

# Diseño e implementación de sistema para la detección de pulsos de radio producidos por astropartículas

Jesús Bonilla Neira

Grupo de investigación en Relatividad y Gravitación, GIRG, UIS

Grupo de Investigación RadioGis, UIS

Instituto de Tecnología en Detección de Astropartículas  
(CNEA-CONICET) Argentina



Universidad  
Industrial de  
Santander



# Contenido

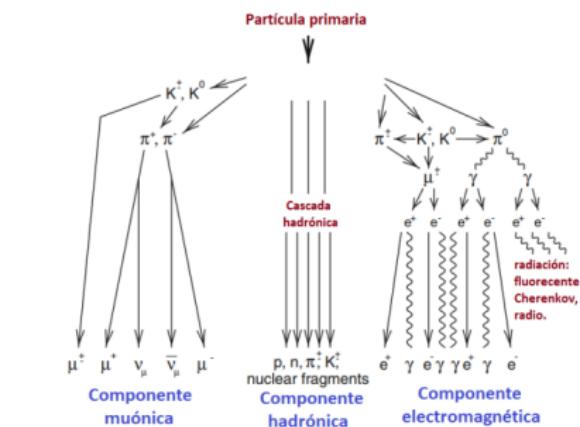
- 1 Planteamiento del problema
- 2 Requerimientos de diseño
- 3 Diseño de la estación
- 4 Implementación de la estación
- 5 Mediciones y verificación
- 6 Conclusiones

## Planteamiento del problema

# Marco teórico

## Las astropartículas

- Núcleos atómicos, partículas neutras y fotones.
- Interacción de partículas con la atmósfera.
- Componente hadrónica, muónica y electromagnética.

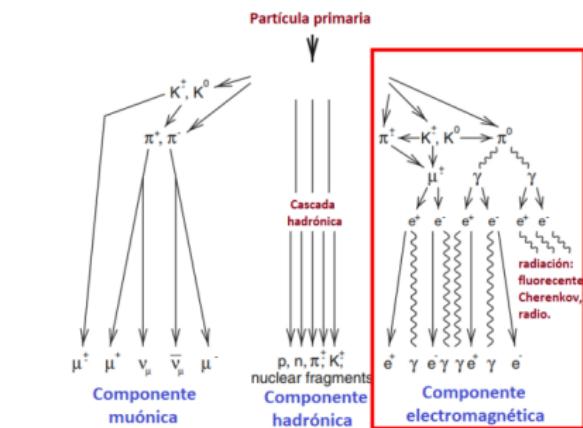


Modificada de: Frank G. Schröder. 2012. Instruments and Methods for the Radio Detection of High Energy Cosmic Rays

# Marco teórico

## Las astropartículas

- Núcleos atómicos, partículas neutras y fotones.
- Interacción de partículas con la atmósfera.
- Componente hadrónica, muónica y electromagnética.



Modificada de: Frank G. Schröder. 2012. Instruments and Methods for the Radio Detection of High Energy Cosmic Rays

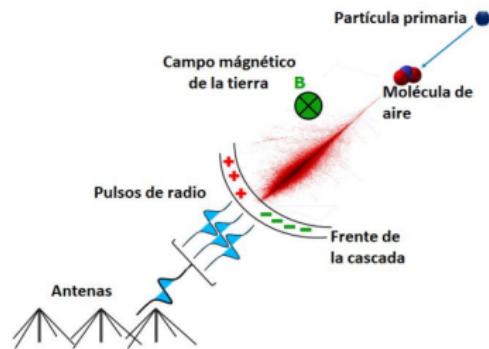
# Marco teórico

## Las astropartículas

- Núcleos atómicos, partículas neutras y fotones.
- Interacción de partículas con la atmósfera.
- Componente hadrónica, muónica y electromagnética.

## Emisión de radio pulsos

- Lluvias de partículas (EAS).
- Emisión de radio pulsos.
- Efecto geomagnético
- Efecto Askaryan.

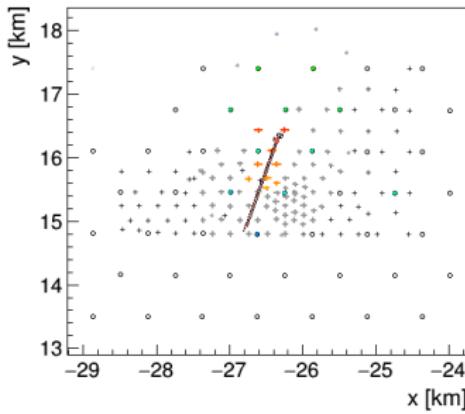
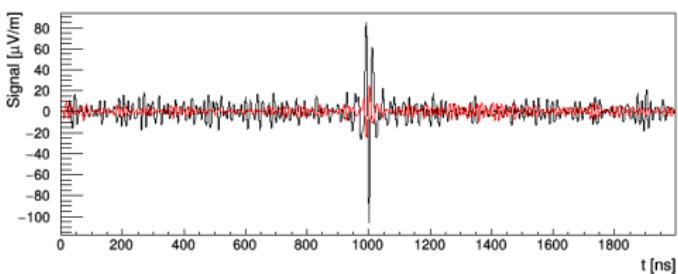


Modificado de: Krause M. 2013 Calibration of the LOFAR Antennas

# Marco teórico

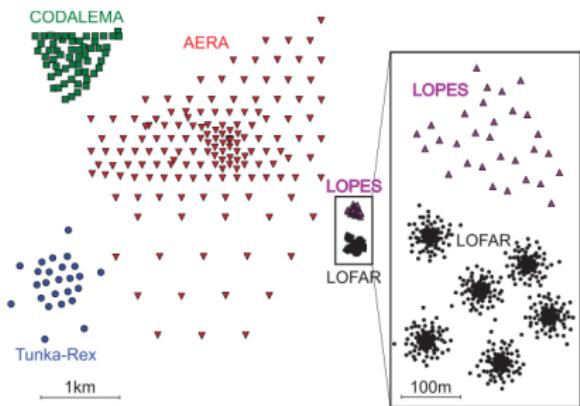
## Características

- Emisión en frecuencias de 4 a 550MHz.
- Magnitudes de señal en el orden de las decenas de ( $\mu V$ ).
- Duración de la señal en el orden de los [ns].
- Bajo costo respecto a demás detectores.

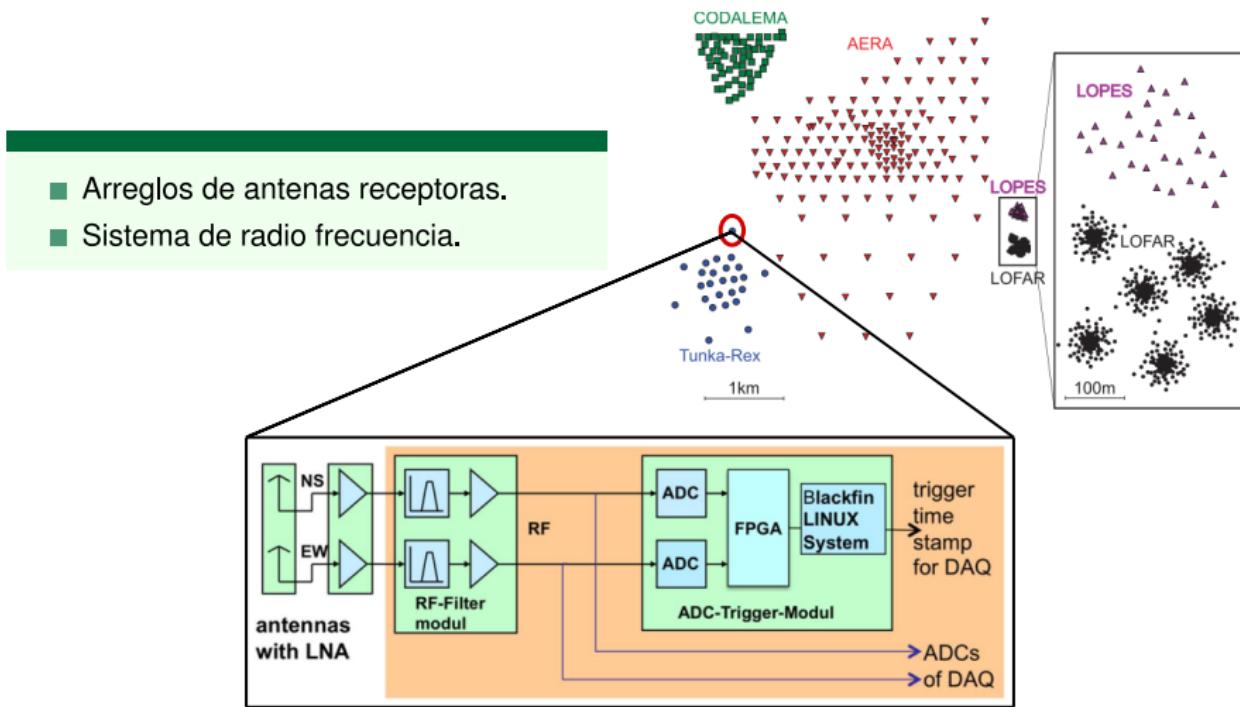


# Detección de radio pulsos

- Arreglos de antenas receptoras.



# Detección de radio pulsos

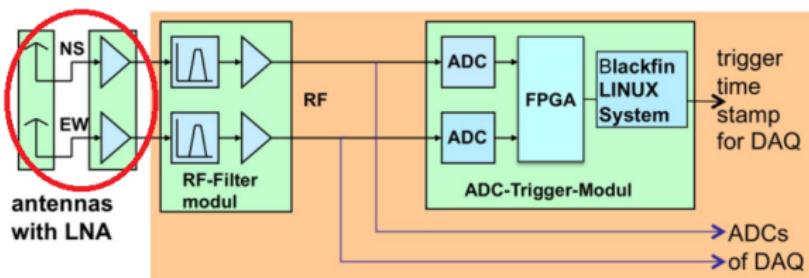
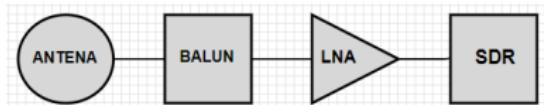


Tomada de: Radio Front-end TunkaRex Colaboration.Rusia- Alemania

# Detección de radio pulsos

## Sistema de radio detección

Compuesto de antena receptora, adaptación, amplificador de bajo ruido y SDR.



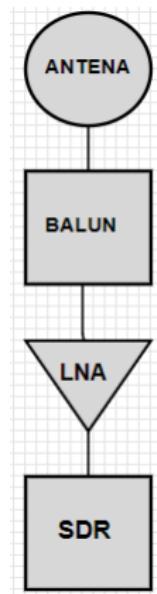
Tomada de: Radio Front-end TunkaRex Colaboration. Rusia- Alemania

## Requerimientos de diseño

# Requerimientos de diseño

## Parámetros de la antena

- Banda de frecuencia de 30 a 80 MHz.
- Recepción en ángulos hasta 70°.
- Temperatura de ruido inferior al medio.



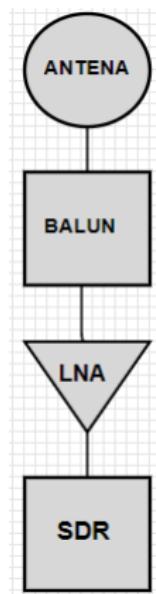
# Requerimientos de diseño

## Parámetros de la antena

- Banda de frecuencia de 30 a 80 MHz.
- Recepción en ángulos hasta 70°.
- Temperatura de ruido inferior al medio.

## Red de adaptación

- Balun comercial (bajas pérdidas).



# Requerimientos de diseño

## Parámetros de la antena

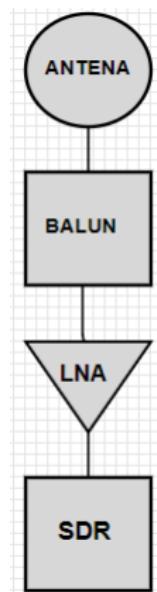
- Banda de frecuencia de 30 a 80 MHz.
- Recepción en ángulos hasta 70°.
- Temperatura de ruido inferior al medio.

## Red de adaptación

- Balun comercial (bajas pérdidas).

## Amplificador de bajo ruido

- Ganancia mínima de 15 dB.
- Figura de ruido máxima de 1.5 dB.
- Ancho de banda de 30 a 80 MHz.



# Requerimientos de diseño

## Parámetros de la antena

- Banda de frecuencia de 30 a 80 MHz.
- Recepción en ángulos hasta 70°.
- Temperatura de ruido inferior al medio.

## Red de adaptación

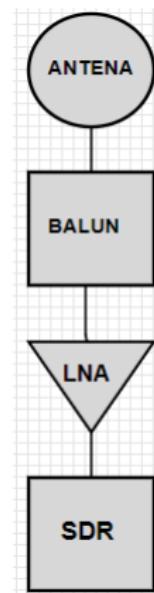
- Balun comercial (bajas pérdidas).

## Amplificador de bajo ruido

- Ganancia mínima de 15 dB.
- Figura de ruido máxima de 1.5 dB.
- Ancho de banda de 30 a 80 MHz.

## Receptor SDR

- Receptor de prueba con SDR.

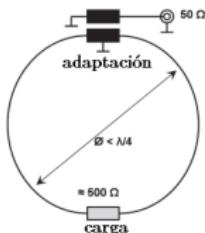


## Diseño de la estación

# Antena receptora

## Antena SALLA

- Doble Loop 1.2m de diámetro.
- Adaptación impedancia 500 Ω.
- Estructura mecánica robusta.

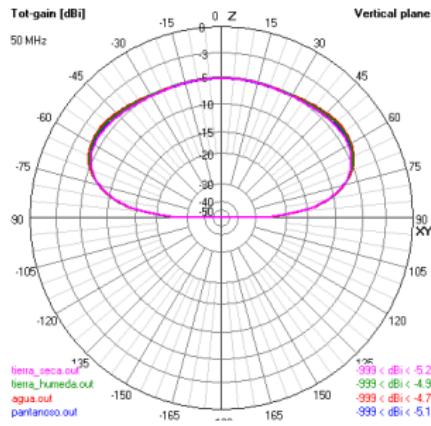
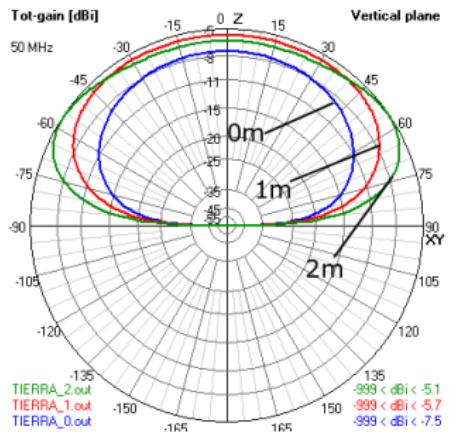
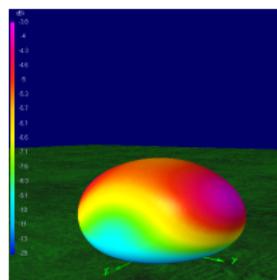


Modificado de: Hiller R. (col). 2013 The Tunka-Rex antenna station. Tunka experiment.

|                             | Antenas     |               |             |
|-----------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                             | LPDA        | BUTTERFLY     | SALLA       |
| Dimensiones [m]             | 4 x 4 x 3.5 | 2 x 2 x 1     | 1.2 Ø       |
| Peso [kg]                   | 20          | 4             | 2           |
| B [MHz]                     | 30 - 80     | 25 - 85       | 30 - 80     |
| Costo [COP]                 | 924.000     | 550.000       | 260.000     |
| Robustez                    | Sí          | Sí            | No          |
| $\Delta\theta_{-3dB}$ E y H | 100° - 160° | No especifica | 150° - 150° |
| $D(\theta, \phi)$ vs f      | No          | Sí            | No          |

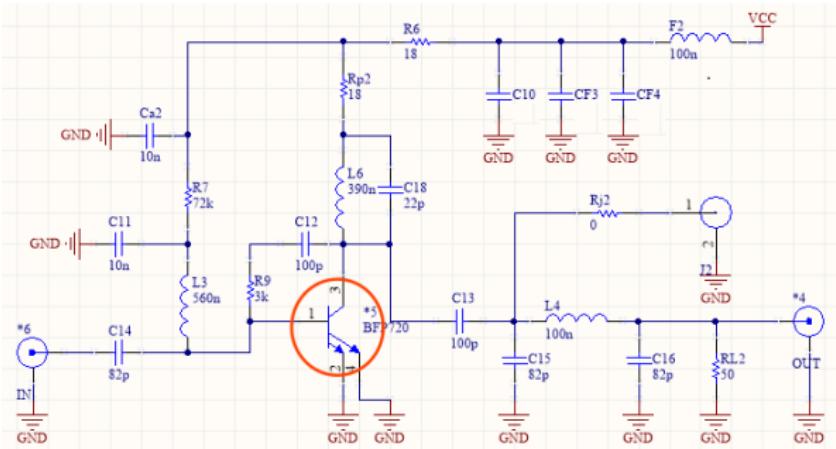
# Simulación de la antena

- Software 4NEC2.
- Ángulo de recepción hasta 70°.
- Parámetros de recepción.
- Efectos de la tierra.



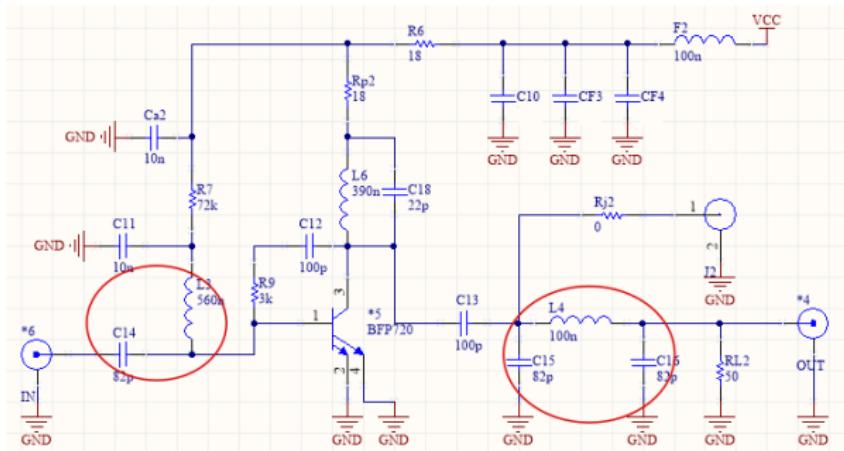
# Amplificador de bajo ruido

- Nivel de ruido predominante en el sistema.
- Ganancia mayor a 15 dB.



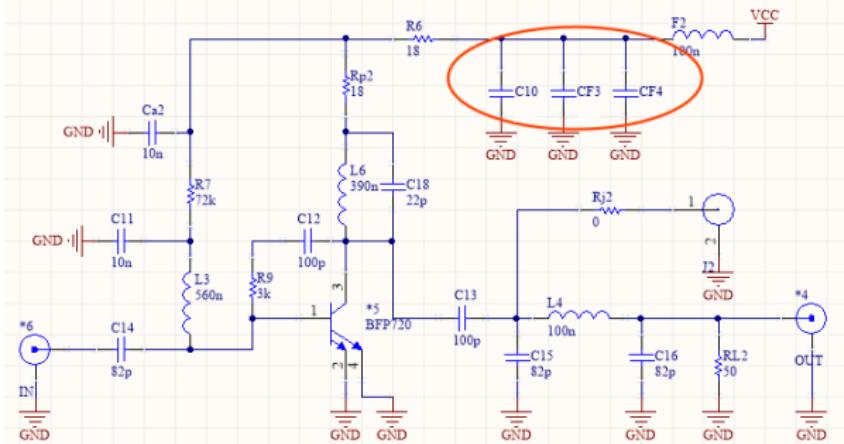
# Amplificador de bajo ruido

- Nivel de ruido predominante en el sistema.
- Ganancia mayor a 15 dB.



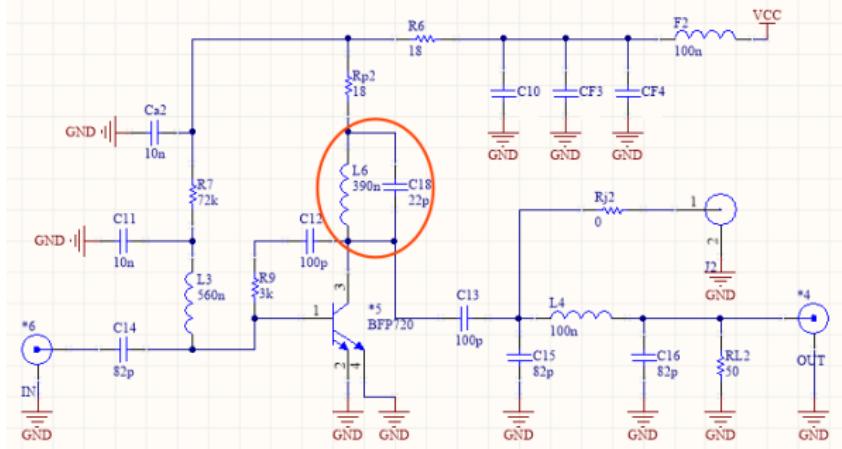
# Amplificador de bajo ruido

- Nivel de ruido predominante en el sistema.
- Ganancia mayor a 15 dB.



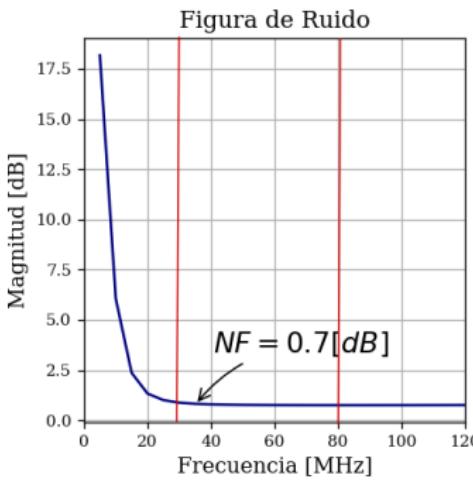
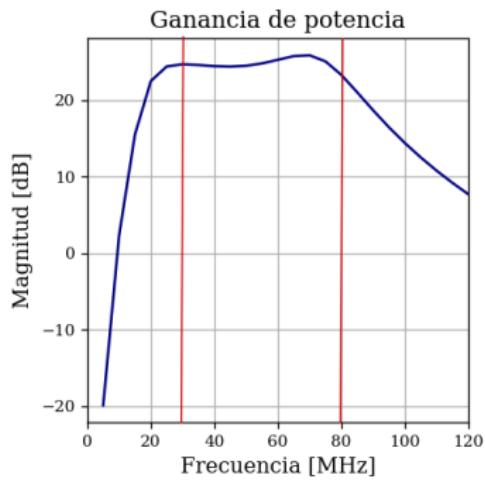
# Amplificador de bajo ruido

- Nivel de ruido predominante en el sistema.
- Ganancia mayor a 15 dB.



# Simulación del LNA

- Simulaciones en Python 3.7 (scikit-RF).
- Ganancia mayor a los 15 dB en la banda de 30 a 80 MHz.
- Figura de ruido de 0.7 dB.



## Implementación de la estación

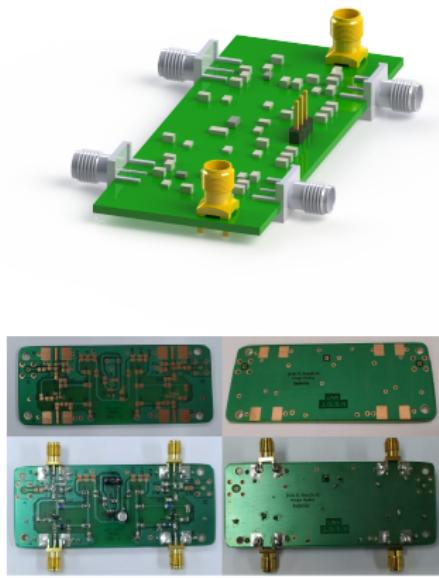
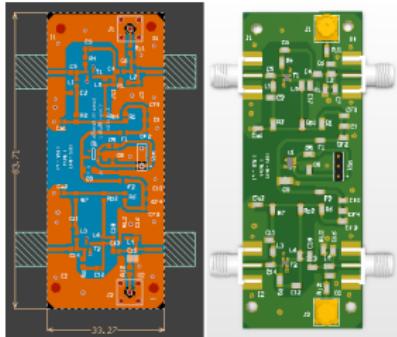
# Construcción de la antena

- Espiras de aluminio.
- Maquinaria metalúrgica para su construcción.
- Estructura fija dispuesta a 1.6 metros del suelo.



# Diseño de la PCB del LNA

- Diseño compacto.
- Alta inmunidad a EMI.
- Diseño con base en EMC para RF.



## Mediciones y verificación

# Pruebas

## Evaluación de la implementación

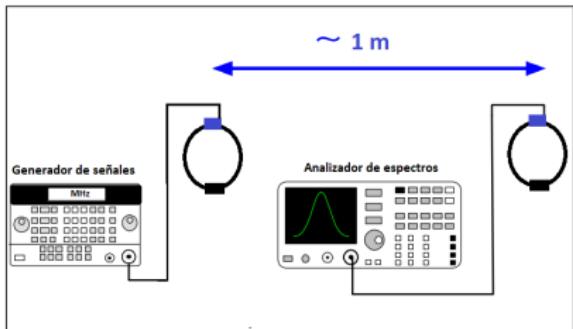
- Pruebas de recepción de la antena.
- Pruebas del LNA.
- Pruebas del sistema en conjunto.



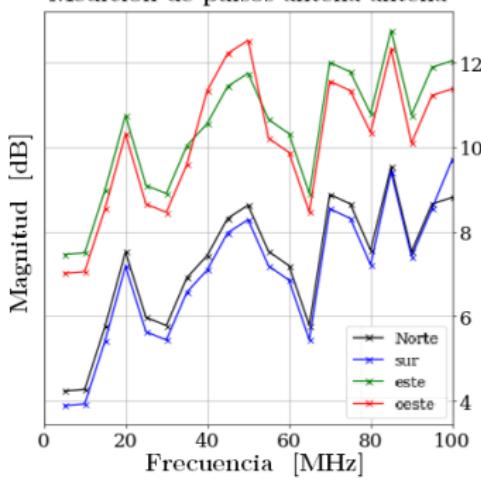
# Mediciones de la antena

- Corroboration de patrón de radiación.
- Implementación antena-antena.

Montaje de la prueba:



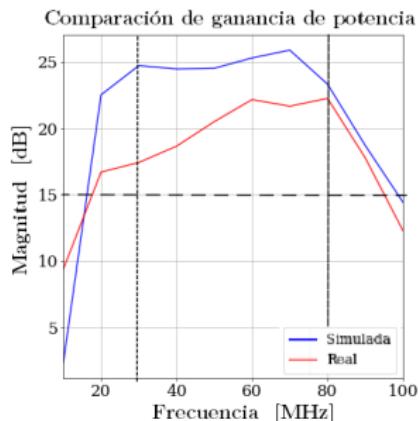
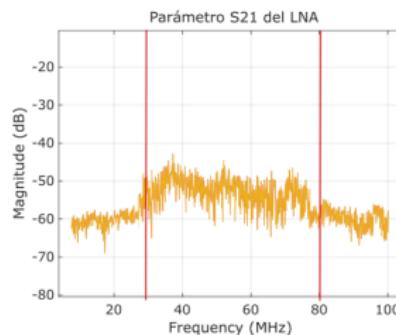
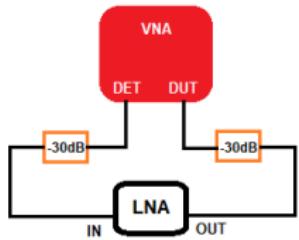
Medición de pulsos antena-antena



# Mediciones del LNA

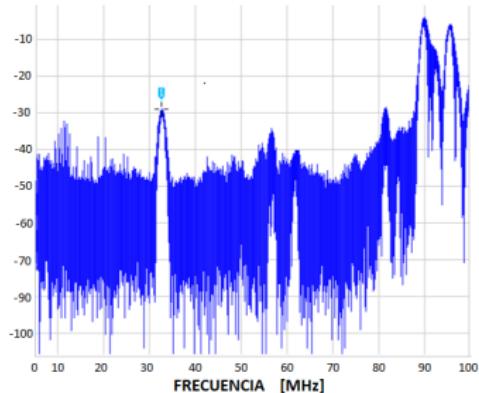
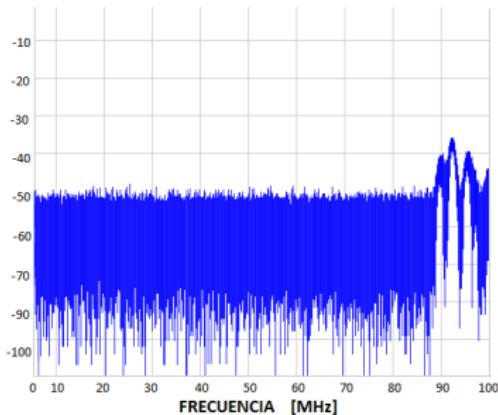
- Prueba de estabilidad y amplificación
- Parámetro S21 del LNA.

Montaje de la prueba:



## Mediciones de recepción

- Se acopla antena y LNA.
- Medición de la recepción del sistema.
- Pulso de prueba con receptor SDR.



## Conclusiones

## Conclusiones

- Se simuló, diseñó e implementó un sistema de radiofrecuencia compuesto por una antena receptora y un amplificador de bajo ruido. Luego de estudiar varias antenas utilizadas por algunos observatorios se eligió la tipo SALLA. En cuanto al amplificador de bajo ruido, se diseñó uno con ganancia superior a los 15 dB en la banda de 30 a 80 MHz, teniendo en cuenta los parámetros de diseño preestablecidos.
- Se construyó la antena receptora SALLA, que posee dos espiras de aluminio de 3/4" perpendiculares entre sí, cada una con un diámetro de 1.2 metros. El proceso de fabricación de los dispositivos se llevó a cabo con empresas del área metropolitana de Bucaramanga.
- El sistema fue sometido a pruebas para evaluar su comportamiento y analizar el correcto funcionamiento. Adicionalmente, se integraron los dispositivos en la estación completa y se demostró la recepción en la banda de frecuencias en estudio.
- Este trabajo de grado constituye un primer acercamiento para la construcción de una estación que pueda detectar astropartículas en la región. Asimismo, establece los pasos iniciales de un posible observatorio.

## Productos de investigación

- Escuela de verano, Taller de Radio-astrofísica TNT 2019 en INAOE (Instituto Nacional de Astronomía, Óptica y electrónica) Puebla, México.
- Pasantía de investigación en ITEDA (Instituto de Tecnologías en detección de Astropartículas) Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina.
- Presentación oral en COCOA (Congreso Colombiano de Astronomía y Astrofísica). Medellín, Colombia

## Trabajos futuros

- Continuación de la línea de trabajo en electrónica de radiofrecuencias para detección de astropartículas.
- Pruebas de fondo al amplificador de bajo ruido, multiplicidad, variaciones térmicas, etc.
- Implementación de arreglos de antenas para la detección de radio pulsos producidos por astropartículas.

# GRACIAS TOTALES