



Radio Interferómetro a 21cm (1,42 GHz)

PhAraON: Phase Array Radio Interferometer at 21cm in the Observatorio Nacional

Juan Sebastián Hincapié Tarquino ^{1, 2}

Benjamín Calvo Mozo ¹, Juan Carlos Martínez Oliveros ³,
Javier Leonardo Araque Quijano ²

¹ Observatorio Astronómico Nacional - Universidad Nacional de Colombia

² Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – Universidad Nacional de Colombia

³ Space Sciences Laboratory – University of California, Berkeley



Objetivos

- Implementación y Optimización de un prototipo novedoso de radio interferómetro de dos elementos para realizar observaciones solares a 1,42 GHz
- Estudiar mecanismos de emisión en el Sol a 1,42 GHz (Giroresonancia) y la posibilidad de estudiar estallidos de radio tipo III a altas frecuencias (Oberoi et. al., 2009)



Antecedente Teórico

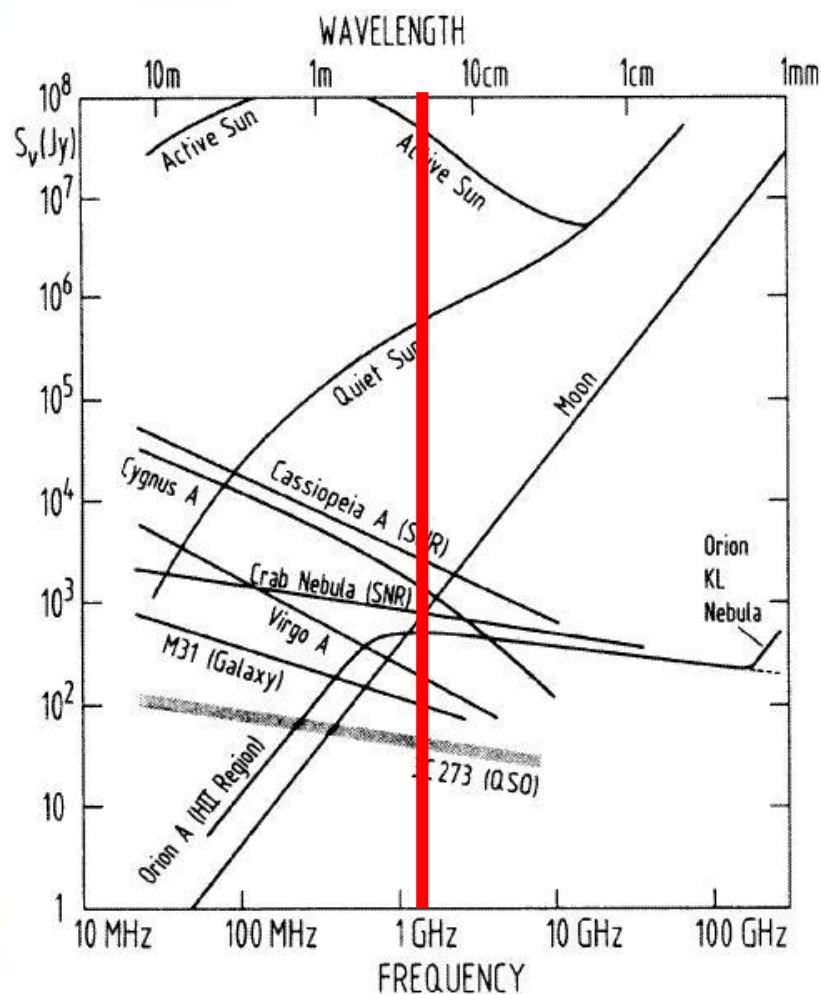


Figura 1: Flujo de varias fuentes astronómicas en ondas de radio

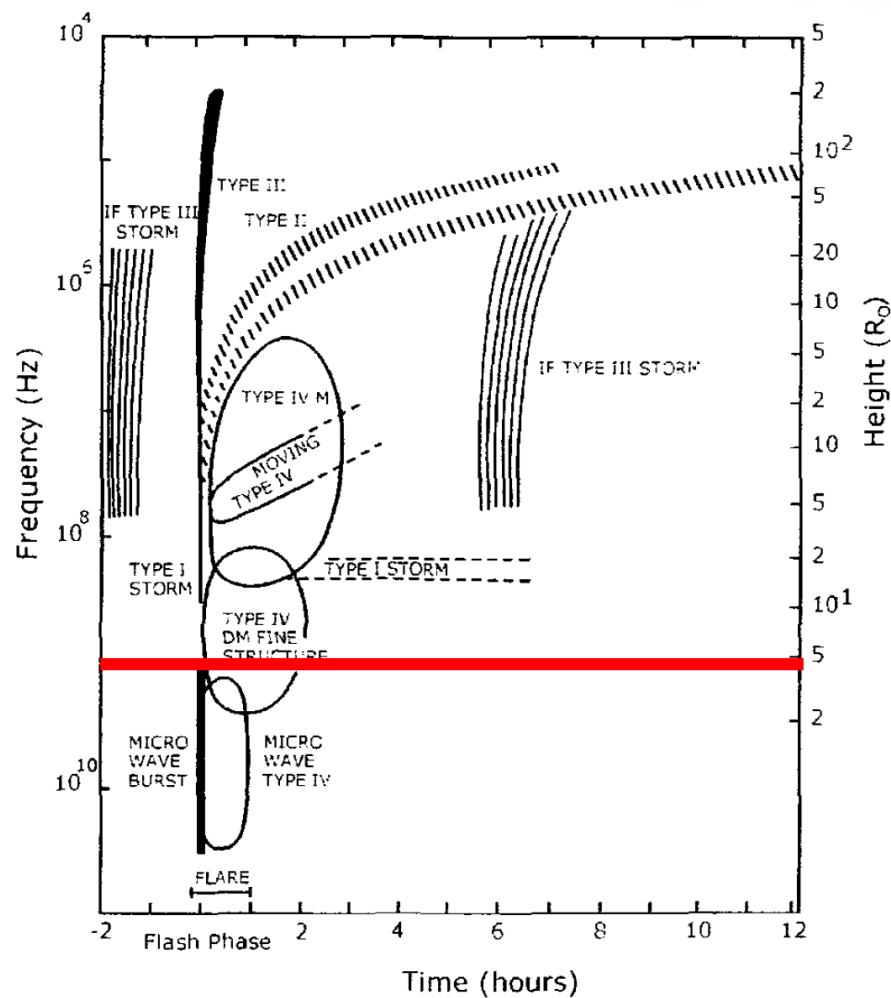


Figura 2: Diagrama de clasificación de estallidos solares en radio.



Antecedente Teórico

Varias emisiones en radio observadas pueden asociarse a fenómenos en regiones activas, como Fulguraciones o Prominencias Activas.

- **Giroresonancia:** Uno de los mecanismos de emisión de las partículas libres inmersas en un campo magnético.
- **Estallidos de Radio tipo III:** Causadas por electrones acelerados hacia afuera de la región activa y viajan alrededor de las líneas abiertas de campo magnético (Proceso de Emisión de Plasma a la f_{pe} o $2f_{pe}$).

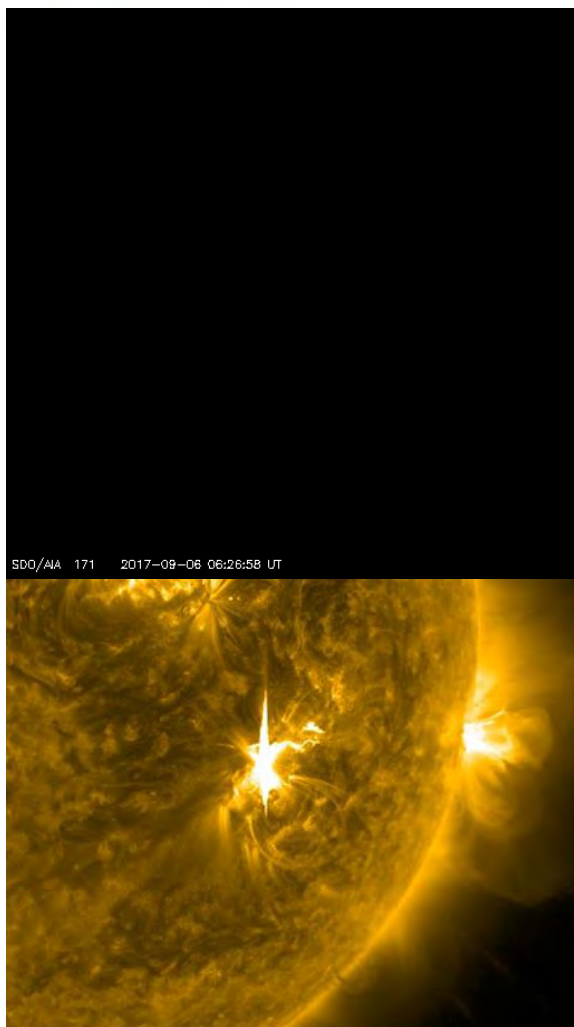


Figura 3: Fulguración Clase X9.3 (Septiembre 6, 2017, 11:53 UTC).
Video y Detalle de imagen tomados por SDO/AIA 171Å (Fe IX)



Antecedente Teórico

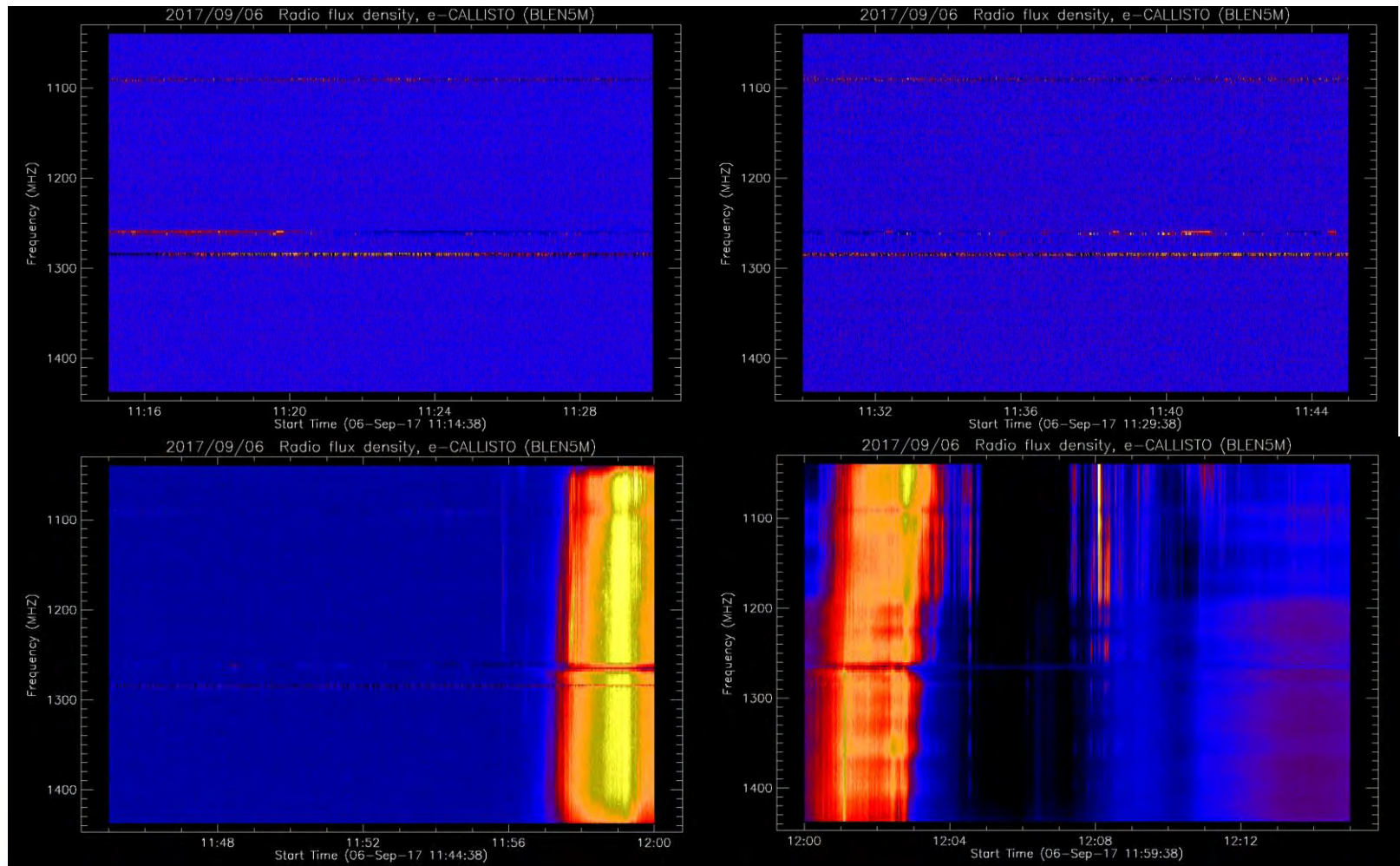


Figura 4: Fulguración Clase X9.3 (Septiembre 6, 2017, 11:53 UTC) detectada en banda L por e-CALLISTO (BLEN5M)



Antecedente Teórico

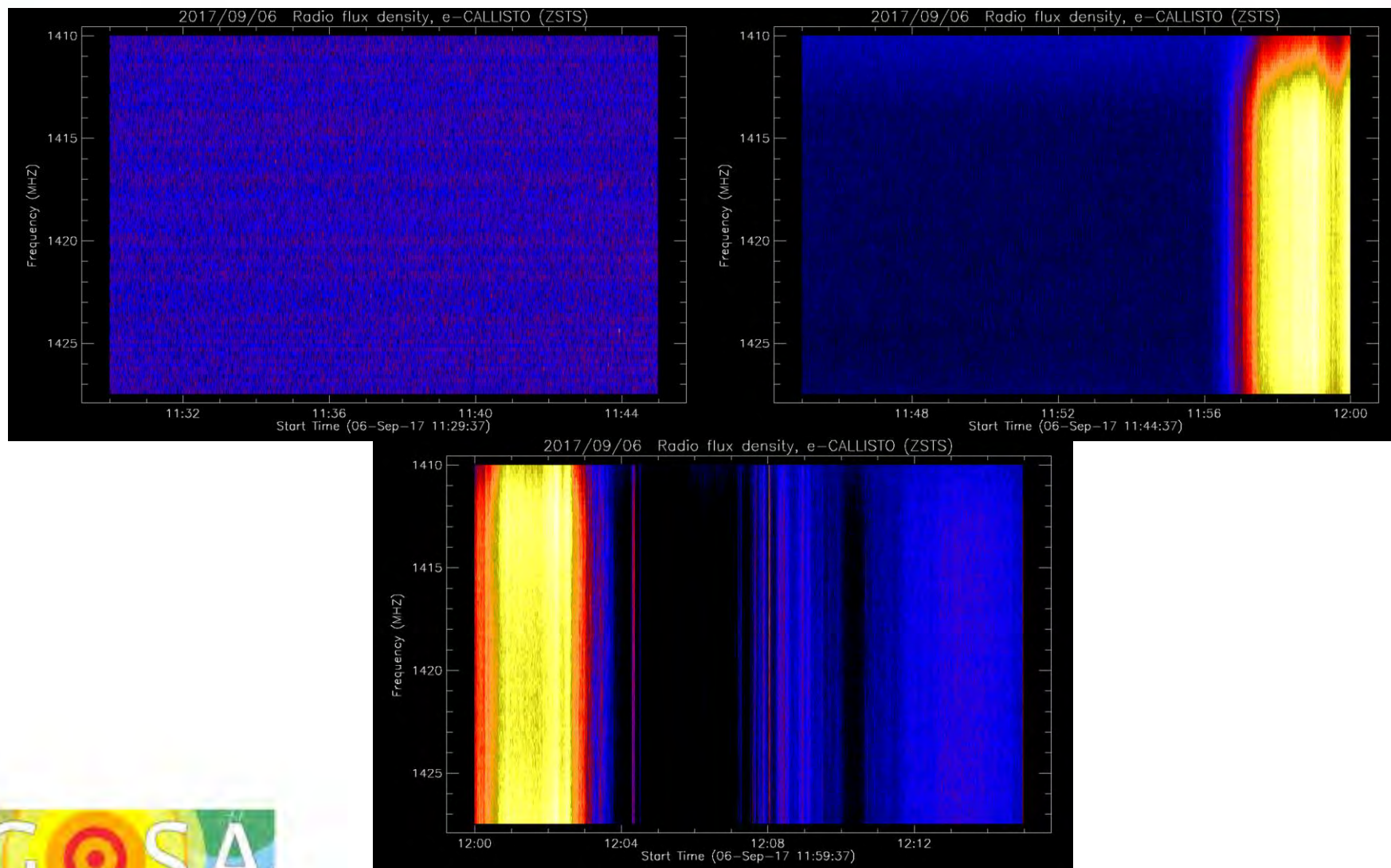
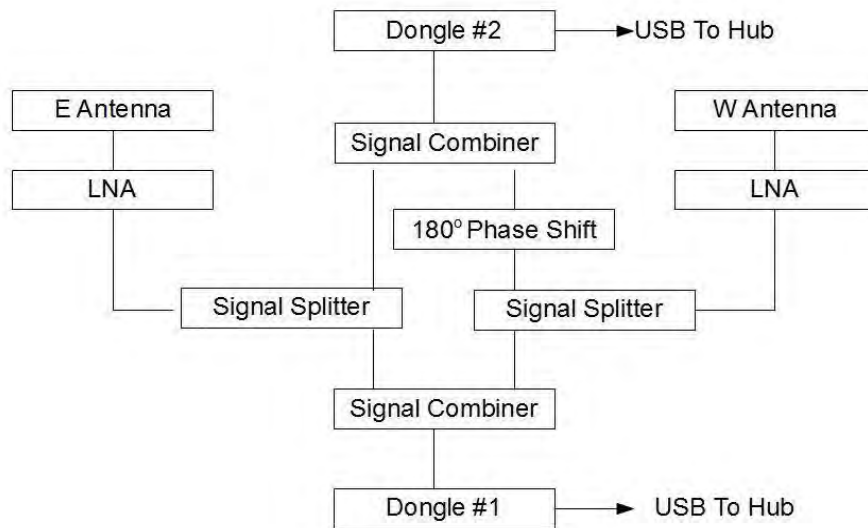


Figura 5: Fulguración Clase X9.3 (Septiembre 6, 2017, 11:53 UTC) detectada en banda L por e-CALLISTO (ZSTS)



Diseño de Radio Interferómetro



- 2 arreglos de antenas con separación Este-Oeste
- Diseño empleando módulos RTLSDR y software de código libre (GNU Radio y “simple_ra”)
- Implementación simple y relativamente de bajo costo

Figura 6: Diagrama de Bloques para un interferómetro con conmutación de fase usando RTLSDR y GNU Radio (Tapping *et. al.*, 2014)



Diseño de Radio Interferómetro

- Elemento: Arreglo de 2x2 antenas
- Combinador de Potencia 4-1 para cada arreglo de antenas
- Acoplador: Combinación de señal y conmutación de fase

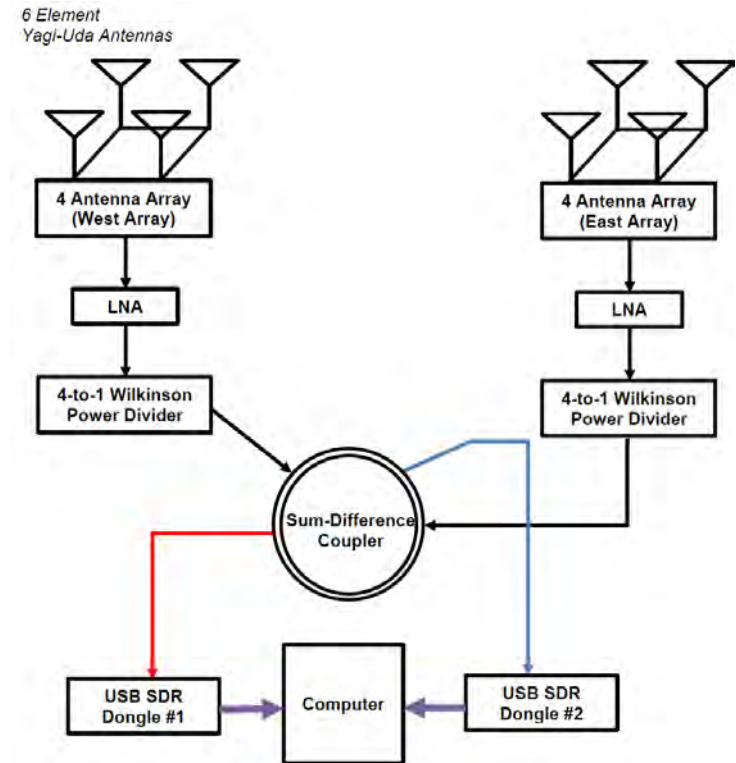


Figura 7: Diagrama de Bloques propuesto para radio interferómetro solar de 2 elementos, empleando RTLSDR y GNU Radio (Hincapié Tarquino *et. al*, 2016)



Diseño de Radio Interferómetro

- Diseño novedoso de Antena impresa
- Alimentación por sistema de Guía de Onda coplanar con tierra (*Grounded CPW*)
- Configuración en Arreglo 2X2: Aumentar el tamaño eléctrico de la antena

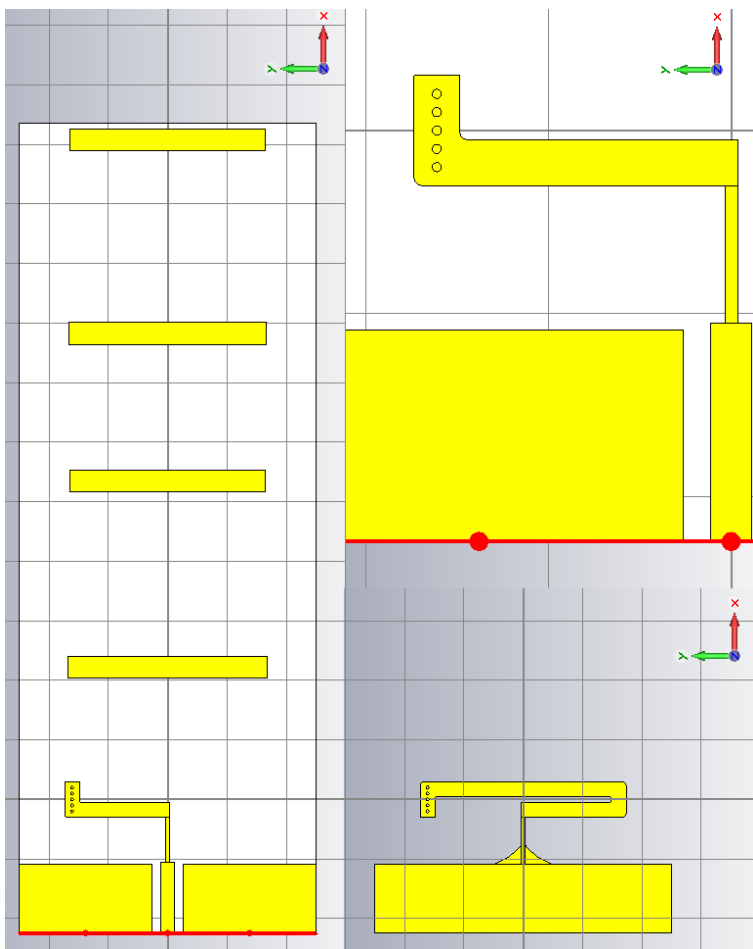


Figura 8: Diseño de antena impresa tipo Yagi-Uda (Hincapié Tarquino *et. al*, 2016)

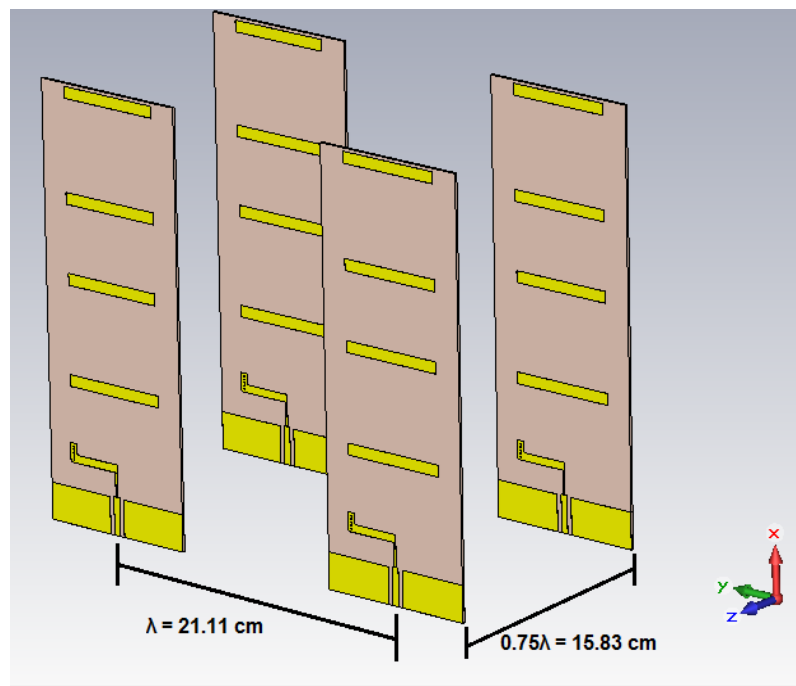
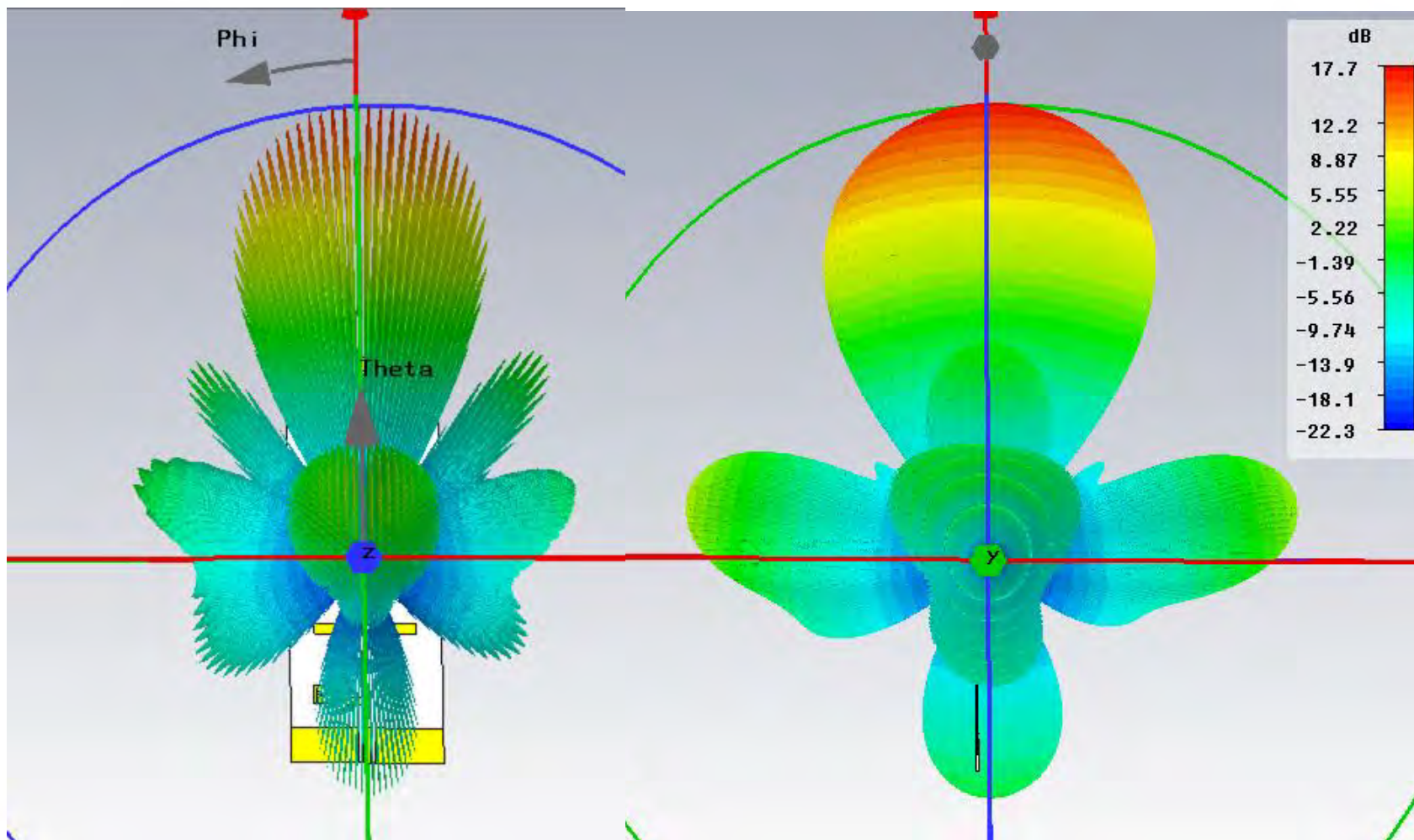


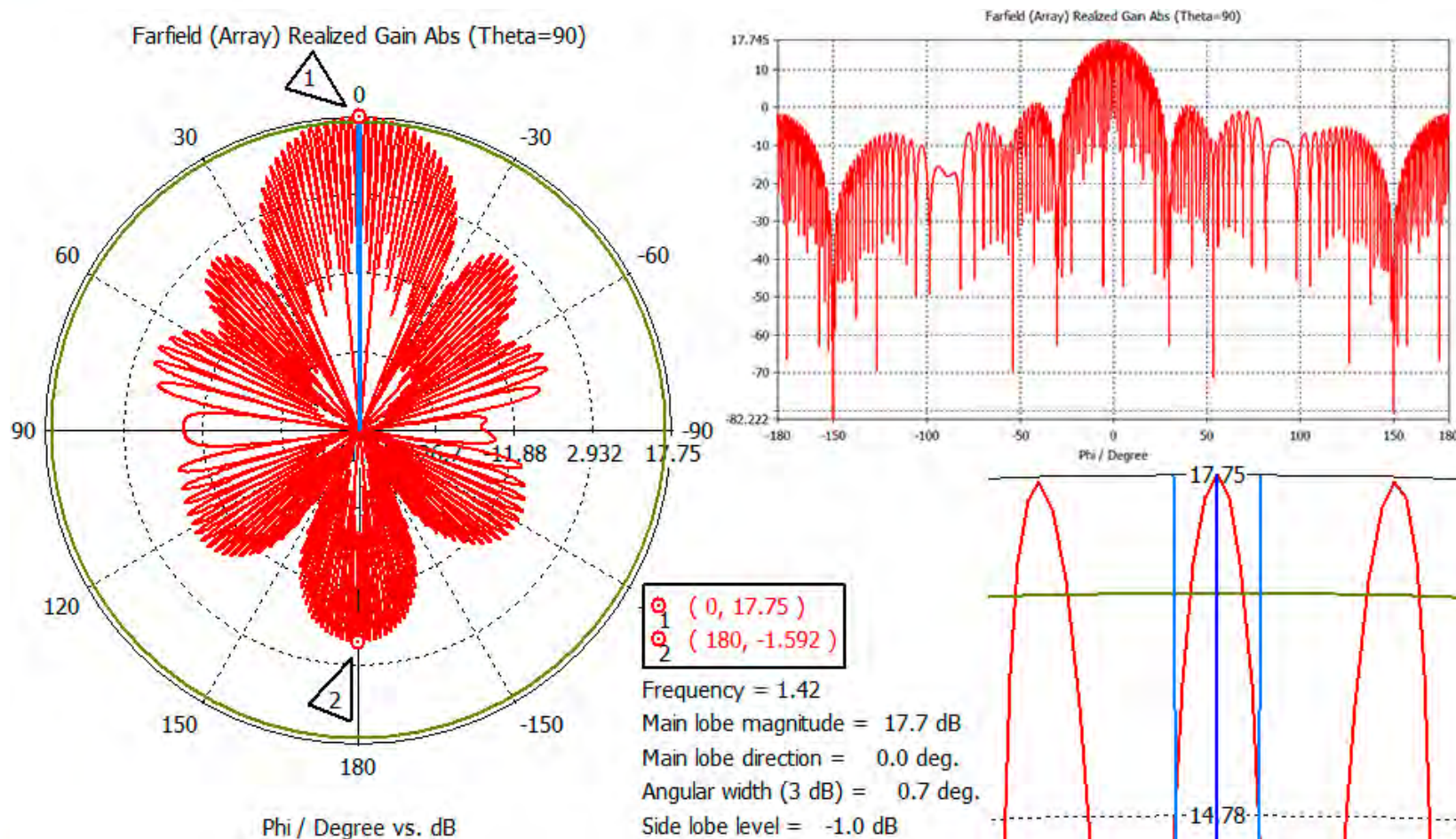
Figura 9: Configuración en arreglo de Antena impresa tipo Yagi-Uda (Hincapié Tarquino *et. al*, 2016)

Diseño: Patrón de Ganancia





Diseño: Patrón de Ganancia



Antena: Validación Experimental

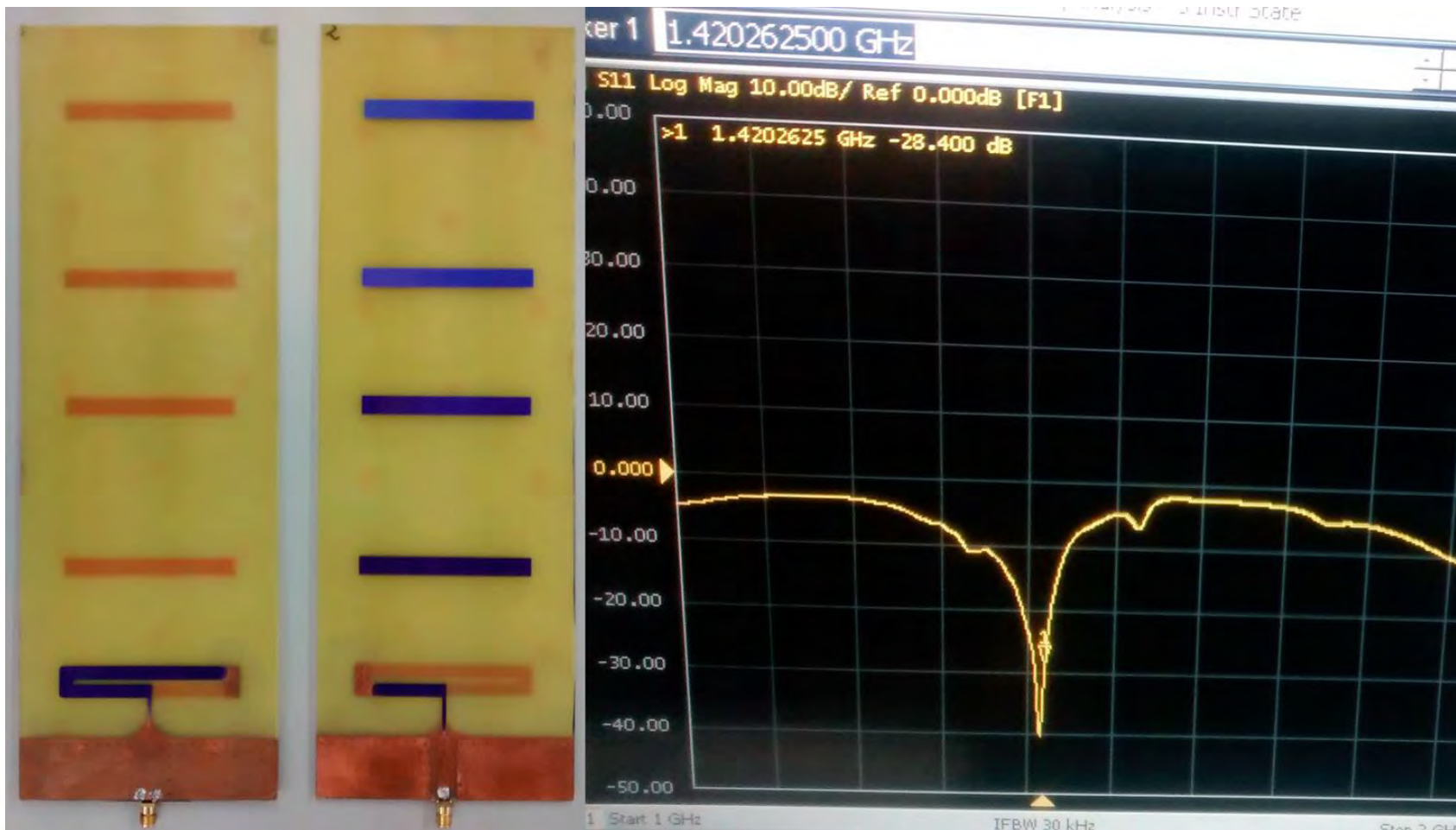


Figura 12: Antena tipo Yagi-Uda impresa y validación de operación. (Hincapié Tarquino *et. al*, 2016)



Combinador: Validación Experimental

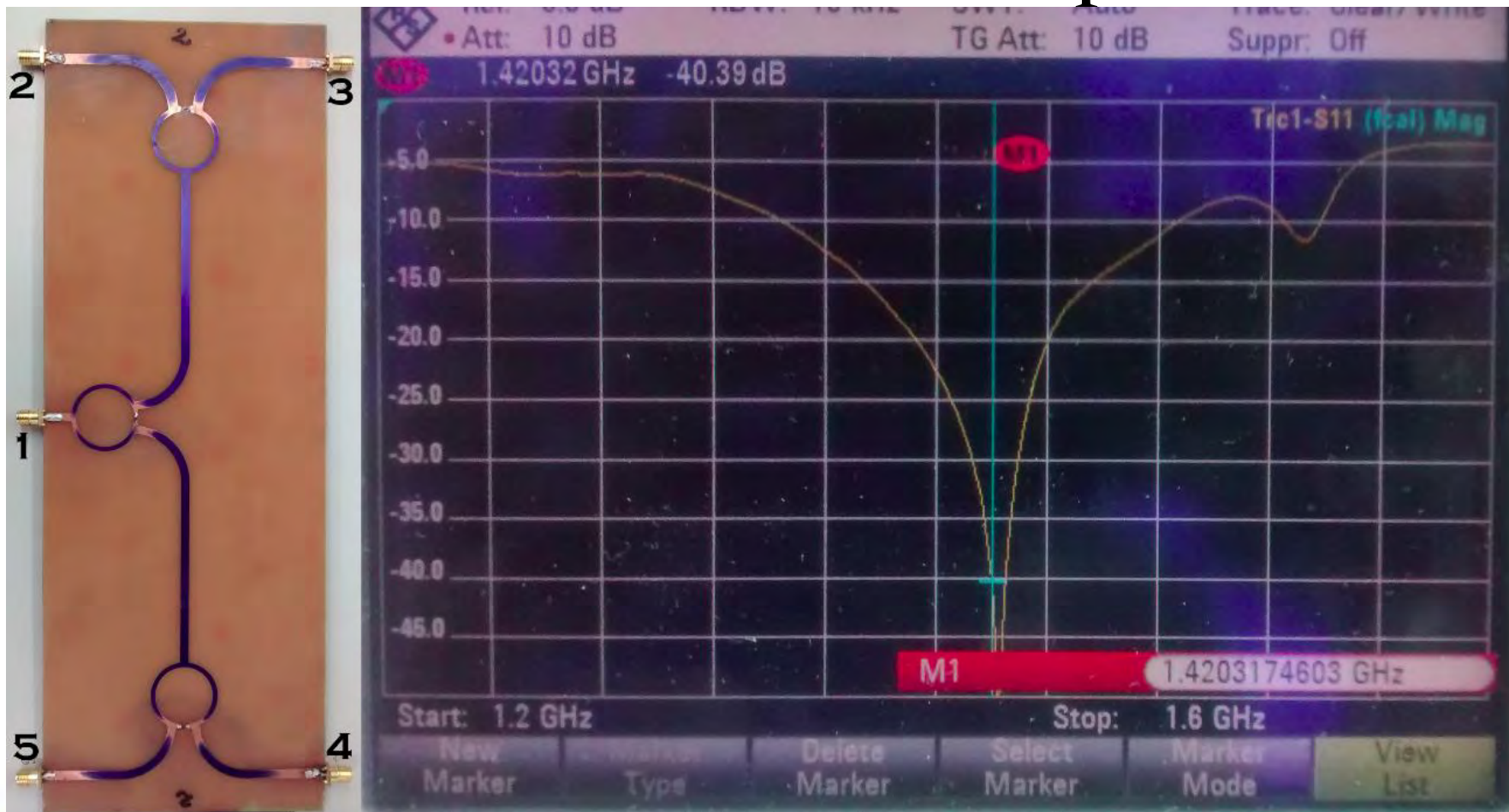


Figura 13: Divisor de Potencia Wilkinson 4-1 operando como Combinador, y Validación de operación.
(Hincapié Tarquino *et. al*, 2016)



Acoplador Suma-Diferencia

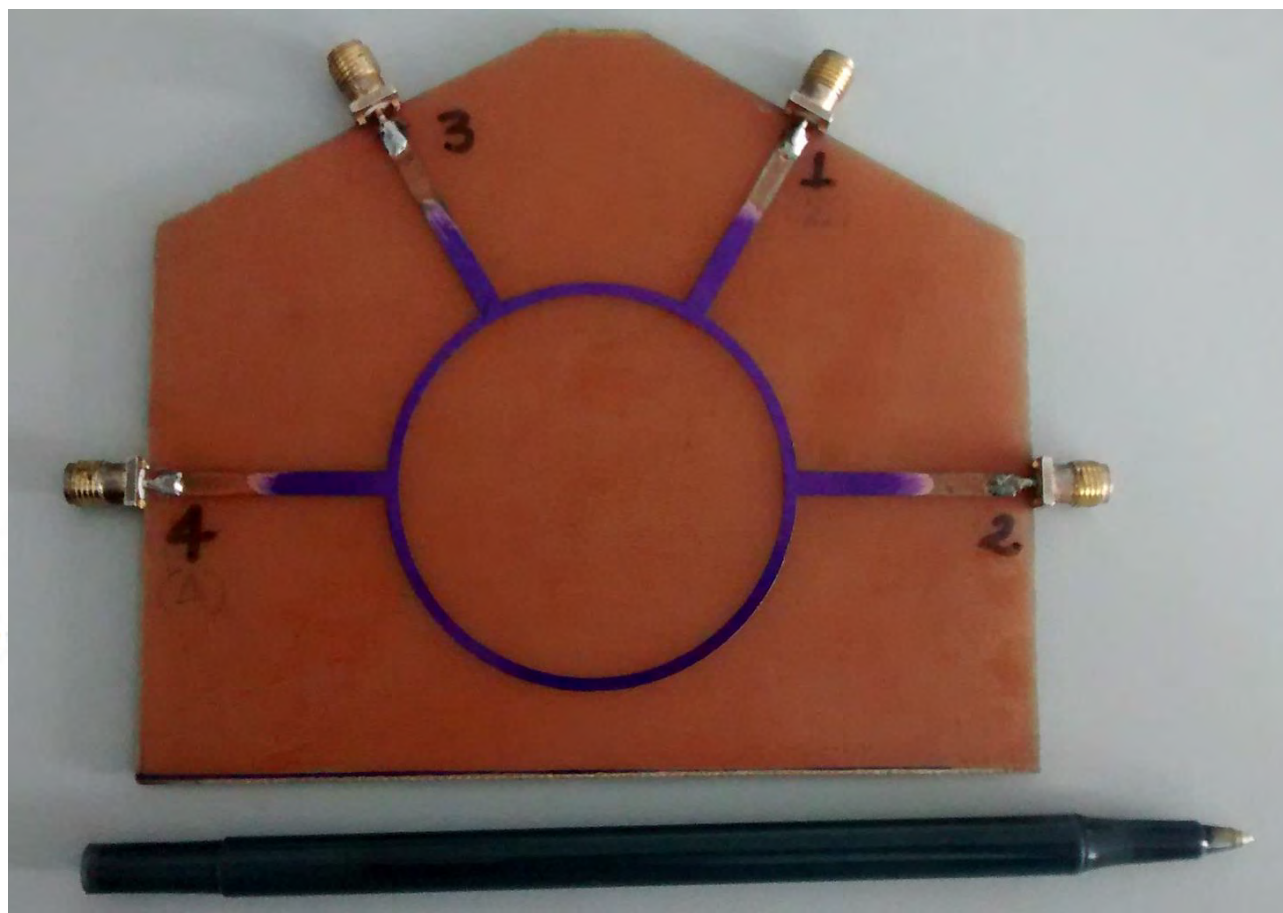
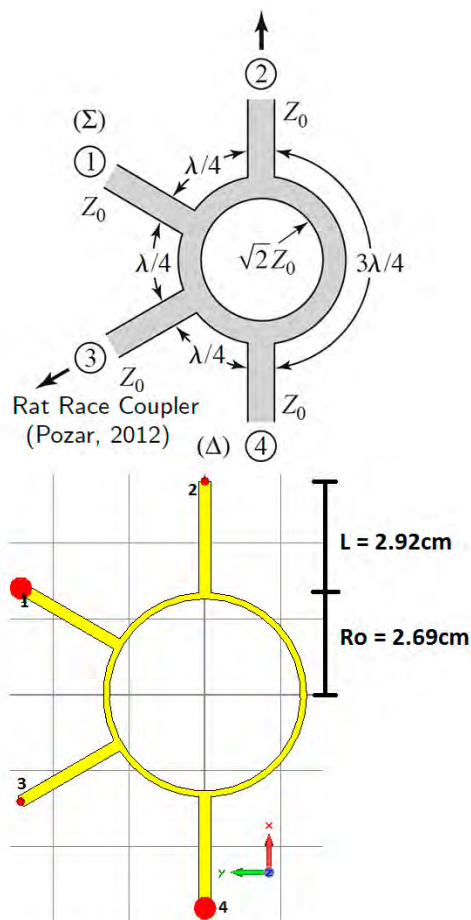


Figura 14: Acoplador Suma-Diferencia. (Hincapié Tarquino *et. al*, 2016)

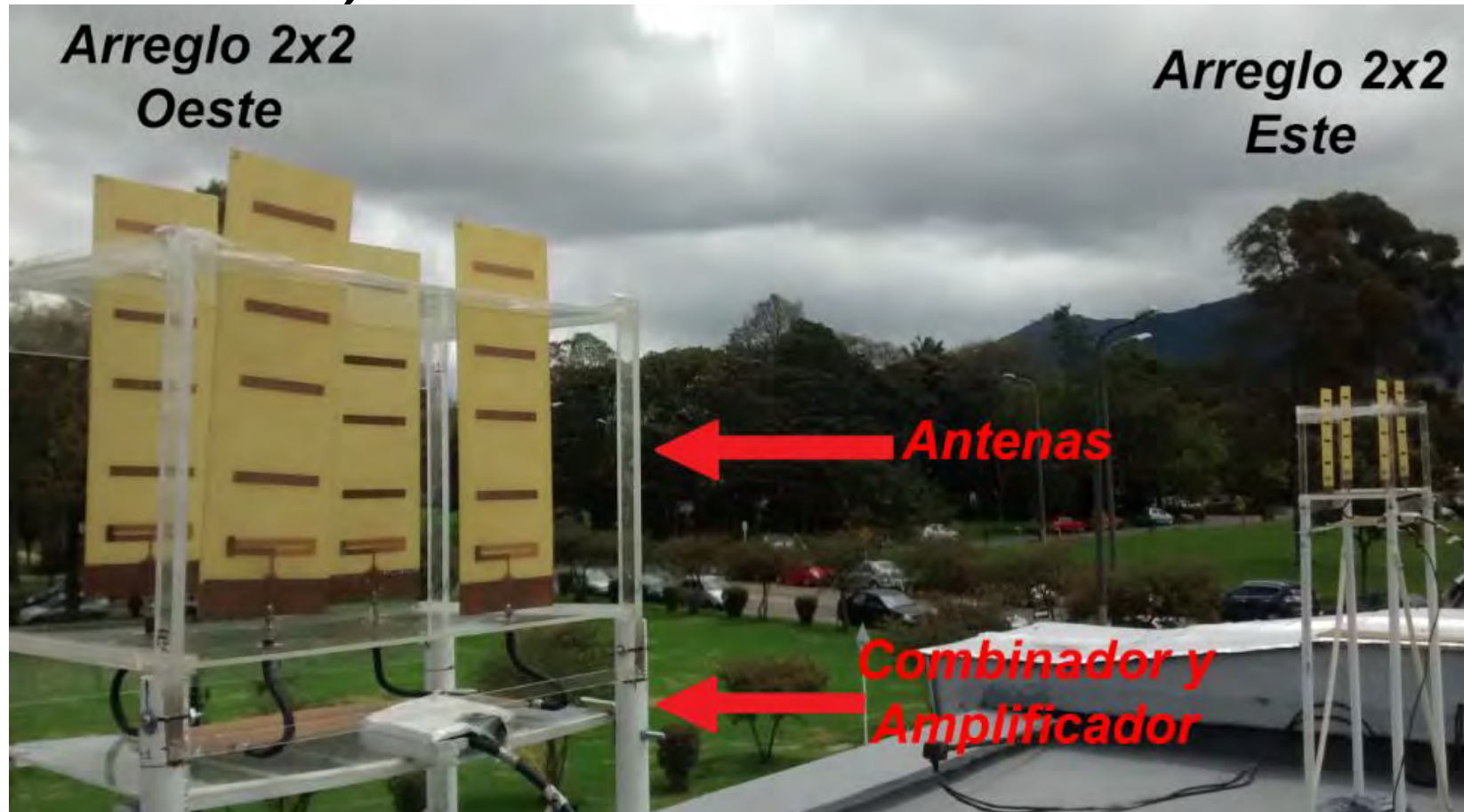
Montaje de Radio Interferómetro



Montaje de Radio Interferómetro



Montaje de Radio Interferómetro





Montaje de Radio Interferómetro



Figura 18: Sistema de Adquisición y Procesamiento de Datos. Observatorio Astronómico Nacional, Sede Campus.
(Hincapié Tarquino *et al.* in prep.)



Resultados: Febrero 15 de 2018

Observacion entre 2018-Feb-14, 19:38 y 2018-Feb-15-10:42

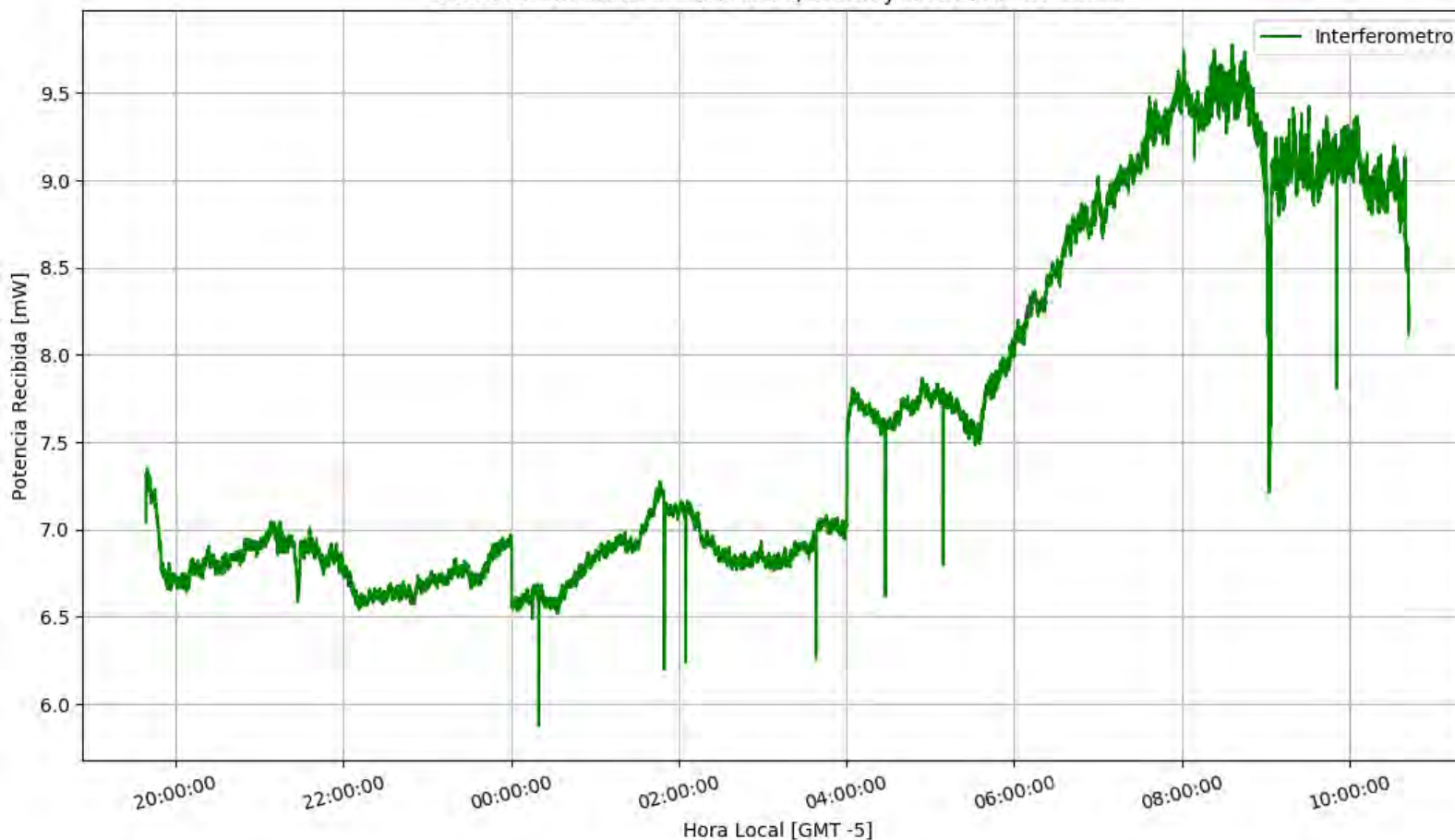
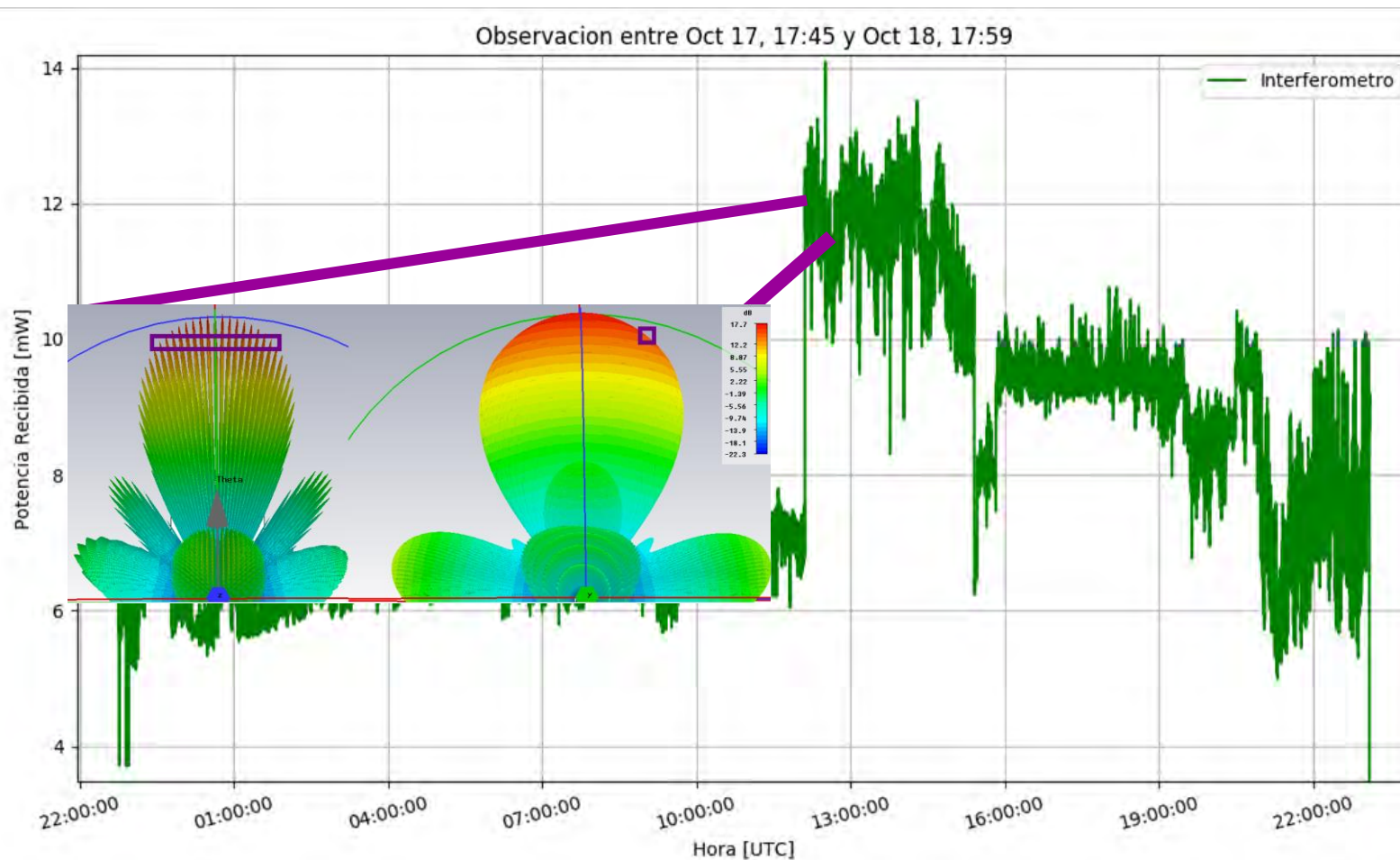


Figura 19: Resultados Observación. Febrero 14 de 2018, 19:38 a Febrero 15 de 2018, 10:59 [GMT-5]. .
(Hincapié Tarquino *et. al.* in. *prep.*)

Resultados: Octubre 17-20 de 2017



Resultados: Octubre 17-20 de 2017

Observación entre Oct 19, 08:00 y Oct 20, 18:59

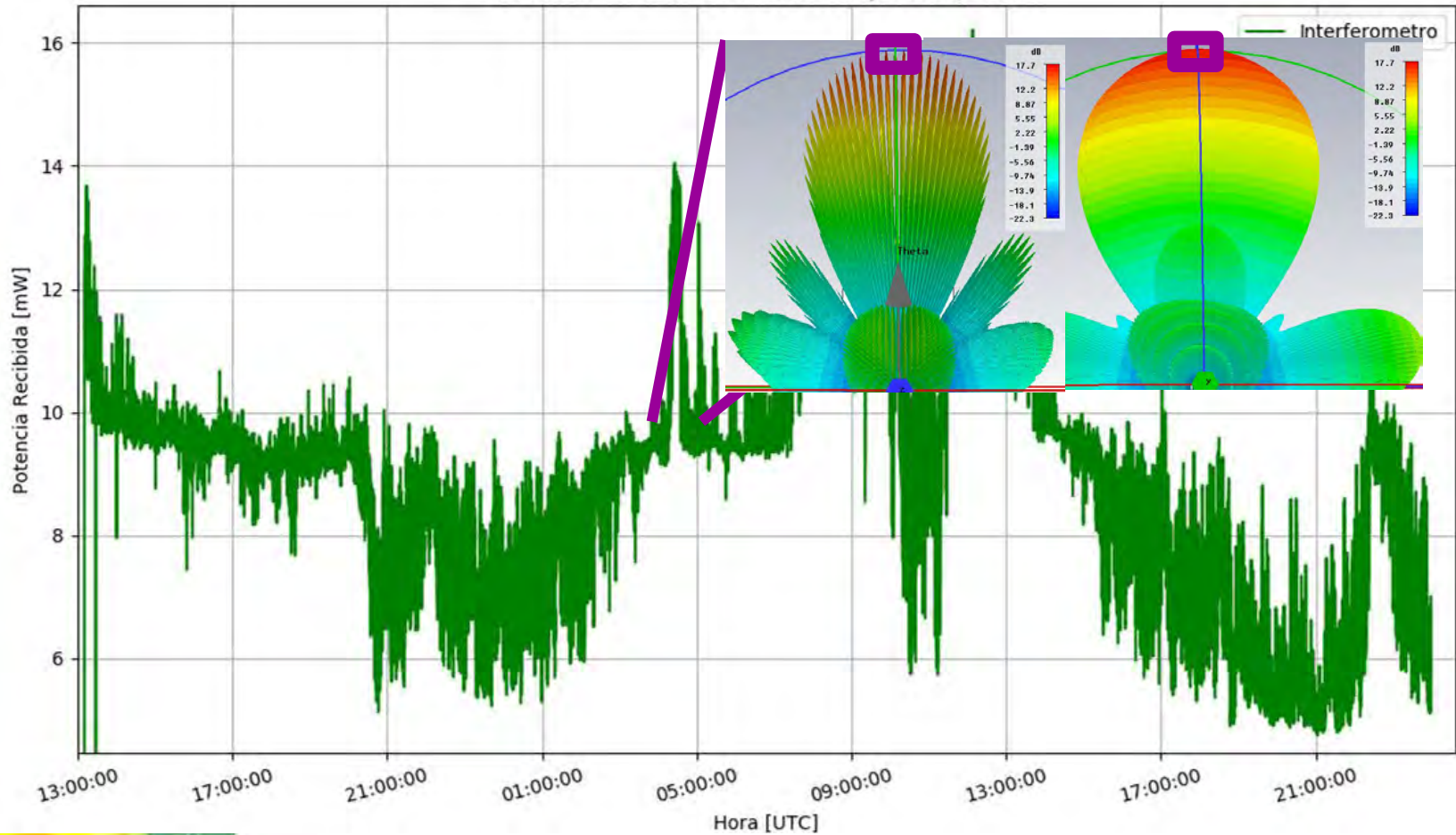


Figura 21: Resultados Observación. Octubre 19 de 2017, 8:00 a Octubre 20 de 2017, 7:59 [GMT-5].
(Hincapié Tarquino *et. al.* in. prep.)

Resultados: Octubre 17-20 de 2017

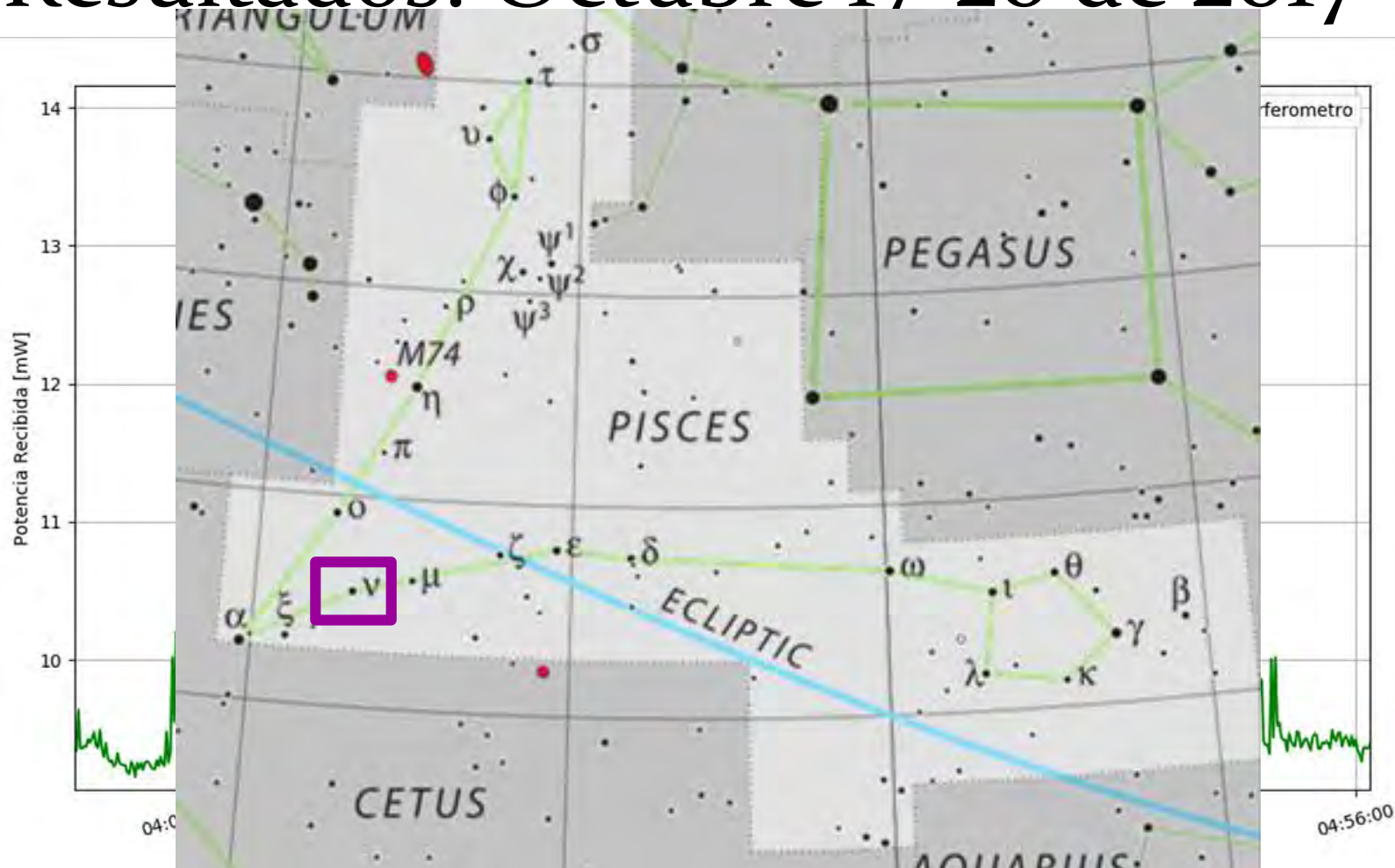


Figura 22: Resultados Observación. Coincidencia con Tránsito de la Constelación de Piscis. Octubre 19 de 2017, 22:59 [GMT-5]. (Hincapié Tarquino *et. al.* in. prep.)



Resultados: Octubre 17-20 de 2017

Observacion Oct 20, entre 4:00 y 4:59

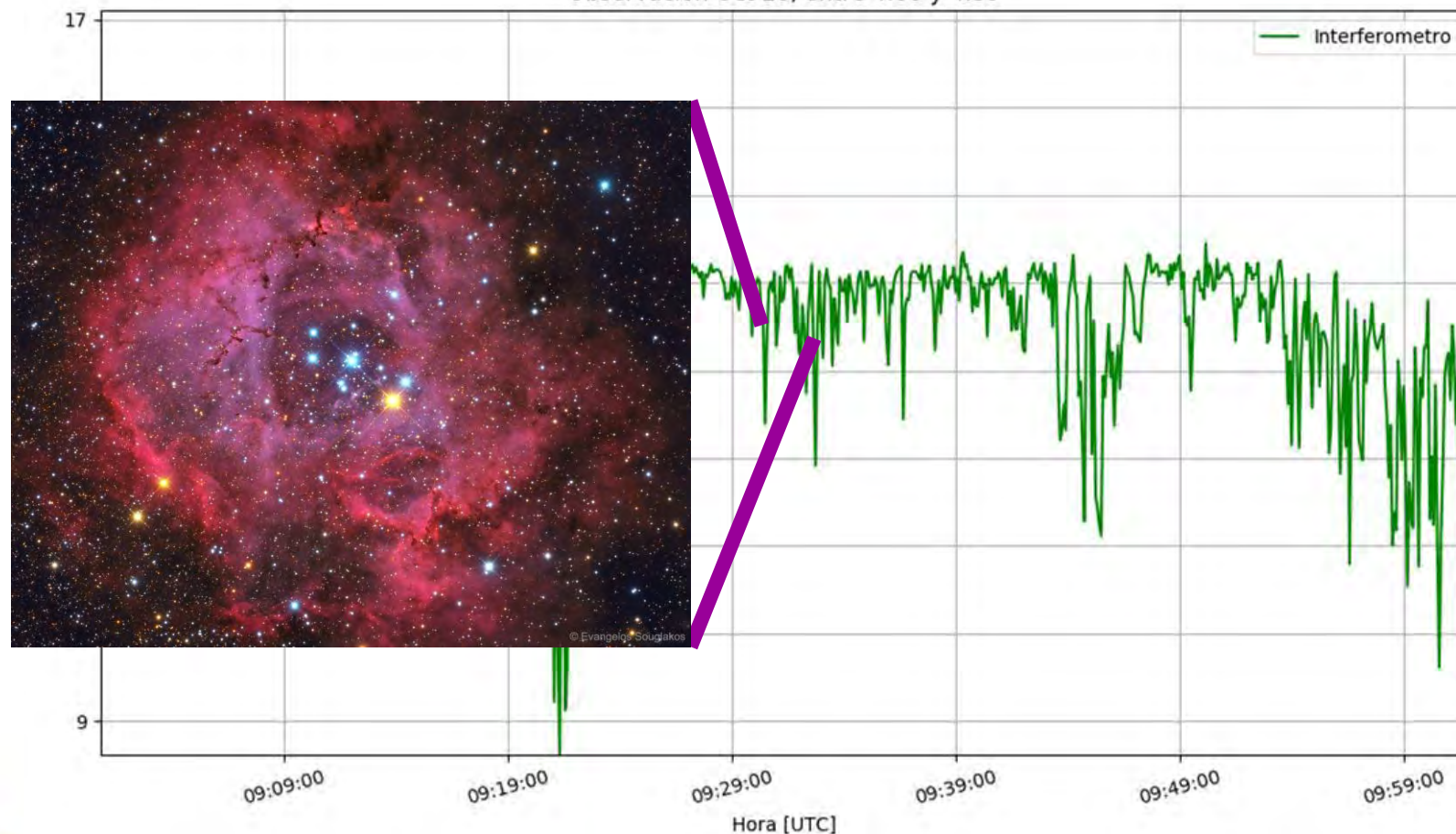


Figura 21: Resultados Observación. Coincidencia con Tránsito de la Nebulosa de la Roseta en la Constelación de Monoceros (El Unicornio). Octubre 20, 04:31 [GMT-5]. (Hincapié Tarquino *et. al.* in. *prep.*)



Conclusiones

- ¡Se logra el efecto interferométrico!
- Para operar de manera óptima como radio telescopio se debe mejorar el modo de orientación hacia la fuente e implementar una etapa dedicada de filtrado.
- El radio interferómetro detectó el tránsito del Sol en una emisión a 1,42GHz, y posiblemente otras fuentes astronómicas con emisión de radio (Línea HI)
- La potencia recibida por el radio interferómetro se vio afectada por la constitución del lugar donde se realizó el montaje. (Reflexiones de la señal en las cúpulas de observación y la lámina del techo de la terraza).



Siguiente Paso

- Diseño de etapa dedicada de filtrado por cada brazo
- Diseño de Sistema de apuntamiento y Seguimiento
- Interferómetro de Múltiples Elementos (Síntesis de Apertura)



Referencias

- ALSAGER, Ahmed Fatthi. “Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Arrays”. School of Engineering, University College of Borås. 2011.
- ÁLVAREZ, Eduardo Manuel; DELLER, Adam. “Radio Astronomy at the Backyard: The Construction of a 11.7 GHz Radio Telescope and a 1420 MHz Phased Array Interferometer”. Observatorio Los Algarrobos, Salto, Uruguay. 2007.
- ARAQUE QUIJANO, Javier Leonardo. “Printed Antennas: Rectangular Patch Antenna Analysis and Design”. Transmission Lines and Antennas (Class Notes). Department of Electrical and Electronic Engineering. Universidad Nacional de Colombia. 2013.
- ARNOLD, S. “Getting Started in Radioastronomy. Begginer Projects for the Amateur”. The Patrick Moore Practical Astronomy Series. Springer-Verlag. 2014.
- BALANIS, Constantine A. “Antenna Theory: Analysis and Design”. Third Edition. Wiley-Interscience. 2005.
- BARRON, W. R.; CLIVER, E. W.; CRONIN, J. P.; GUIDICE, D.A. “Handbook Of Geophysics and the Space Environment”. Chapter 11. Solar Radio Emission. Air Force Geophysics Laboratory. Air Force Systems Command. United States Air Force. 1985.



Referencias

- BESSER, Les; GILMORE, Rowan. “Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems”. Volume I: Passive Circuits and Systems. Artech House. 2003.
- CHUNG, Chui Man; XUE, Quan; YUNG, Edward K.N. “Small Hybrid Rat-race Coupler”. Department of Electronic Engineering. City University of Hong Kong. 2009.
- CONDON, J. J.; RANSOM, S. M. Essential Radio Astronomy (ERA) Online Course. National Radio Astronomy Observatory.
- EAST, Peter W. “Building a 1420 MHz Interdigital Passband Filter”. Radio Astronomy Group. British Astronomical Association. 2014.
- EAST, Peter W. “Low Cost Hydrogen Line Radio Telescope for \$\pounds\$160 using the RTL SDR”. Radio Astronomy Group. British Astronomical Association. 2013.
- EAST, Peter W. “Low Cost Hydrogen Line Radio Telescope using the RTL SDR - Phase 2”. Radio Astronomy Group. British Astronomical Association. 2014.
- EAST, Peter W. “Low Cost Hydrogen Line Radio Telescope using the RTL SDR - Phase 3”. Radio Astronomy Group. British Astronomical Association. 2014.
- ELLIOT, Robert S. “Antenna Theory and Design”. Revised Edition. IEEE Press - Wiley-Interscience. 2003.



Referencias

- FIELDS, David E.; ROGERS, Alan E. E.; PRATAP, Preethi; SCHUTE, Phillip. “Undergraduate Laboratory Experiments in Ku-Band Radio Astronomy: A Very Small Radio Telescope Interferometer”. Tamke Allan Observatory. 2008.
- GARY, Dale E. “Radio Astronomy: Lecture #7: The Receiving System for Interferometry”. Physics 728, Radio Astronomy Course. New Jersey Institute of Technology. 2014.
- GARY, Dale E. “Radio Astronomy: Lecture #10: Solar Radio Emission I”. Physics 728, Radio Astronomy Course. New Jersey Institute of Technology. 2014 .
- GARY, Dale E.; KELLER, Christoph U. “Solar and Space Weather Radiophysics. Current Status and Future Developments”. Kluwer Academic Publishers. 2004.
- HINCAPIÉ TARQUINO, Juan Sebastián; ARAQUE QUIJANO, Javier Leonardo; CALVO MOZO, Benjamín; MARTINEZ OLIVEROS, Juan Carlos. “Diseño y Construcción de un Radiointerferómetro Solar de dos Elementos”. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. 2016.
- HOLMAN, Gordon D. “Overview Of Solar Flares”. Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI). 2008.
- KUNDU, Mukul R. “Solar Radio Astronomy”. Interscience Publishers. 1965.



Referencias

- LAUFER, Carl. “The Hobbyist's Guide to RTL-SDR: Really Cheap Software Defined Radio”. 2012.
- LEECH, Marcus. “A 21cm Radio Telescope for the Cost-Conscious”. Science Radio Laboratories, Inc. SBRAC (Shirleys Bay Radio Astronomy Consortium). 2013.
- LEECH, Marcus. “simple ra. A collection of tools for amateur radio astronomy observations”. Science Radio Laboratories, Inc. SBRAC (Shirleys Bay Radio Astronomy Consortium). 2014.
- LIU, Yaqi; XIE, Shuguo; HAO, Xuchun; ZHAO, Longfei; CHEN, Xi. A developed phase differences interpolation algorithm in the correlative interferometer”. 10th International Symposium on Antennas, Propagation & EM Theory (ISAPE), 2012.
- MILLIGAN, Thomas A. “Modern Antenna Design”. Second Edition. IEEE Press - Wiley-Interscience. 2005.
- MORGAN, David. “Experiments with a Software Defined Radio Telescope”. Radio Astronomy Group. British Astronomical Association. 2011.
- MORGAN, David. “Measurement and Analysis of Neutral Hydrogen Velocities across and along the Galactic Plane”. Radio Astronomy Group. British Astronomical Association. 2012.



Referencias

- OBEROI, D; EVARTS, E.R.; ROGERS, A.E.E. "High Temporal and Spectral Resolution Interferometric Observations of Unusual Solar Radio Bursts". Solar Physics. December 2009.
- POZAR, David M. "Microwave Engineering". Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2012.
- ROGER, Roger S.; COSTAIN, Carman H.; LACEY, David; LANDECKER, Thomas L.; BOWERS, Fritz K. "A Supersynthesis Radio Telescope for Neutral Hydrogen Spectroscopy at the Dominion Radio Astrophysical Observatory". Proceedings of the IEEE. Vol. 61. No 9. September 1973.
- RYLE, M. "A new radio interferometer and its application to the observation of weak radio stars". Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 1952.
- SASAO, Tetsuo; FLETCHER, André B. "Introduction to VLBI Systems. Lecture Notes for KVN Students". Version 2. 2006.
- SCHELLENBERG, Walter. HB9AJG. "Some Measurements on DVB-T Dongles with E4000 and R820T Tuners: Image Rejection, Internal Signals, Sensitivity, Overload, 1dB Compression, Intermodulation". 2013.



Referencias

- TAPPING, Ken. “A Correlation Interferometer for 408 MHz”. National Research Council. United Kingdom Amateur Radio Astronomy Network. 2001.
- TAPPING, Ken. “Antenna Calibration using the 10.7cm Solar Flux”. National Research Council. Dominion Radio Astrophysical Observatory.
- TAPPING, Ken; LEECH, Marcus. “RTLSDR-based, Software Defined Radio Alternative to Switched Radiometers for Continuum Radio Astronomy”. 2014.
- THOMPSON, A. Richard.; MORAN, James M.; SWENSON George W. Jr. “Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy”. Second Edition. Wiley-VCH. 2004.
- WALLACE, Richard; DUNBAR, Steve. “2.4 GHz Yagi PCB Antenna”. Application Note DN034. Texas Instruments. Revision SWRA350. October 14, 2010.
- WILSON, Thomas L.; ROHLFS, Kristen; HÜTTEMEISTER, Susanne. “Tools of Radio Astronomy”. Sixth Edition. Springer-Verlag. 2013.
- ZHANG, Yan. “Patch Antenna for 1420MHz Radio Telescope”. School of Information Science, Computer and Electrical Engineering. Halmstad University. Sweden. 2007.



¡Muchas Gracias!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Observatorio Astronómico Nacional
Facultad Ciencias
Sede Bogotá





Línea HI: Emisión 21 cm

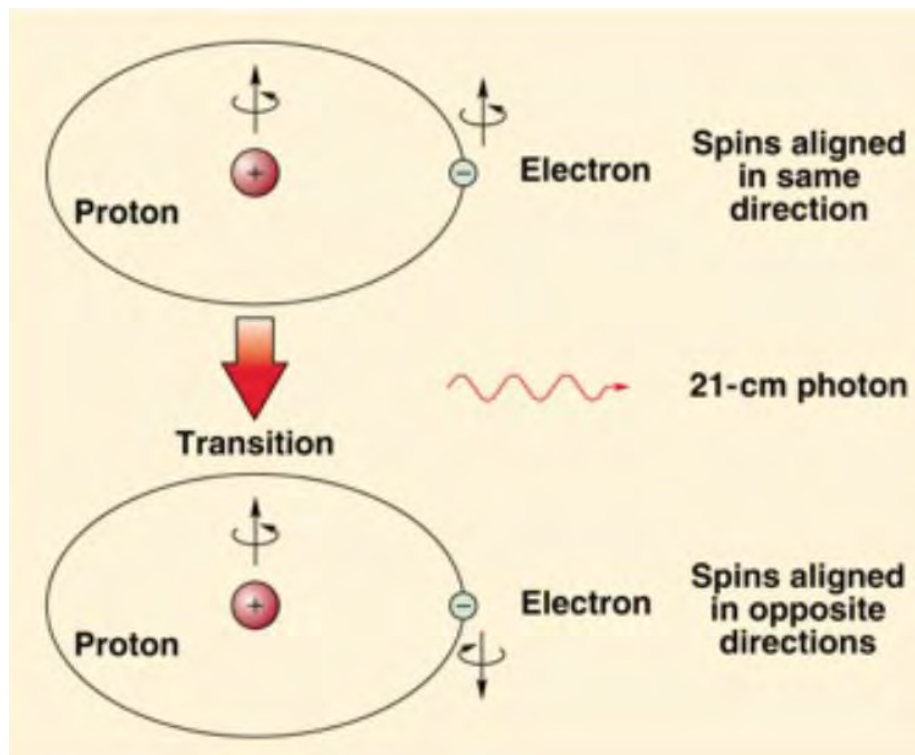


Figura A-I: Emisión de 21cm resultante de la transición entre dos niveles de energía del átomo de Hidrógeno Neutro (Verheijen, 2013)

Frecuencia central de línea (Condon *et.al.*, 2008)

$$\nu_{10} = \frac{8}{3} g_I \left(\frac{m_e}{m_p} \right) \alpha^2 (R_M c)$$

$$\approx 1420.405751 \text{ MHz}$$

donde

$g_I \approx 5.58569$. Factor-g nuclear para un protón

Constante adimensional de la estructura fina

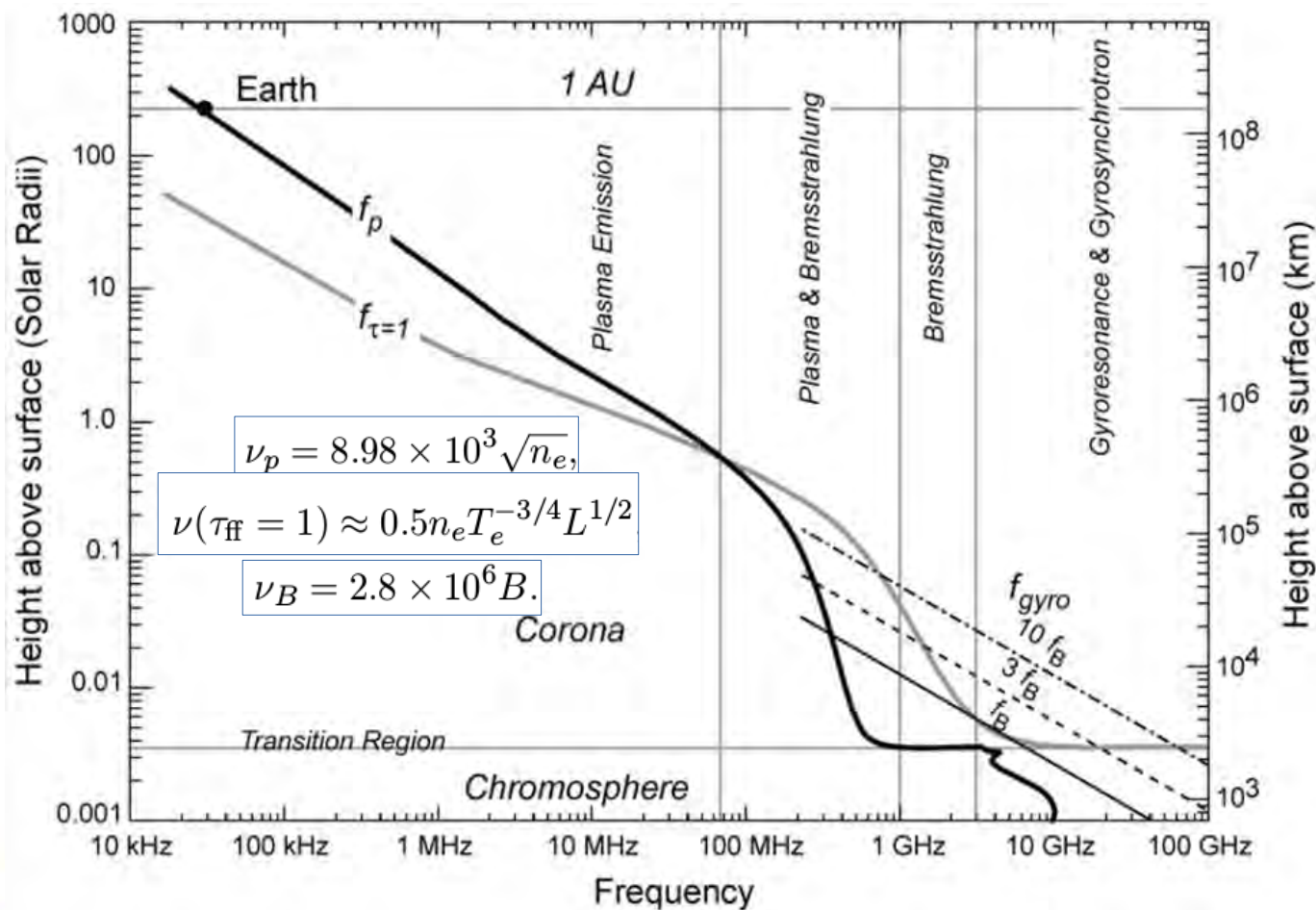
$$\alpha \equiv e^2 / \hbar c \approx 1/137.036$$

$R_M c$: Frecuencia del Hidrógeno de Rydberg

$$R_M \equiv R_\infty \left(1 + \frac{m_e}{M} \right)^{-1}$$



Frecuencias Características de Radio





Frecuencias Características de Radio

Mecanismo Dominante:

.30 kHz - ~Cientos de MHz: Emisión de Plasma.

.200 MHz – 1 GHz: Emisión de plasma considerable debido a la inhomogeneidad de la corona.

Fuera de Estallidos → Emisión térmica/levemente no-térmica

.Hasta 800-900 MHz: Giroemisión en Estallidos: A la frecuencia $10f_B$ (armónico)

.1-20 GHz: Giroemisión en la Corona: A la frecuencia $3f_B$ (armónico)

.~100 GHz: Emisión libre-libre o Giroemisión. (Depende de número y energía de partículas)

.>20 GHz: Emisión libre-libre (Fuera de fulguraciones)



Frecuencias Características de Radio

Tasa de deriva de frecuencia de estallidos de radio tipo III.

- Haces de electrones moviéndose en la corona generan emisión a f_{pe} o $2f_{pe}$.
- Deriva de frecuencia \rightarrow Velocidad del haz (típicamente $0.1c$)
 \rightarrow Densidad de electrones a lo largo de la trayectoria del estallido
- Derivas Positivas y Negativas \rightarrow *Localización del sitio de Aceleración de partículas*



Frecuencias Características de Radio

Dominante en la corona baja, sobre las regiones activas. (Gary & Hurford, 2004)

Medición del campo magnético total

Una fuente de giroresonancia en radio típicamente muestra la temperatura sobre una superficie ópticamente gruesa de Campo Magnético constante en la corona. Como cada frecuencia corresponde a una intensidad de campo magnético distinta, la estructura coronal puede ser “mapeada” empleando diferentes frecuencias (White, 2005)

(***Resolución**) Espectro da una idea de la temperatura de los electrones y la intensidad de campo magnético