

## AVANCE DE INVESTIGACIÓN

# CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE RADAR METEOROLÓGICO DE BANDA X EN EL PERÚ

**Juan C. Espinoza<sup>1</sup>, Alexander Valdez<sup>1</sup>, Daniel Ortecho<sup>1</sup>, Karim Kuyeng<sup>1</sup>, Danny Scipión<sup>1</sup> y Marco Milla<sup>1</sup>**

## RESUMEN

En este boletín científico presentamos los avances en el desarrollo del primer prototipo de radar meteorológico de banda X completamente desarrollado en el Perú. El sistema es compacto y transportable y cuenta con una antena parabólica de 1.2m de diámetro de doble polarización instalada sobre un posicionador<sup>1</sup>, que permite el movimiento en azimut y elevación. Además, los sistemas de transmisión y recepción del radar están basados en tecnologías SDR (Software Defined Radio) para mayor flexibilidad en su configuración.

El objetivo del radar es realizar mediciones de las precipitaciones en una determinada región, cubriendo un área de varias decenas de kilómetros alrededor del radar para así poder realizar investigaciones sobre las condiciones atmosféricas en esta región. La construcción de este prototipo viene siendo realizada por el Instituto Geofísico del Perú, en su sede del Radio Observatorio de Jicamarca, y es financiada por el fondo para intervenciones ante la ocurrencia de desastres naturales (FONDES) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

**Palabras clave:** Radar meteorológico, precipitaciones, lluvia, desarrollo tecnológico, El Niño y La Niña.

### AFILIACIÓN:

1- Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Citar como: Espinoza, J.C., Valdez, A., Ortecho, D., Kuyeng, K., Scipión, D., Milla, M. (2020). Construcción de un prototipo de radar meteorológico de banda X en el Perú. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N° 06. pág. 15-22.

---

<sup>1</sup>Posicionador o pedestal es un dispositivo que permite el movimiento de la antena parabólica en azimut y elevación y que permite ser controlado tanto por posición como por velocidad.

## INTRODUCCIÓN

El territorio peruano se ve afectado frecuentemente por los fenómenos naturales. En particular por las lluvias intensas que se pueden dar, por ejemplo, durante la ocurrencia del fenómeno El Niño o La Niña, lo que conlleva a la activación de distintas quebradas que desencadenan los huaicos y deslizamientos en diferentes zonas del país. Esto genera grandes pérdidas materiales y económicas, así como la invaluable pérdida de vidas humanas.

En los últimos años, los sistemas de radar se han usado en una amplia gama de aplicaciones: defensa, el campo automotriz, medicina, tráfico, incluso los deportes (Reina et al., 2015). Los radares meteorológicos, en particular, permiten el monitoreo continuo de las precipitaciones, cubriendo un área de varias decenas de kilómetros a su alrededor con una resolución espacial de algunas decenas de metros y con una resolución temporal en el orden de los minutos. Esta información contribuye a la investigación científica en temas relacionados a la distribución espacial de la precipitación, microfísica y clasificación de hidrometeoros, modelado numérico atmosférico, entre otros. Pero también la información que generan los radares puede ser usada en temas de gestión del riesgo de desastres. Por ejemplo, la información sobre la cantidad de lluvia que cae en una determinada quebrada puede introducirse a los modelos geodinámicos del lugar para determinar la potencial activación de dicha quebrada, así mediante la determinación de umbrales de lluvia, se pueden activar sistemas de alerta para prevenir a las poblaciones que pueden verse afectadas.

Es por esta razón que el Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene realizando la construcción de un prototipo de radar meteorológico SOPHy (Scanning-system for Observation of Peruvian Hydrometeorological-events), tarea financiada por el fondo para intervenciones ante la ocurrencia de desastres naturales (FONDES) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

## DESARROLLO DEL RADAR

Los radares meteorológicos que operan en la banda X han sido aplicados para la estimación cuantitativa de precipitación en forma limitada debido a la alta tasa de atenuación de las señales de radar en la lluvia. Sin embargo, el uso de radares con doble polarización proporciona una nueva herramienta para corregir los efectos de atenuación, aumentando así la utilidad de estos radares para la estimación de lluvia. Adicionalmente, los radares de banda X presentan ciertas ventajas sobre los radares de longitud de onda más larga que operan en las bandas C o S. Estas ventajas incluyen mayor movilidad, menor tamaño, menor consumo de energía, resolución espacial potencialmente mayor y señales de fase diferencial más fuertes (Matrosov et al., 2005).



Durante el verano del 2018, el IGP en colaboración con el Centro de Investigaciones Avanzadas de Radar (ARRC, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Oklahoma operaron en el Perú el radar meteorológico PX-1000 (Cheong et al., 2013). Este radar fue instalado en la sierra de Lima para medir la lluvia en la cuenca media del río Rímac, y así poder realizar estudios de modelado de lluvias y huaicos en la zona. Dados los resultados obtenidos con el PX-1000 y la amplia experiencia que tiene el IGP en el desarrollo de radares, se definieron las especificaciones técnicas del radar SOPHy, las cuales se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1: Especificaciones del radar SOPHy.

Generales	Frecuencia de operación	9345 MHz
	Rango de observación	50 km
Posicionador Orbit AL-4016S	Cobertura	Azimut (0° a 360°) Elevación (-5° a 185°)
	Máxima carga	120 kg
	Máxima velocidad angular	30° s <sup>-1</sup>
	Interface de control	RS422
Antena Seavey C0824-810A	Ganancia	38.5 dBi
	Diámetro	1.21 m
	Ancho del haz (beamwidth)	1.8°
	Polarización	doble
Amplificador de potencia Advantech Wireless SSPA	Potencia pico	200 W
	Ancho de pulso	1 µs a 100 µs
	Ciclo de trabajo (duty cycle)	15 %
Sistema de transmisión y recepción de RF USRP N200	Frecuencia intermedia (IF)	70 MHz
	ADC	14-bit @ 100 MS/s
	DAC	16-bit @ 400 MS/s
	Ancho de banda	8 MHz

## HARDWARE

En la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques del funcionamiento del radar. La frecuencia de operación del radar es de 9345 MHz, para lo cual se emplean convertidores de frecuencia de la banda X a una frecuencia intermedia de 70 MHz. Utilizando un amplificador de estado sólido de 200 W de potencia pico se espera alcanzar un rango de observación de 50km. El sistema de transmisión / recepción está basado en tecnología SDR (Software Defined Radio) que nos permitirá probar diferentes formas de onda para el pulso de transmisión y re-configurar vía software los parámetros del sistema de recepción.

El pedestal o posicionador de la antena permite movimientos tanto en azimut como en elevación, por lo que será posible realizar escaneos en modos PPI (Plan Position Indicator) y RHI (Range Height Indicator). Todo el sistema estará montado sobre un tráiler para permitir su traslado a diferentes zonas y se utilizará un "radomo" para su protección.

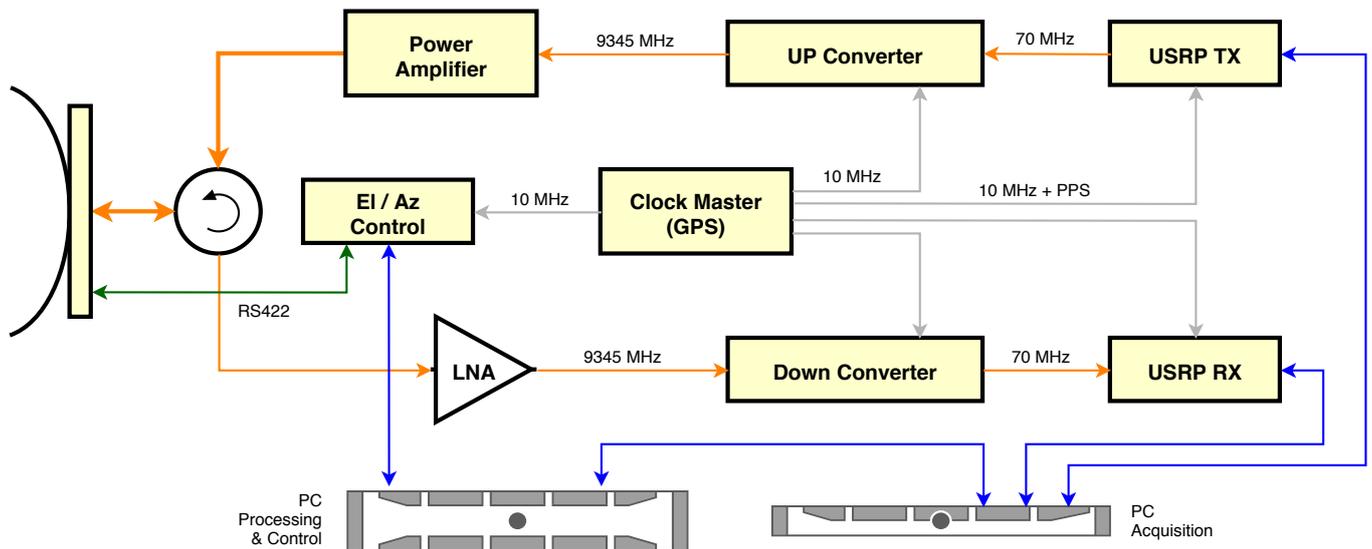


Figura 1. Diagrama de bloques del radar (una polarización).

## SOFTWARE

Para el desarrollo del software se utilizarán herramientas y lenguajes de código abierto, como GNU Radio (<https://www.gnuradio.org/>), para la programación del sistema de transmisión/recepción y el lenguaje Python (<https://www.python.org/>) para el procesamiento de los datos (Tabla 2). Los algoritmos de procesamiento se vienen implementando como parte de la librería Signal Chain, la cual es utilizada en el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) para el procesamiento de datos de radar, que cuenta con módulos para lectura, procesamiento y ploteo de datos. Además, se realizará la integración con librerías estándar como Wradlib (<https://wradlib.org/>) y Py-Art (Helmus & Collis, 2016, p.) para la visualización y post-procesamiento de los datos.

Tabla 2: Datos generados por el radar.

Nivel	Tipo de dato	Formato
0	Datos crudos (Voltajes)	DigitalRF
1	Momentos (Potencia, Frecuencia Doppler, Ancho Espectral, etc.)	HDF5 / NetCDF
2	Parámetros (Reflectividad, Estimados de Precipitación, etc.)	HDF5 / NetCDF

## ESTADO ACTUAL

Actualmente venimos trabajando en el montaje y ensamblado de los componentes del radar (Figura 2), realizando pruebas con los diferentes equipos de hardware y desarrollando el sistema de control de posición del pedestal basado en un sistema embebido.

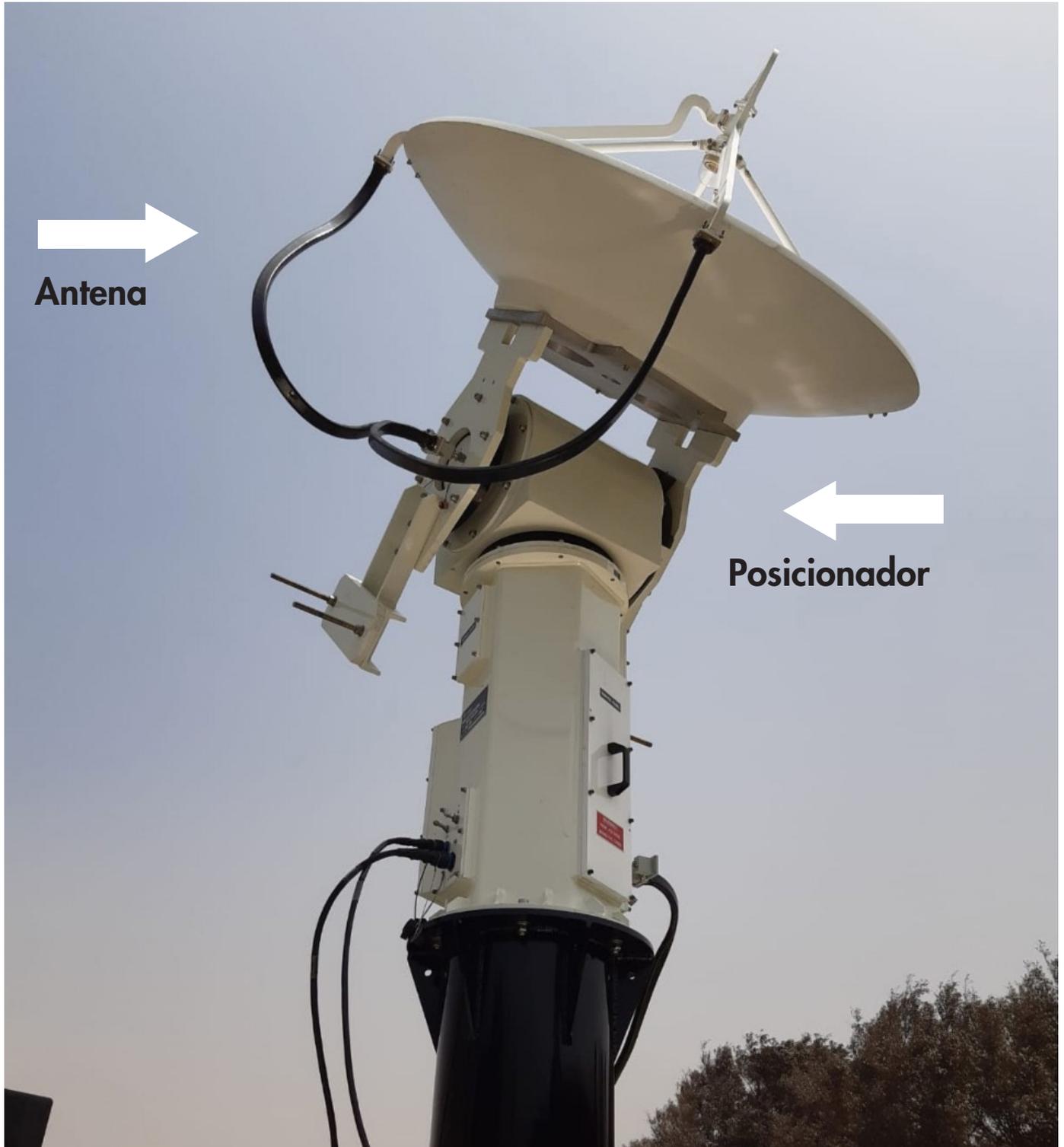


Figura 2. Vista de la antena y posicionador del radar.

Respecto al desarrollo del software, se han implementado los algoritmos de procesamiento de datos basados en la técnica "Pulse Pair" (Benham et al., 1972), este algoritmo, ampliamente usado en la comunidad, nos permite estimar los tres primeros momentos de los ecos del radar: potencia de la señal (reflectividad Z), frecuencia Doppler media (velocidad radial) y ancho espectral. Se viene trabajando para la obtención de las otras tres variables polarimétricas: reflectividad diferencial, coeficiente de correlación y fase diferencial. Estos algoritmos han sido implementados en la librería Signal Chain, y se han validado utilizando la técnica de momentos en el dominio de la frecuencia.

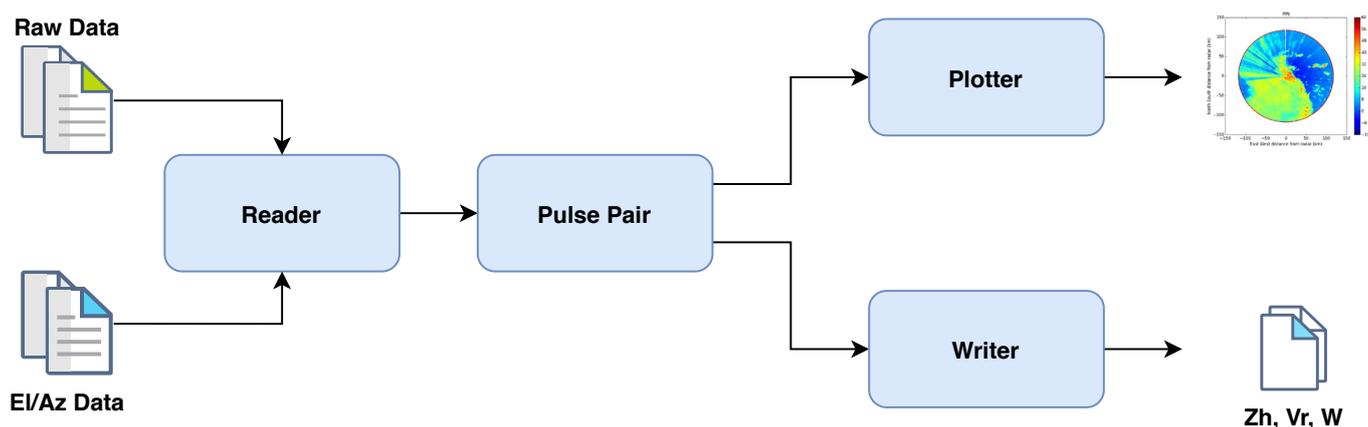


Figura 3. Arquitectura del software de procesamiento.

## CONCLUSIONES PRELIMINARES

1. El radar SOPHY es el primer radar meteorológico de doble polarización que ha sido desarrollado por completo en el Perú y su uso en campañas de observación permitirá mejorar los estimados de lluvia, los cuales serán utilizados como base para nuevas investigaciones científicas. Además, su aplicación en el monitoreo continuo de lluvias, en especial durante eventos El Niño o La Niña, facilitará la implementación de sistemas de alerta temprana basados en acumulados de lluvia.
2. La experiencia y el *know-how* ganado en este proyecto permitirá no solo realizar la operación y soporte con personal de la institución, sino también reducir los costos de mantenimiento del radar.

## REFERENCIAS

Benham, F. C., Groginsky, H. L., Soltes, A. S., & Works, G. A. (1972). *Pulse pair estimation of Doppler spectrum parameters*. RAYTHEON CO WAYLAND MA EQUIPMENT DEVELOPMENT LABS.

Cheong, B. L., Kelley, R., Palmer, R. D., Zhang, Y., Yeary, M., & Yu, T.-Y. (2013). *PX-1000: A Solid-State Polarimetric X-Band Weather Radar and Time-Frequency Multiplexed Waveform for Blind Range Mitigation*. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 62(11), 3064-3072. <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2270046>

Helmus, J., & Collis, S. (2016). *The Python ARM Radar Toolkit (Py-ART), a Library for Working with Weather Radar Data in the Python Programming Language*. *Journal of Open Research Software*, 4(1), e25. <https://doi.org/10.5334/jors.119>

Matrosov, S. Y., Kingsmill, D. E., Martner, B. E., & Ralph, F. M. (2005). *The Utility of X-Band Polarimetric Radar for Quantitative Estimates of Rainfall Parameters*. *Journal of Hydrometeorology*, 6(3), 248-262. <https://doi.org/10.1175/JHM424.1>

Reina, G., Johnson, D., & Underwood, J. (2015). *Radar Sensing for Intelligent Vehicles in Urban Environments*. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 15(6), 14661-14678. <https://doi.org/10.3390/s150614661>