).

2. RADARES METEOROLÓGICOS BANDA-X OFF THE GRID (OTG)

2.1 Características

El radar OTG desarrollado por la UPRM, es un radar marino de la marca Furuno (modelo 1934C-BB) (Fig.1a), que fue modificado para propósitos meteorológicos. Las modificaciones consisten en reemplazar la antena tipo fan beam (Fig.1b) por una antena parabólica de disco, para eliminar el clutter o ecos indeseados provenientes de objetos cercanos al radar. Este radar opera a una frecuencia de 9.1 Ghz, que se encuentra dentro de la Banda-X, permitiendo tener mayor detalle de los objetos detectados.

El ancho del haz de esta antena es de 3.8°, con una ganancia de 32 dB, y posee un mecanismo mecánico para el ajuste del ángulo de inclinación. La tabla 1 resume las especificaciones del radar (Pablos *et al.*, 2010).

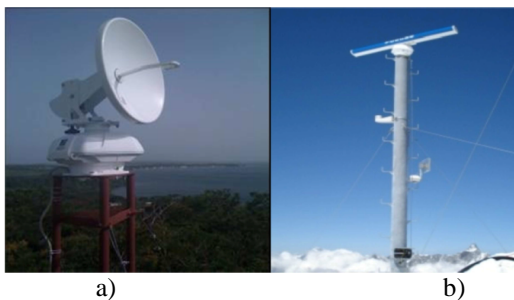


Fig. 1: Radar Banda X Furuno (a) Radar Banda X con antena de disco en Puerto (b) Radar Banda X Furuno con antena fan beam (Acosta, 2011)

Tabla 1: Especificaciones Radar OTG

Rango de Operación	15 km
Frecuencia	9410 ± 30 Mhz
Potencia Pico	4 kw
Frecuencia Intermedia	60 Mhz
Largo del pulso	0.8µs
Ancho de banda	3 Mhz
Señal mínima detectable	- 105 dBm
Figura de Ruido	4.6 dB
RPM	26
Resolución espacial	15 m
Polarización	Vertical
Resolución Temporal	3 minutos.

2.2 Funcionamiento

La antena del radar OTG rota a una velocidad de 26 rpm, pero los datos son promediados cada 10 barridos y mostrados cada 3 minutos, esto quiere decir que la resolución temporal es de 3 minutos. Para el procesamiento de la información obtenida por el radar, una tarjeta de adquisición de datos es utilizada para identificar el pulso de encabezamiento, el pulso de disparo y la señal de video, que luego son organizadas y procesadas para obtener las mediciones de reflectividad en términos de dBZ y de esta manera poder crear el gráfico del Plan de Indicador de Posición (PPI, *Plan Position Indicator*) (Pablos *et al.*, 2010).

La escala dBZ es una medida en decibelios del factor de reflectividad Z, el cual nos indica la intensidad de precipitación detectada por el radar por volumen explorado. A medida que la antena realiza su barrido, en cada ángulo de azimut se obtiene un valor determinado de reflectividad. Esta reflectividad es promediada para ese blanco y así poder aproximar mejor el grupo de valores obtenidos. Debido a que las gotas de lluvia, el granizo y la nieve, varían de tamaño y con ello su constante dieléctrica, esto puede producir una gran variabilidad en la intensidad reflejada detectada por el radar, por lo tanto, el factor de reflectividad Z es expresado en dBZ, que corresponde a 10 veces el logaritmo de la relación con el eco de una gota estándar de 1 mm de diámetro ocupando el mismo volumen detectado (Ulaby *et al.*, 1986).

$$dBZ = 10 \cdot \log \left(\frac{Z \text{ mm}^6}{1 \text{ m}^3} \right) \quad (1)$$

La Fig. 2, muestra la escala de reflectividad utilizada por el radar OTG, que comprende un rango entre -10 hasta 75 dBZ. Entre -10 y 15 corresponde a nubosidad, entre 10 y 25 dBZ, lluvia ligera, entre 25 y 45 lluvia moderada. La reflectividad de los tonos rojos y magenta no solo corresponde a lluvias pesadas o intensas sino también para tormenta y granizo, pero se debe realizar una adecuada interpretación.

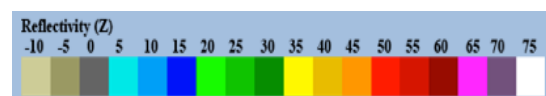


Fig. 2: Escala de reflectividad Radar OTG (Acosta, 2011)

Por lo tanto, se puede identificar en qué zona del radio de cobertura del radar esta lloviendo y con qué intensidad; esto ayudaría a realizar una gestión del riesgo oportuna y mantener a la comunidad informada.

Así mismo, para el desarrollo de operaciones aéreas, se puede analizar si es el momento de emprender una determinada operación, teniendo en cuenta la cantidad de precipitación que está cayendo en una zona específica, y de esta manera evitar costos elevados por cancelación de las operaciones debido al mal tiempo.

Si se desea conocer la cantidad de mm de agua que está cayendo en una zona durante un tiempo específico, el radar meteorológico puede proporcionar dicha información, ya que existe una relación empírica entre la cantidad de lluvia y la reflectividad, que a su vez depende de la distribución de las gotas de lluvia.

La ecuación 2 muestra la relación entre el factor de reflectividad Z ($mm^6 m^{-3}$) y la tasa de precipitación R (mm/hr), donde A y b son constantes derivadas empíricamente y dependen de la distribución del tamaño las gotas.

$$Z = AR^b \quad (2)$$

Esta relación puede variar de un lugar a otro y dependiendo del tipo de precipitación. La más utilizada es la distribución del tamaño de las gotas de Marshall Palmer donde,

$$Z = 200R^{1.6} \quad (3)$$

La tabla 2 nos permite ver de acuerdo a los diferentes tipos de distribución de tamaño de las gotas, la relación entre Z y R . Debido a que Colombia posee un sistema el sistema climático tropical, la relación más adecuada es la Rosenfeld (Maeso *et al.*, 2005).

Tabla 2: Relación de Distribución del tamaño de las gotas de lluvia con factor de reflectividad Z :

RELACIÓN	ÓPTIMO PARA
Marshall-Palmer ($Z=200R^{1.6}$)	Precipitación General Estratiforme
Este-Fresco Estratiforme ($Z=200R^{1.6}$)	Precipitación Estratiforme Invierno-Este
Oeste-Fresco Estratiforme ($Z=200R^{1.6}$)	Precipitación Estratiforme Invierno-Oeste
Convectiva WSR-88D ($Z=300R^{1.4}$)	Convección Profunda en Verano
Convectiva Tropical Rosenfeld ($Z=250R^{1.2}$)	Sistema Convectivo Tropical

Entonces, si se conoce la intensidad de reflectividad de una zona determinada de un radar instalado en el trópico como el caso de Colombia, se obtiene la cantidad de agua aproximada que está cayendo en dicha zona a través de la relación:

$$Z = 250R^{1.2} \quad (4)$$

Conociendo la tasa de precipitación se pueden elaborar modelos hidrológicos para la prevención de inundaciones y poder informar a la comunidad oportunamente, así mismo las operaciones aéreas podrán ser planeadas con mayor precisión, evitando diferentes tipos de problemas.

2.3 Resultados

Los radares OTG inicialmente se instalaron en el área oeste de Puerto Rico (EE.UU) como solución al problema de cobertura en ésta área que presentaba el radar del Servicio Nacional de Meteorología (*National Weather Service NWS*), el cual funciona en Banda-S, comúnmente conocido como NexRad. Este radar está localizado a 850 m sobre el nivel del mar, en Cayey (este de Puerto Rico), es un radar de largo alcance con un radio aproximado de 250 km (Fig. 3). Debido al efecto de la curvatura de la tierra (Fig. 4), los radares de largo alcance a grandes distancias no pueden observar la parte baja de la atmósfera, esto mismo afectaba el oeste de Puerto Rico (Acosta, 2011).

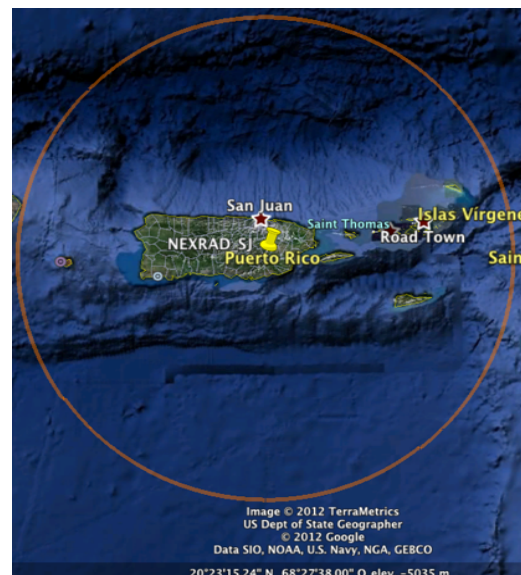


Fig. 3: Radar de NWS NexRad en Puerto Rico

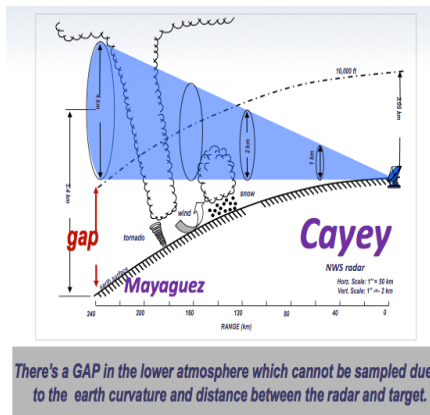


Fig. 4: Efecto de la Curvatura de la Tierra

Para superar este problema, los radares implementados por el grupo de investigación CASA en la UPRM son de corto alcance, entre 15 y 20 km, debido a que al funcionar en la Banda-X, la señal es afectada por la atenuación a grandes distancias y a pesar del efecto de la curvatura de la tierra, el radar podría seguir observando la parte baja de la atmósfera (0-3 km).

Adicionalmente, los radares OTG proveen mayor resolución espacial en comparación con los radares NexRad, ya que su resolución es de 15 m y el radar NexRad tiene una resolución de 1 km, en consecuencia, se obtiene mayor detalle del evento meteorológico. La Fig. 5 compara un evento meteorológico ocurrido el 29 de Agosto de 2010, donde se evidencia con mayor detalle el evento capturado por el radar OTG.

Los radares OTG no sólo representan una mejora en la resolución espacial sino también temporal frente al radar NexRad, ya que éste último realiza una actualización de su información entre 6 y 10 minutos, por el contrario, los radares OTG actualizan su información cada 3 minutos. Esto permite detectar fenómenos atmosféricos de gran velocidad que atraviesan la parte baja de la atmósfera.

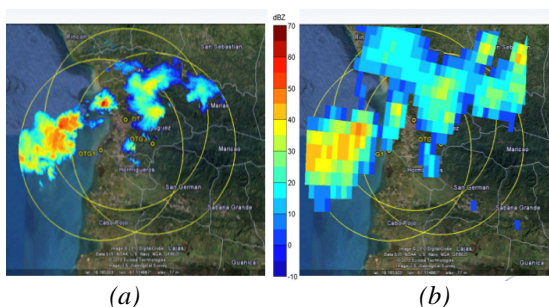


Fig.5: Evento Meteorológico Agosto 29 de 2010. a) Red de radares OTG. b) Radar NexRad.

2.4 Implementación de un radar OTG en el Departamento del Atlántico

El departamento del Atlántico ubicado al norte de Colombia, ha sido últimamente afectado por el desarrollo de fenómenos atmosféricos como altas precipitaciones, vendavales e incluso granizo. Así mismo como el resto del país, no cuenta con una adecuada gestión del riesgo, y en caso de presentarse un evento meteorológico que ponga en riesgo la vida y las pertenencias de sus habitantes, no podrán tomar decisiones oportunas con el fin de minimizar los daños.

La Fig. 6 muestra el área de cobertura de un radar OTG siendo instalado en el departamento del Atlántico.



Fig. 6: Radar OTG en el departamento el Atlántico

De acuerdo a la Fig. 6, el radar OTG que tiene un radio de cobertura de 15 km, cubriría la ciudad de Barranquilla, el municipio de Soledad y el área que comprende al aeropuerto Ernesto Cortissoz ubicado en el municipio de Malambo. Por lo tanto, no solo se estaría brindando información meteorológica para el diseño y planificación de la gestión del riesgo sino que proveería los datos del estado del tiempo para la ejecución de operaciones aéreas tanto comerciales como militares, con gran precisión y en tiempo real.

La Fig. 7 muestra una red de radares OTG que cubren el departamento del Atlántico, y brindaría información meteorológica a la mayoría de los municipios del departamento.

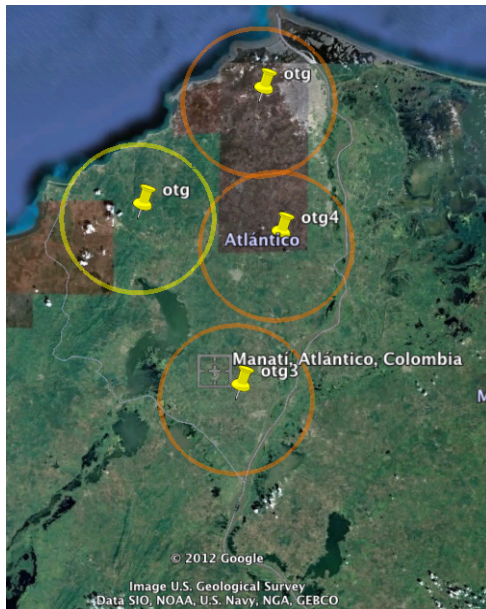


Fig. 7: Red de Radares OTG en el Departamento del Atlántico.

3. CONCLUSIONES

Hoy en día, el cambio climático ha aumentado la frecuencia de la formación de fenómenos atmosféricos alrededor del mundo. Colombia siendo uno de los países Suramericanos más afectados por esta problemática, aún no cuenta con instrumentos como los radares meteorológicos, necesarios para la detección y monitoreo de eventos atmosféricos. De esta misma manera, el éxito de las operaciones aéreas se ve afectado por el desconocimiento del estado del tiempo en zonas determinadas, los cuales pueden ser observadas dentro del radio de cobertura de un radar, elevando los costos de las operaciones. Es por esto que se hace necesario la implementación de radares meteorológicos que no sólo observen la parte baja de la atmósfera, sino que también proveen una información detallada de alta resolución espacial y temporal, que permita una adecuada gestión del riesgo y garantizar el desarrollo de operaciones aéreas de éxito.

La implementación de una red de radares *Off The Grid* (OTG) desarrollados en la Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, de acuerdo a sus características de bajo costo e infraestructura y alta resolución espacial y temporal, se constituyen como una opción para la detección de altas precipitaciones, que causan daños materiales y un sin número de víctimas mortales.

REFERENCIAS

- Acosta M. (2011) *Clutter Elimination Methods and Data Merging for X-Band Weather Radar Network in Complex Terrains*, Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez.
- Ahrens C. (2009). *Meteorology Today: An introduction to weather, climate, and environment*. Brooks College, Novena edición, pp. 12-17, Belmont.
- Colom J., Cruz-Pol S., Pablos G., Córdoba M., Castellanos W., Acosta M., Ortiz J., De Jesús B., University of Puerto Rico, Mayagüez; Trabal J, Universidad de Massachusetts en Amherst. (2010). *UPRM Weather Radars at the Central American Games at Mayaguez 2010, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter*, Septiembre 2010.
- CUCTRÓNICA. (2012). Boletín. Barranquilla (Colombia): Universidad de la Costa CUC, Septiembre.
- Elbert B. (2008). *Introduction to Satellite Communications*, Artech House, Tercera Edición. pp. 1-3, Northwood.
- IDEAM (2012). *Misión y Visión*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia.
- Maeso J, Bringi V., Cruz-Pol Sandra, Chandrasekar V. (2005). *DSD Characterization and Computations of Expected Reflectivity using data from a Two- Dimensional Video Disdrometer deployed in a Tropical Environment*.
- Pablos G., Colom J., Cruz-Pol S., Trabal J., Chandrasekar V., George J., Junyent F. (2010). *Development of an Off-The-Grid X-Band Radar for Weather Applications*.
- Pettersen S. (1950). *Introduction to Meteorology*. 1st Ed. McGraw-Hill, 1950, Primera edición, pp 10-15, New York.
- Potter T., Coleman B., (2003) *Weather, Climate and Water* (2003), John Wiley and Sons, Inc, Publication, pp. 47-54.
- Skolnik M., (1981), *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill, 2nd Ed., pp. 1-4, New York.
- Trabal J., Colom J., Cruz-Pol S., Pablos G., (2011), *Low Cost and Minimal Infrastructure Off-The-Grid X Band Weather Radar Network Development for the West Coast of Puerto Rico*.
- Ulaby F., Moore R., Fung A., (1986) *Microwave Remote Sensing: Active and Passive*, Vol. 1, Addison-Wesley, pp. 30-40.