

Recepción de Imágenes Meteorológicas de Colombia con una Antena de Dipolos Cruzados

Hernán Paz-Penagos*, Joan S. Caycedo-Berrio, Laura M. Patarroyo-Godoy, Laura L. Ramírez-Cortés
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Programa de Ingeniería Electrónica, grupo de investigación: Ectrónica. Ak. 45 No. 205-59 (Autopista Norte), Bogotá, Colombia
(e-mail: hernan.paz@escuelaing.edu.co; joan.caycedo@mail.escuelaing.edu.co, laura.patarroyo@mail.escuelaing.edu.co, laura.ramirez-c@mail.escuelaing.edu.co)

* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia.

Recibido May. 16, 2018; Aceptado Jul. 23, 2018; Versión final Ago. 30, 2018, Publicado Feb. 2019

Resumen

El objetivo del artículo es presentar el diseño, simulación y construcción de una antena de dipolos cruzados para recibir imágenes APT procedentes de satélites NOAA15 en un ambiente semiurbano. Para lograr mejor desempeño de la antena se manejó la altura sobre el plano de tierra, la longitud y diámetro de los elementos, el ángulo de inclinación de estos respecto del eje de coordenadas de la antena y el acople con un puerto de conexión tipo SMA de 50Ω. La antena construida permitió recibir imágenes APT en tiempo real, con una resolución máxima de 120dpi, ganancia de 4.8dBi y desviación de frecuencia de ±17KHz. La portadora modulada arribó a una frecuencia de 137MHz y fue procesada mediante dispositivos y herramientas: RTL-SDR, SDR Sharp, audio piping y el software WXtoimg para la decodificación de imágenes. Se concluye que en entornos semiurbanos la antena de dipolos cruzados recibe bien imágenes APT. Sin embargo, es susceptible al efecto doppler y al ruido por la presencia de nulos de bajo orden.

Palabras clave: antena de doble dipolo cruzados; satélite; acople; imágenes; ancho de banda.

Reception of Colombian Weather Images with a Double Cross Antenna

Abstract

The aim of the article is to present the design, simulation and construction of a double cross antenna to receive APT images from NOAA15 satellites (National Oceanic and Atmospheric Administration) in a semi-urban environment. To achieve better performance of the antenna, its height above ground, the length and diameter of the elements, their angle of inclination with respect to the axis of the antenna coordinates and the coupling with a 50Ω SMA type connection port were adjusted. The built antenna allowed to receive APT images in real time, with a maximum resolution of 120dpi, gain of 4.8dBi and frequency deviation of ±17 KHz. The modulated carrier arrived at a frequency of 137 MHz and was processed by devices and tools: RTL-SDR, Sharp SDR, audio piping and WXtoimg software for decoding images. It is concluded that in semi-urban environments the double cross antenna receives well APT images. However, it is susceptible to the Doppler *Effect* and noise due to the presence of low order nulls.

Keywords: double cross antenna; satellite; match; images; bandwidth.

INTRODUCCIÓN

En el mundo de las telecomunicaciones existen numerosos tipos de antenas, cada una de ellas diseñada para una aplicación y frecuencia de operación específicas. Para la recepción en tierra de señales satelitales de órbita polar baja, se diseñan antenas con patrón de radiación omnidireccional, polarización circular, ángulos de elevación bajos y área efectiva de la antena grande, de modo que permita recibir la señal del satélite sin necesidad de moverla. En esta perspectiva, Alvarez-Busani (2012) presenta el diseño de una antena de dipolo cruzado con cuatro dipolos de media longitud de onda, cuyos diámetros cambian de 3mm a 12mm. Además, evalúa la recepción de la señal satelital, y concluye que entre mayor sea el diámetro de dipolo la antena, mejor será su recepción. Ramos y Noboa (2017), diseñan una antena del mismo tipo con cuatro dipolos de $\lambda/2$ de longitud de 1.09m; además hacen un análisis comparativo de la potencia recibida entre esta antena y las antenas helicoidal cuadrifilar y turnstile. Prueban las tres antenas con la recepción de imágenes meteorológicas en la banda de FM y con formato APT procedentes de satelitales NOAA. Estos autores concluyen que la antena de dipolos cruzados logra la mayor potencia de recepción promedio de -46.5dB y la antena turnstile recibe menor potencia de -52.16dB. Gerard Martes, en su artículo *Double Cross - a NOAA Satellite Downlink antenna* (Martes, 2008), presenta algunas especificaciones para el diseño de una antena de dipolos cruzados basado en cuatro dipolos de $\lambda/2$ con una longitud 97,55cm, diámetro de 0,95cm y espaciamiento entre ellos de 54,61cm, sus resultados se enfocan en que el desempeño es directamente proporcional al nivel de acoplamiento con la línea de transmisión.

Este artículo, parte de las experiencias de trabajo reportadas arriba y presenta el diseño de una Antena de Dipolos Cruzados (en adelante ADC) considerando especial cuidado en su altura sobre el plano de tierra, longitud, diámetro e inclinación de los elementos respecto del eje de coordenadas de la antena. La alimentación de la antena es una señal desfasada de 90° -para garantizar recepción de onda con polarización circular a la derecha-, para una frecuencia de operación de 137MHz, ancho de banda de 34 KHz, 0° de elevación sobre el espacio libre (Tsai et al., 2013), y un puerto de conexión al receptor tipo SMA de 50Ω . Se recibieron imágenes meteorológicas moduladas PAM/AM/FM que fueron enviadas por los satélites NOAA15, en el momento de sobrevolar la ciudad de Bogotá (coordenadas $4^\circ 35' 56'' N$; $74^\circ 4' 51'' W$ y altura media sobre el nivel del mar de 2640 m). Específicamente las pruebas de campo de recepción se hicieron en la Universidad Nacional, que por sus edificaciones se puede asumir un entorno de recepción semiurbano.

Los satélites meteorológicos NOAA15 (National Oceanic and Atmospheric Administration), que hacen parte del programa POES (Polar Operational Environmental Satellites), son heliosincrónicos y de órbita baja (807 Km). Cuentan con sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) en el rango entre la luz visible al infrarrojo, para monitorear la densidad y cobertura de nubes, radiación de la tierra, temperatura de la superficie, etc., del área sobrevolada; luego transmiten esa información en una portadora que modula la información de imágenes. Este formato de imágenes tiene la desventaja de transmitir información solamente en dos (A y B para transmisión diurna) de las cinco bandas espectrales, por esta razón se hace con baja resolución en escalas de grises de 256 niveles (Hassini et al., 2005). Los parámetros de la ADC hallados numéricamente (ecuaciones 1 a 7), se muestran en la tabla 1; éstos se obtuvieron para un arreglo de dipolos dispuestos en el espacio (Balanis, 2005; Kraus y Marhefka, 2002).

Tabla 1: Parámetros de la antena ADC.

Parámetro	Ecuación
Diagrama de radiación	$E_k(\theta, \phi)_n = \frac{j\eta I_{max}}{2\pi r} e^{-jkr} \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \theta)}{\sin \theta} \frac{\sin(\frac{4\pi}{\lambda} \cos \phi + \pi)}{\sin(\frac{\pi}{\lambda} \cos \phi + \frac{\pi}{4})} \quad (1)$
Potencia radiada	$P_{rad} = \frac{15}{\pi} I_{max}^2 (23.147)(1.2188) = 134.7002 I_{max}^2 \quad (2)$
Resistencia de radiación	$R_{rad} = \frac{2P_{rad}}{I_{max}^2} = 269.4005 \Omega \quad (3)$
Ancho de haz	$\Omega_a = 0.1464(23.147)(1.2188) = 4.1318 [Sr] \quad (4)$
Directividad	$D[dB] = 10 \log(3.0413) = 4.8306 dB \quad (5)$
Ganancia	$G[dB] = 10 \log(3.0300) = 4.81 dB \quad (6)$
Apertura efectiva	$A_{ef} = \frac{D\lambda^2}{4\pi} = \frac{3.0413(\frac{24}{11})^2}{4\pi} = 1.1520 m^2 \quad (7)$

METODOLOGÍA

La antena ADC es un arreglo de cuatro dipolos de $\lambda/2$ dispuestos en parejas. La figura 1 muestra las parejas de dipolos A y B con la configuración de doble dipolo cruzado orientado a los cuatro puntos cardinales. La pareja A correspondió a los puntos norte/sur, la pareja B correspondió a los puntos oriente/occidente. Inicialmente se seleccionaron varillas de cobre huecas con $D=8\text{mm}$, que corresponde al valor medio de los experimentos realizados por Alvarez-Busani (2012); posteriormente se cortaron los ocho brazos de los cuatro dipolos a una longitud práctica mediante la siguiente fórmula: $L_{\text{Práctica}}=(0.48A\lambda)/2$, donde $A=(L/D)/(1+(L/D))$, L es la longitud eléctrica de $\lambda/2$ y D es el diámetro.

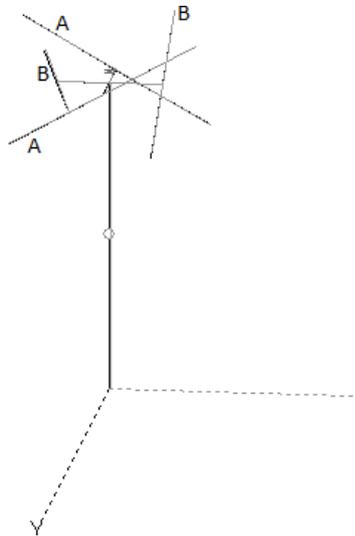


Fig. 1: Representación 3D de la ADC.

Los materiales utilizados para la construcción de ADC fueron tubos y accesorios de PVC (tapas, codos, T's, ferritas, toroide y adhesivo), varillas conductoras de cobre huecas con $D=8\text{mm}$, una caja de luz con cinco orificios y cable coaxial. Cada pareja de dipolos de $\lambda/2$ fueron introducidos en sendos tubos de PVC y ensamblados a una caja de electricidad. Los dos dipolos de $\lambda/2$ se conectaron en serie y se inclinaron 30° respecto del origen de coordenadas para minimizar los lóbulos de bajo orden (nulos en dirección por debajo de la antena) y conseguir un diagrama circular óptimo para la recepción de señales desde el satélite. La impedancia equivalente de los dos pares de dipolos en paralelo arrojó una impedancia total de entrada de la antena de 50Ω que acopló con el cable coaxial. Por último, se hizo la base para darle estabilidad a la antena, y se dispuso la ADC a una altura menor de $\lambda/4$ (figura 2).

Para la conexión de la antena al generador es necesario que dos de los dipolos enfrentados (norte y sur) se encuentren desfasados 90° con respecto al segundo par de dipolos enfrentados (este y oeste), esto es posible con una conexión de una línea de longitud $\lambda/4$ más que la que conecta a la otra pareja de dipolos. Para el cálculo de la longitud de onda práctica λ_p se tuvo en cuenta la restricción de la velocidad de la luz en el conductor que para un cable coaxial RG-215 es de 0.66 y de esta forma determinar la longitud del tramo $\lambda/4$ para garantizar el desfase requerido. También se utilizaron ferritas en la interconexión entre la línea y el cable. Con lo anterior se buscaba el menor desfase de la onda, y menores pérdidas por acoplamiento.



Fig. 2: Construcción física y configuración de los elementos de la ADC

La simulación y evaluación de los parámetros de la ADC diseñada se hizo con el software MMANA-GAL Basic y FEKO V5.5. En la tabla 2 se muestra las magnitudes en metros de las dimensiones de la ADC, que se ingresaron al software. Como se muestra en la tabla 3, el software de simulación permite calcular la impedancia de la antena para el ancho de banda de diseño. Las características del patrón de radiación del arreglo fue omnidireccional (con máximos hacia el horizonte y nulos entre hemisferios): El lóbulo primario se ubica en $\theta=90^\circ$ y los nulos en $\theta=0^\circ$.

Tabla 2: Magnitudes correspondientes a las dimensiones de la ADC que se ingresaron al software Mmana-Gal Basic para obtener sus parámetros

No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)
1	-0,2	0,3464	0,4	-0,2	0	0,2	0,8
2	0,2	0,3464	0	0,2	0	0,2	0,8
3	-0,2	-0,3464	0	-0,2	0	0,2	0,8
4	0,2	-0,3464	0,4	0,2	0	0,2	0,8
5	-0,3464	0,2	0	0	0,2	0,2	0,8
6	0,3464	0,2	0,4	0	0,2	0,2	0,8
7	-0,3464	-0,2	0,4	0	-0,2	0,2	0,8
8	0,3464	-0,2	0	0	-0,2	0,2	0,8

Tabla 3: Algunos valores de impedancia de la ADC obtenidos en el software Mmana-Gal Basic para ancho de banda de 40 KHz

F(MHz)	R(Ohm)	jX(Ohm)
157.0	57.58	291.6
147.0	54.52	256.5
137.0	54.55	221.5
127.0	58.98	183.4
117.0	74.77	141.0

Las pruebas preliminares de transmisión y recepción de señal se realizaron con un kit de antenas de Feedback® y a una $F_c=167\text{MHz}$. Posteriormente se hicieron las pruebas de funcionamiento con señales de ancho de banda de 40KHz, y medidas de VSWR y coeficiente de reflexión, con la ayuda de un generador de RF ASD512 (Feedback®) y analizador de espectros MD03104 (Tektronix®). Por último, se recibieron imágenes meteorológicas en formato APT de la zona centro y norte de Colombia que se transmitían de un satélite NOAA15, y se recibían con la ADC construida. Estas experiencias se realizaron en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá D.C.

RESULTADOS

Las pruebas preliminares en las cuales se transmitió una portadora de 5W con una antena helicoidal LHCP y se recibió con la antena ADC (RHCP), se obtuvo la forma de señal mostrada en la figura 3.

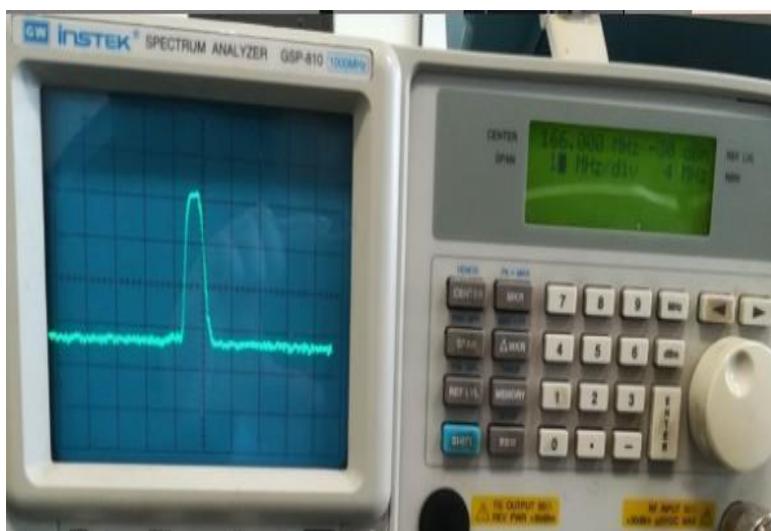


Fig. 3: Señal portadora recibida desde la ADC

Se invirtieron las ubicaciones de las dos antenas. Ahora se transmitía con la ADC desde el kit de antenas de Feedback®. Se evidenció en el generador de RF que 1W de los 5W transmitidos se devolvían hacia el generador: coeficiente de reflexión de 0.25 (figura 4).



Fig. 4: Potencia reflejada de la ADC

Se ajustaron el ángulo de inclinación de los brazos de los dos dipolos cruzados de 30° a 35°, y la altura de la antena a $h < \lambda/4$, y se obtuvo en la salida de la antena receptora de dipolos cruzados un coeficiente de reflexión de 0.23 y una portadora con mayor nivel de señal (figura 5).

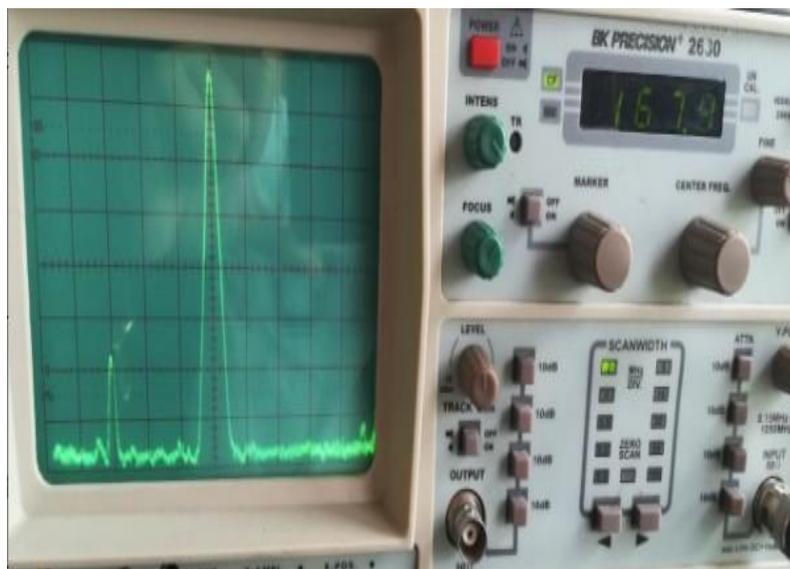


Fig. 5: Recepción de señal portadora en el analizador cuando se transmitía con la ADC

La ADC diseñada presenta un coeficiente de reflexión de 0.23 (-6.4dB) y VSWR=1.6 a una frecuencia de 144.5MHz, y a $F=137\text{MHz}$ cambia el coeficiente de reflexión a 0.63 (-2dB). Esto debido a que se simuló la ADC con elementos de longitud eléctrica de $\lambda/2$ (1.09m), de tal manera que el coeficiente de reflexión de 0.23 se movió a la frecuencia de 137MHz, cuando los mismos elementos se cortaron a la longitud práctica.

La figura 6 corresponde a una imagen meteorológica del centro y norte de Colombia con resolución de 72 dpi. En el momento de la recepción se observó en el analizador de espectros una desviación de frecuencia de portadora de $\pm 10\text{KHz}$, atenuación por efecto de cables utilizados en el proceso de medición (Suarez-Fajardo et al., 2017) y reducción del ancho de banda de la señal modulada influenciados por el efecto Doppler, que hizo que la amplitud de la portadora disminuyera y la frecuencia variara rápidamente mientras el satélite pasaba sobre la estación receptora (Mahmood et al., 2016; Qaise et al., 2008).

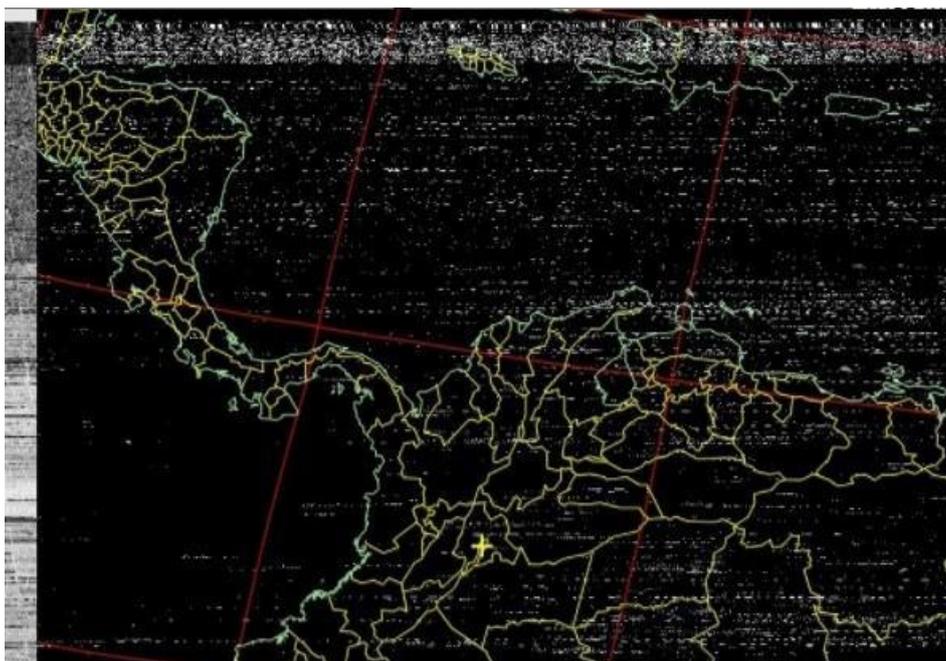


Fig. 6: Primera recepción de imagen meteorológica transmitida desde NOAA15 y recibida con ADC

La figura 7 corresponde a la segunda imagen meteorológica de la misma zona del país, pero con una resolución de 72 dpi y una desviación de frecuencia de $\pm 12\text{KHz}$. Esta imagen se mejoró cuando el cable coaxial (RG-215) se cambió por otro con mejor blindaje, pero con la misma impedancia característica de 50Ω .

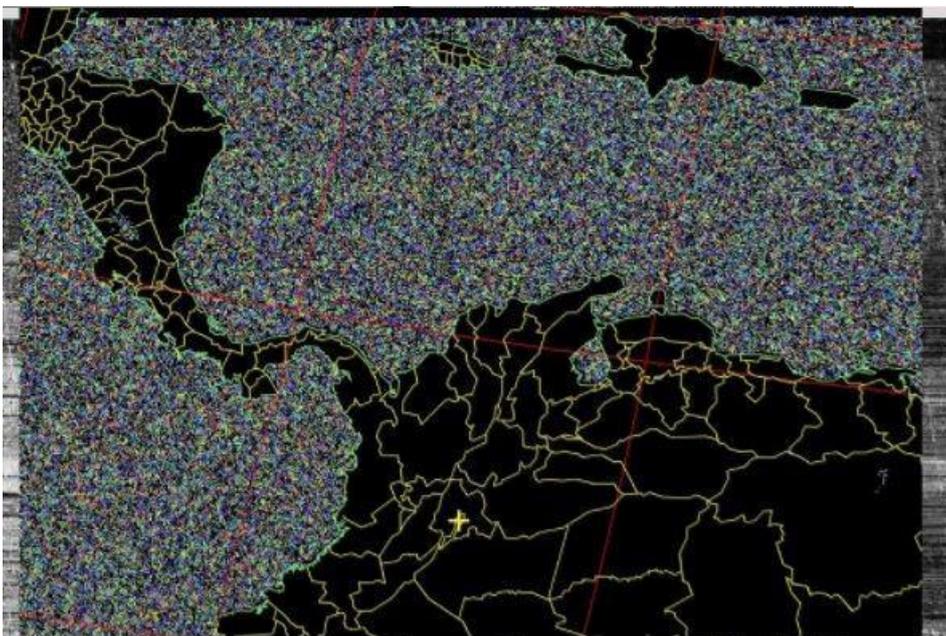


Fig. 7: Segunda recepción de imagen meteorológica transmitida desde NOAA15 y recibida con ADC.

La figura 8 corresponde al tercer y último intento de recepción de imágenes en formato APT; en esta oportunidad se recibió una imagen a color con resolución de 120 dpi, y desviación de frecuencia de $\pm 17\text{KHz}$. En la parte superior de esta imagen se aprecia degradación mediante una línea oscura como resultado de los nulos del plano de elevación de reflejo de tierra. Las imágenes obtenidas en cada uno de los sobrevuelos de NOAA15 pueden tener diferencias considerables con respecto a la distancia con el zenit ya que cambian los ángulos con los cuales se presenta el satélite a la estación terrena.

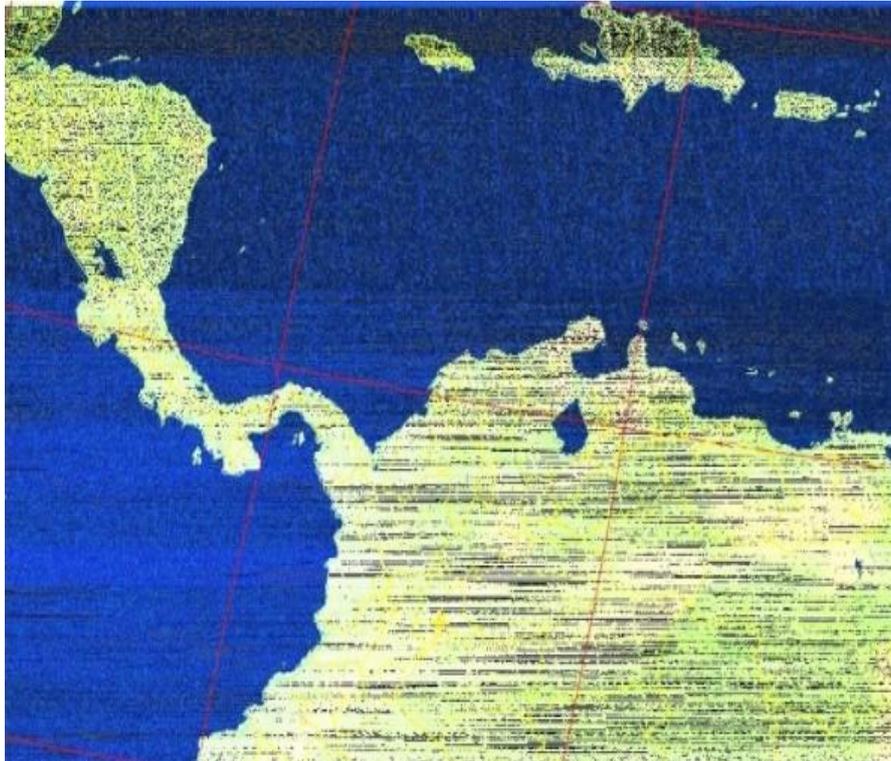


Fig. 8: Tercera recepción de imagen meteorológica transmitida desde NOAA15 y recibida con ADC.

DISCUSION FINAL

Acerca de las estrategias aplicadas en el diseño y construcción de la antena para lograr mejor desempeño, la selección de un diámetro de los elementos de $D=8\text{mm}$ y su acortamiento eléctrico de $0.47\lambda/2$ ($A=0.993$), permitió mejorar el ancho de banda (se recibieron imágenes APT a 120 dpi), y recibir más potencia debido a la reducción de las pérdidas de campo eléctrico por efecto de bordes. Sin embargo, se afectó el área efectiva de captura. El uso de ferritas en la interconexión línea-antena, y la longitud del tramo de línea de $\lambda/4$, permitió mejorar el acople entre la impedancia mutua del arreglo y el puerto de conexión tipo SMA de 50Ω ; como resultado se obtuvo un coeficiente de reflexión de 0.23, y coeficiente de desadaptación de 0.9471, que es bueno. Sin embargo, lo deseable es que el ROE sea ≤ 1.22 , tal que se minimicen las pérdidas de retorno, y no excedan el 1% de la onda incidente en todo el ancho de banda de interés.

CONCLUSIONES

La ADC tiene mejor desempeño en la recepción de las imágenes APT, en entornos semiurbanos, cuando se ubica a una altura menor de $\lambda/4$ respecto de la tierra, y sus elementos cuentan con un diámetro de 8mm, se cortan a una longitud práctica de 0.48λ y se inclinan 35° respecto del eje de coordenadas de la antena. Lo anterior propicia mejor diagrama de radiación por la mayor ganancia para los ángulos bajos para el zenit cuando el satélite pasa por la estación meteorológica.

El uso de ferritas en las interconexiones entre los elementos y la línea de transmisión minimizó las pérdidas en el cable coaxial lográndose mayor transferencia de potencia. La función de la ferrita fue disminuir la inductividad de la malla para evitar que una corriente proveniente del conductor central pudiera pasar a la malla; además, redujo el ruido de la antena. También mejoró el coeficiente de reflexión en -6.4dB

La sensibilidad del receptor de -45dB fue una de las causas de la baja resolución de las imágenes recibidas. El ajuste del ángulo de inclinación de los brazos de los dipolos condujo a empalmes mecánicos deficientes con pérdidas de señal por falta de contacto y discontinuidad. El ángulo de elevación de la ADC de 0° sobre el plano de tierra natural, posiblemente pudo ser la causa de la recepción de imágenes APT con ruido procedente del entorno semiurbano, además de las interferencias de señales de radiolocalizadores que se recibían frecuentemente.

Para la recepción de satélites de órbita polar es necesario la antena de recepción no sea muy directiva pero sí que busque un área de captura muy grande, es decir que permita, sin la necesidad de modificar su ángulo de recepción, recibir la señal del satélite alrededor de ella. Es necesario también que tenga una polarización de tipo circular igual que la polarización con la que transmite el satélite.

REFERENCIAS

- Alvarez-Busani, C., Diseño y construcción de una antena doble Cross para recepción de imágenes procedentes de órbita polar, Proyecto Final de Carrera, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña-España (2012)
- Balanis, C.A., Antenna Theory: Analysis and Design, 3ª Ed., 844-846, J. Wiley, New York, USA (2005)
- Bosquez, C., A. Ramos y L. Noboa, System for receiving NOAA meteorological satellite images using software defined radio, doi: 10.1109/ANDESCON.2016.7836233, ANDESCON, 2016 IEEE, 1, 1-4 (2017)
- Hassini, A., N. Benabadi y A.H. Belbachir, Reception of the APT weather satellite images, ISSN: 1546-9239, Advances in Modelling and Analysis B, 48, 25-42 (2005)
- Kraus, D.J. y J.R. Marhefka, Antennas, 3ª Ed., 279-318, Mc Graw-Hill, Ohio, USA (2001)
- Mahmood, S., M.T. Mushtaq y G. Jaffer, Cost efficient design approach for receiving the NOAA weather satellites data, doi: 10.1109/AERO.2016.7500854, IEEE Aerospace Conference, June – (2016)
- Martes, A., Double cross-a NOAA satellite downlink antenna (2008)
- Qaise, O., S. Theil y D. Bindel, Advanced Technologies for Space Operation. Cost effective one-way Doppler measurements correction of NOAA satellites using GPS dissemination, SpaceOps, Heidelberg, Germany, 12 de Mayo (2008)
- Suarez-Fajardo, C.A., C.D. Martin-Jackson y G.A. Puerto-Leguizamón, Antena de parche cortocircuitado con polarización circular y sentido de giro reconfigurable para aplicaciones en satélites de reducido tamaño, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000600014>, Información Tecnológica, 28(6), 125-132 (2017)
- Tsai, L.C., M.H. Tien, G.H. Chen e Y. Zhang, HF radio angle-of-arrival measurements and ionosonde positioning, Terrestrial, doi: 10.3319/TAO.2013.12.19.01(AA), Atmospheric and Oceanic Sciences, 25(3), 401-413 (2014)