



**UTn.BA**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

**ESCUELA DE POSGRADO**

# DOCTORADO EN INGENIERÍA

## Mención procesamiento de Señales e Imágenes

BUENOS AIRES

2019

ARGENTINA

# **Multiprocesamiento de señales de radio, una implementación para la DSA 3**

**Autor: Bioing. Angel Alberto Cancio Montbrun\***

**Director: Dra. Beatriz García**

**Co-Director: Dr. Manuel Platino**

\* [angel.cancio@iteda.cnea.gov.ar](mailto:angel.cancio@iteda.cnea.gov.ar)

# Secuencia

---

- Introducción
- Parte 1: Descripción equipo
  - Antena DS3
- Parte 2: Métodos
  - Observación
  - Procesamiento
- Parte 3:
  - Implementación software
  - Resultados
- Conclusiones
- Pregunta

# Introducción

Esta tesis exploró el uso de la tercera Antena de Espacio Profundo (DSA 3 o Antena DS3) de la Agencia Espacial Europea como instrumento para realizar observaciones de fuentes astronómicas en radiofrecuencia.

# **Justificación & Motivación**

---

Los requisitos impuestos en el diseño de los enlaces de telecomunicaciones de espacio profundo son similares a los requisitos técnicos de un radiotelescopio

En Argentina, actualmente, existe una proliferación de proyectos internacionales de radioastronomía.

# Objetivos

---

1. Usar la DSA3 como radiotelescopio y determinar el procedimiento de observación.
2. Desarrollar un software de traducción de formato crudo de DSA3 a un formato común (CSV o sdFITS).
3. Analizar datos capturados por el instrumento, para validación
4. Usar equipamiento disponible evitando desarrollar hardware de medida.
5. Analizar los datos a igual tasa que la tasa de recepción para evitar almacenamiento espurio.

---

# Parte 1

## Descripción equipo

Sistemas de comunicación,  
antenas de espacio profundo,  
detalles sobre la estación  
terrestre DSA 3

# Red de antenas de espacio profundo

---

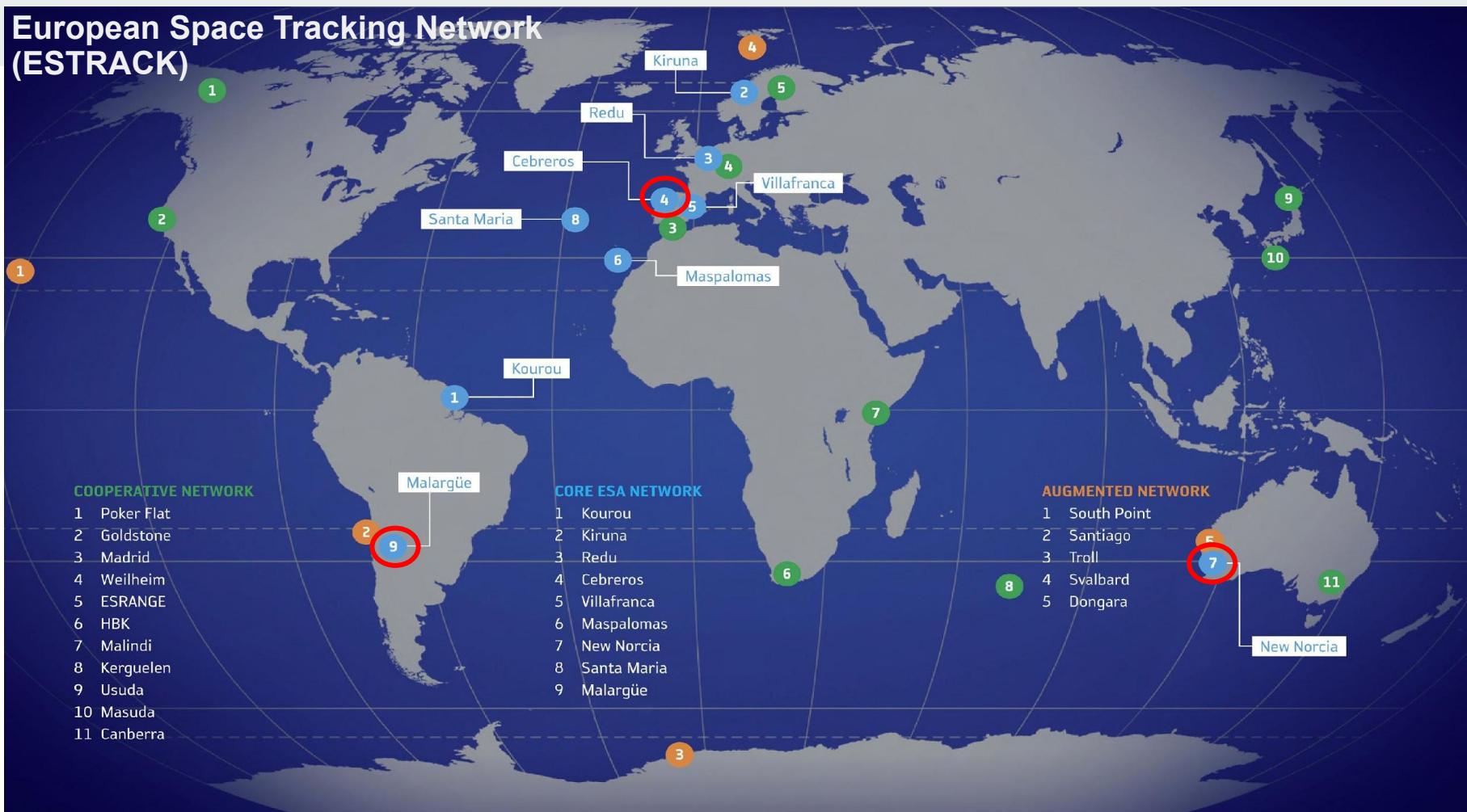
ESA\* y NASA/JPL\*\* conforman un poderoso sistema de antenas para comandar, rastrear y monitorear el funcionamiento y seguridad de las naves espaciales en lugares distantes.

La red permite investigaciones científicas de radio-ciencia, astronomía y VLBI.

\* Red Europea de Seguimiento Espacial (ESTRACK)

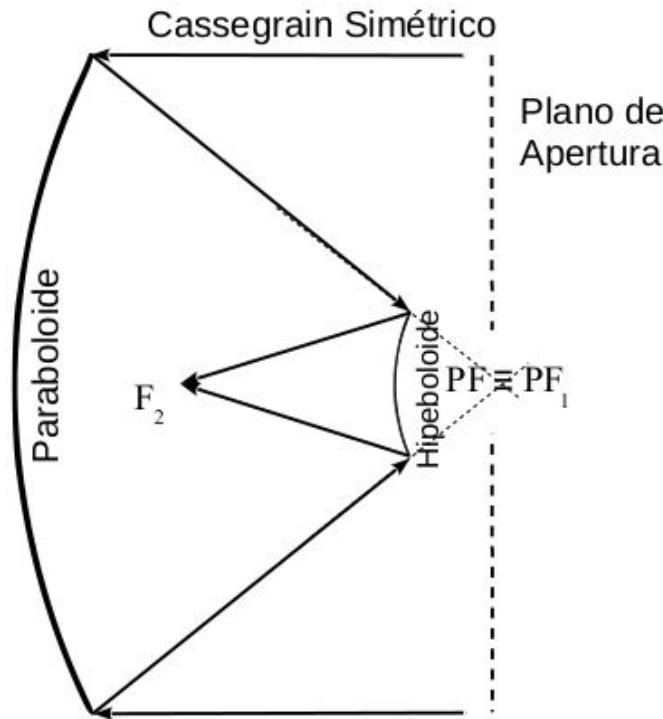
\*\* Red de Espacio Profundo (DSN)

# European Space Tracking Network (ESTRACK)



# Antena de espacio profundo

Sistemas extremadamente eficientes, diseñados para los más altos estándares cualitativos, montan un sistema de doble reflector Cassegrain derivado de telescopios ópticos, compuesto por un reflector principal parabólico de entre 26 - 70 m. y un subreflector hiperbólico.



# Antena DS3 o Estación terrestre MGUE1

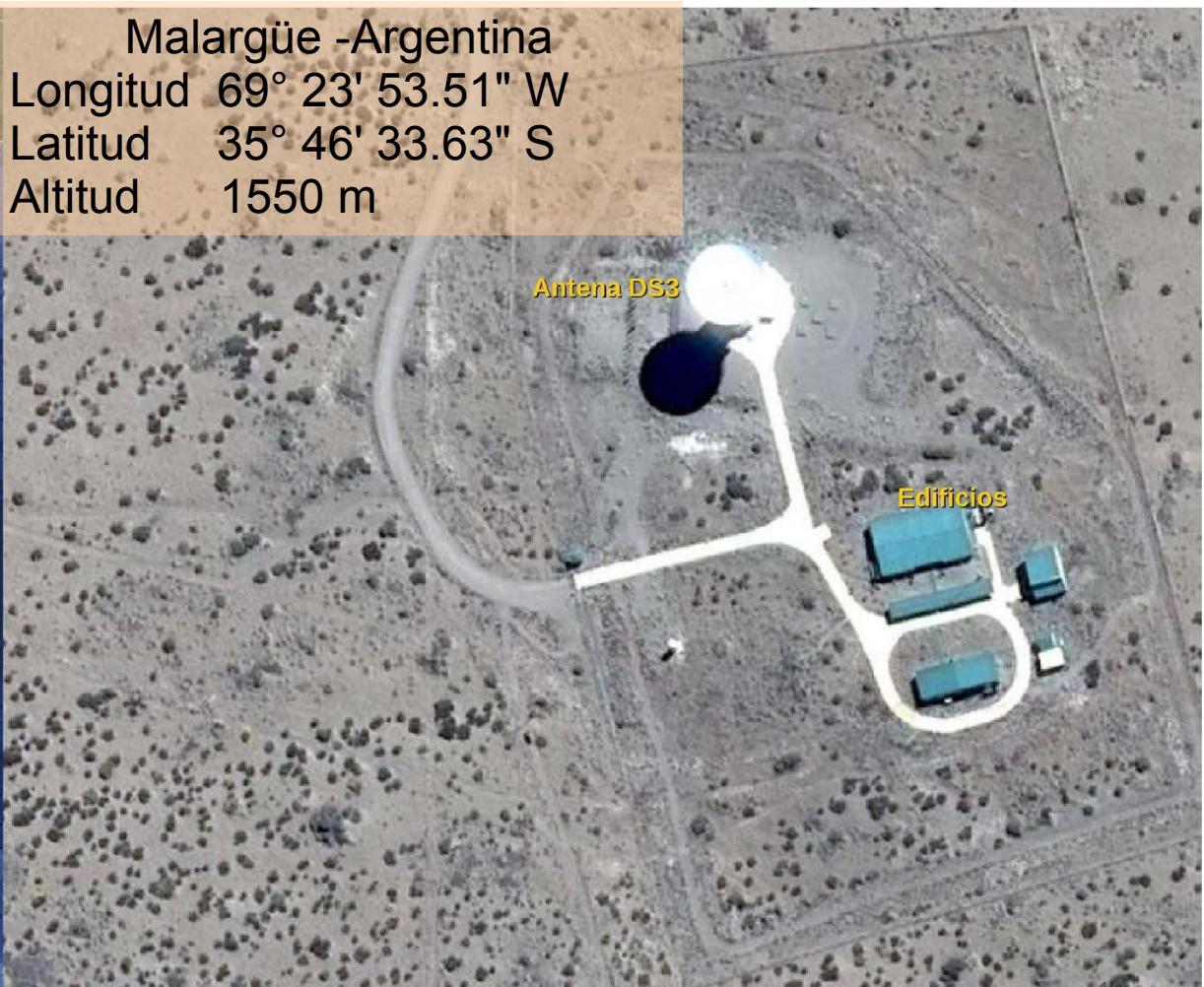
---

Ubicada en Malargüe (Mendoza, Argentina), es una antena de tipo Cassegrain de 35 m de diámetro.

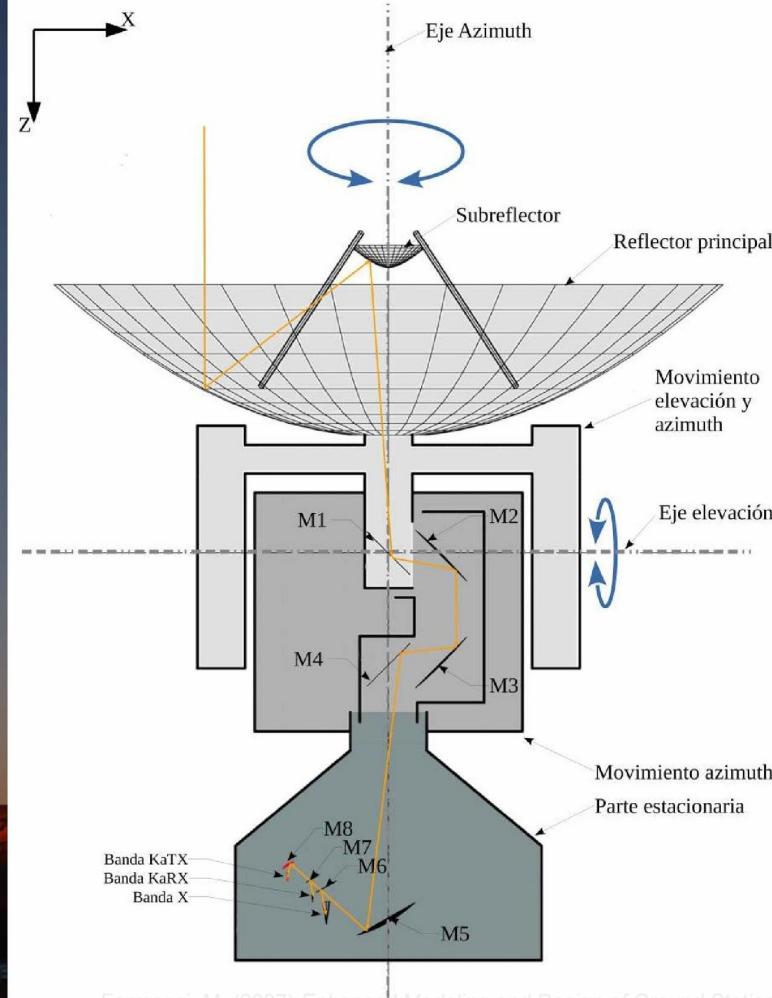
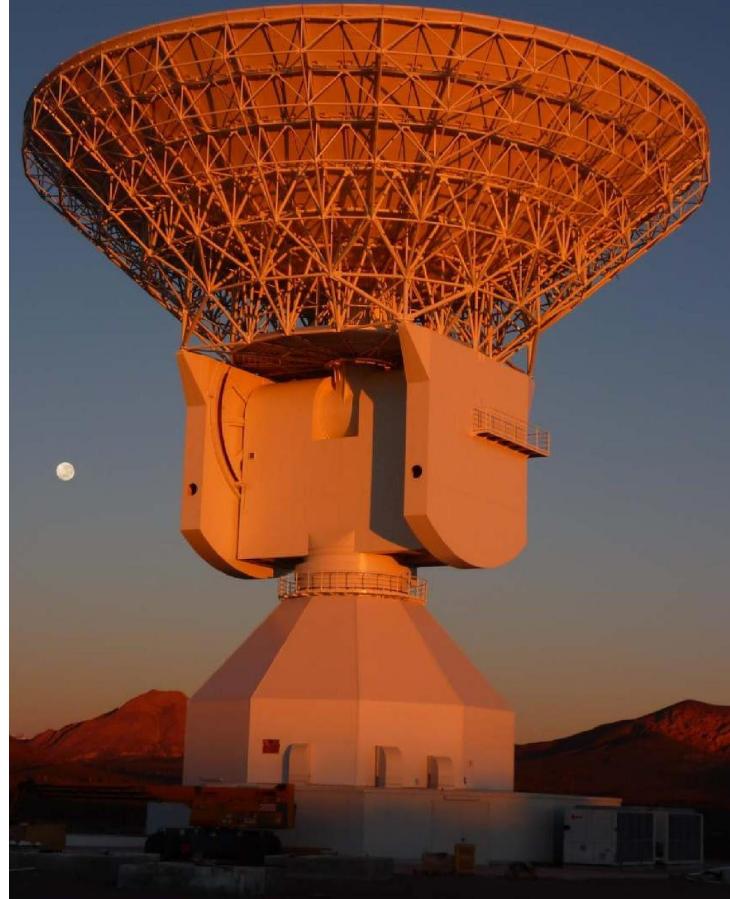
- Recepción: X: 8,4 - 8,5 GHz | Ka: 31,8 - 32,3 GHz),
- HPBW: X: 4.4' | Ka: 1.1',
- Precisión de apuntamiento: X: 0.18' | Ka: 0.12',
- Temperatura de ruido de sistema: X: 18 K | Ka: 30 K,
- Polarización: Circular (ambas polarizaciones al mismo tiempo)
- Diodo de Ruido: Si\* (actualizado 2019).



Malargüe -Argentina  
Longitud  $69^{\circ} 23' 53.51''$  W  
Latitud  $35^{\circ} 46' 33.63''$  S  
Altitud 1550 m



# Deep Space Antenna 3

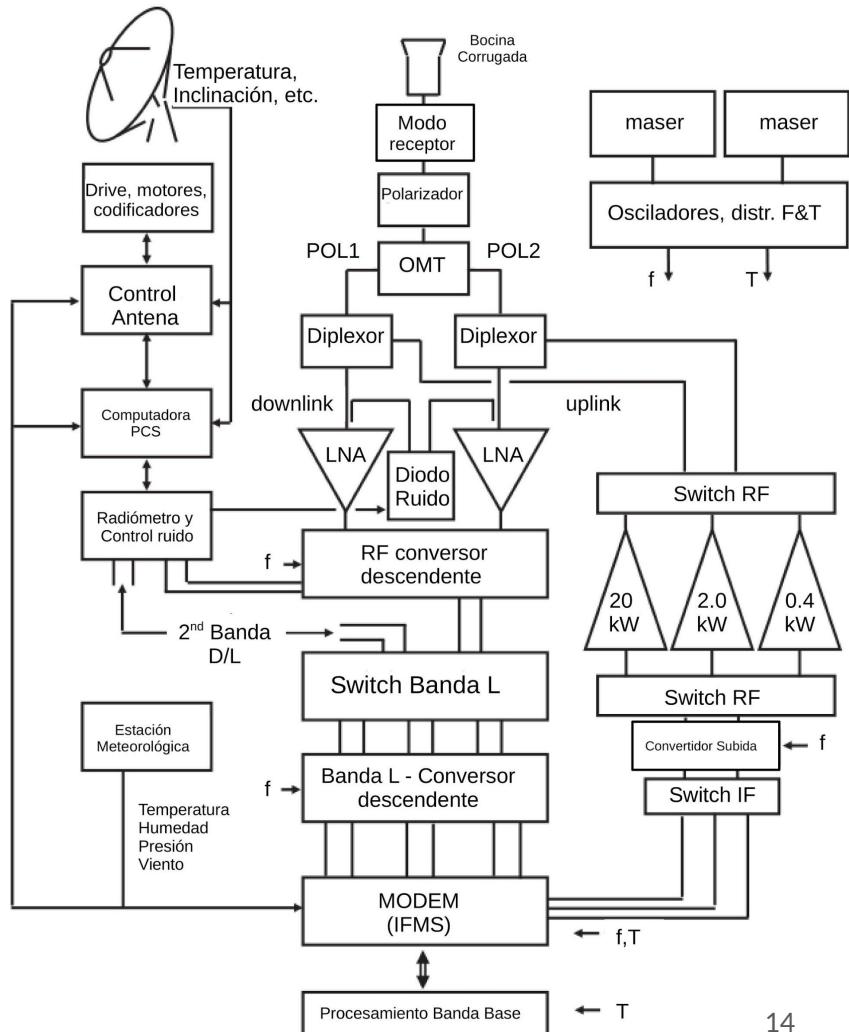


\* Picture courtesy of ESA

Formaggi, M. (2007) Enhanced Modeling and Design of Ground Station Antennas for Space Applications, Doctoral Thesis, University of Pavia

# Enlace descendente

- Las señales son recibidas
- X: 8,4 - 8,5 GHz | Ka: 31,8 - 32,3 GHz
- Enrutadas a través del sistema BWG.
- Separa polarización LHCP y RHCP
- Amplifica mediante LNA.
- 1ra conversión frecuencia intermedia (IF) - Banda L: 420 a 520 MHz.
- 2da conversión a 70 MHz de frecuencia intermedia (IF).



# Sistema módems frecuencias intermedias

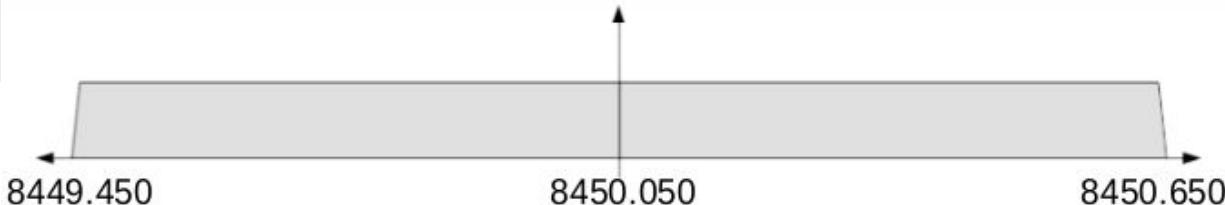
---

## IFMS

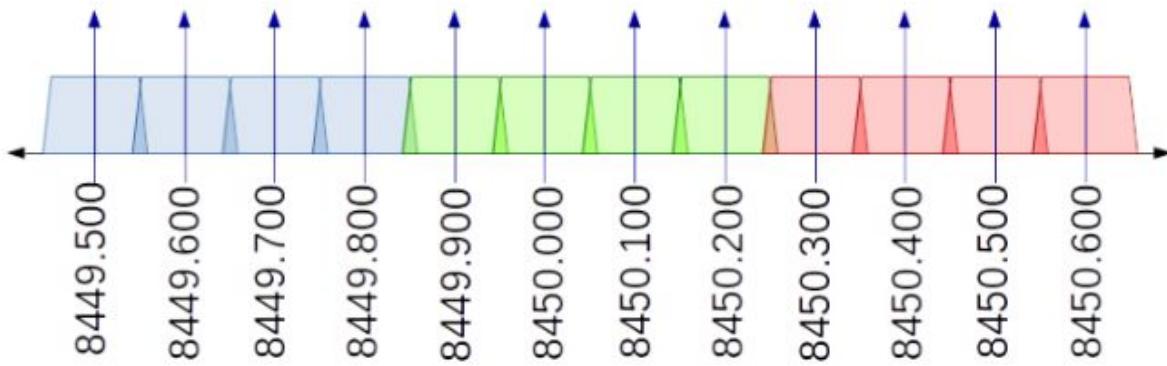
El equipo es esencialmente un sistema de radio digital que puede demodular señales en un ancho de banda de  $\pm 7$  MHz centrado en 70 MHz.

# Conversión   Descendente

## 1er conversión descendente 3 subbandas

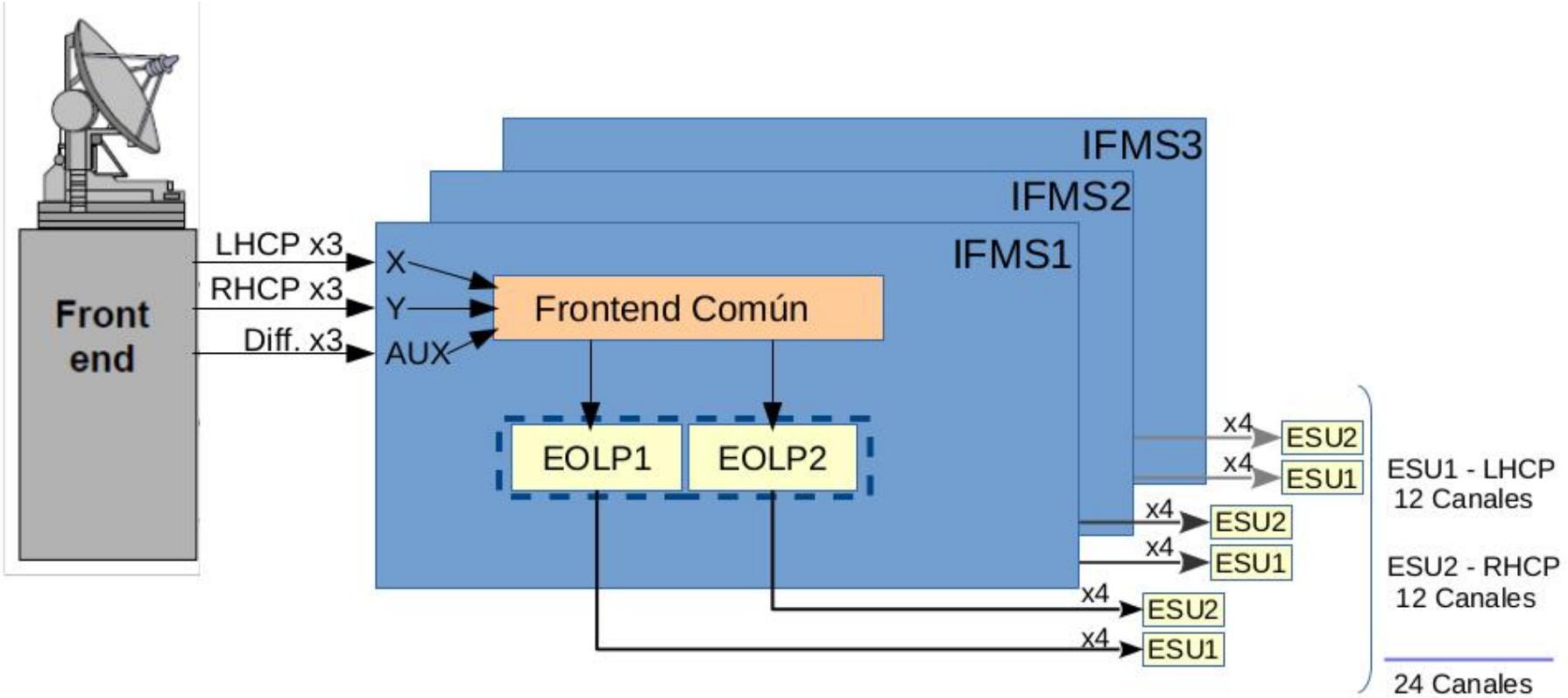


## 2da conversión descendente 4 subbandas por IFMS



## Frecuencias expresadas en Banda X, en MHz

CH0 ESU1	CH1 ESU1	CH2 ESU1	CH3 ESU1	CH0 ESU2	CH1 ESU2	CH2 ESU2	CH3 ESU2	CH0 ESU3	CH1 ESU3	CH2 ESU3	CH3 ESU16
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------



Esquema simplificado de información

# Frecuencia de muestreo y la resolución digital

---

Sampling Rate > Bandwidth

Sampling Rate x 4 (subchannels) x Quantization (bits) x 2 < 36 Mbps

SR x 4 x 16 x 2 < 36

SR < 36 / (4 x 16 x 2)

SR < 36 /128

SR < 0,281 MHz

SR < 281 kHz

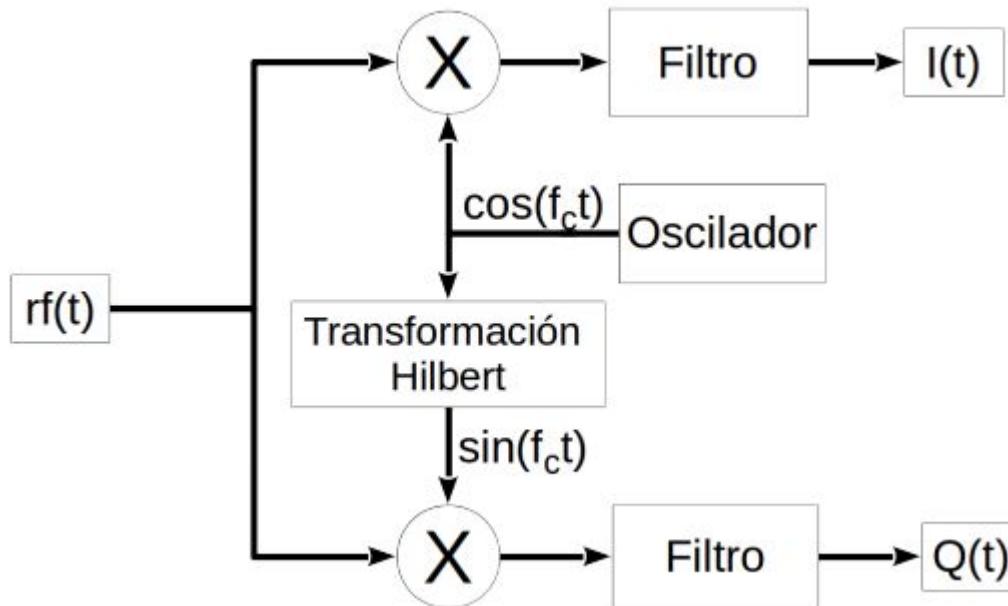
---

## Parte 2

### Metodología

- Método de procesamiento
- Método de observación astronómica

# La señal recibida



# Datos crudos de DSA 3

---

Señal de RF se convierte una señal analógica en fase (I o in-phase) y cuadratura (Q o quadrature).

Estas señales analógicas I y Q son enviadas a un conversor analógico-digital (ADC) para ser digitalizadas.

La señal digital IQ, es un conjunto de pares de valores complejos.

# Cálculo de potencia

- RMS en dBFS

$$Z_{rms}/dBFS = 20 \cdot \log_{10} \left( \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} (I_n^2 + Q_n^2)} \right)$$

La unidad de medida de la densidad de flujo espectral

es el **Jansky, Jy** donde  $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$

Conversión a una **base de decibeles**, (campos de telecomunicaciones e ingeniería de radio),

$$P_{\text{dBW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}} = 10 \log_{10} (P_{\text{Jy}}) - 260$$

$$P_{\text{dBm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}} = 10 \log_{10} (P_{\text{Jy}}) - 230$$

donde P es **densidad espectral de flujo de potencia (SPFD)**.

# **Metodología de observación**

---

¿Qué hacer cuando no hay una fuente de referencia local ("diodo ruido") u otra referencia en Tierra?

Sin referencia de calibración local, se necesita establecer patrones de referencia astronómicos.

Fuente calibradora: su flujo ha sido medido en reiteradas investigaciones mediante calibración relativa respecto de una escala de densidad de flujo absoluta dada por una referencia local.

# Conmutación de posición

Medición de la diferencia entre las potencias de salida en un punto definido o **ruido+fuente (ON)** y una posición de referencia o **ruido (OFF)**.

Oscilando el subreflector (oscilando haz) u **oscilando la posición de la antena** (caso DSA3).

La naturaleza estocástica del ruido y de la referencia de cielo OFF introduce un factor de incertidumbre en las mediciones.

---

En la práctica, se debe incluir un tiempo muerto en el procedimiento de observación.

La integración con fuente (ON) y fuera de la misma (OFF), deben ser de igual duración.

Es más eficiente mover el telescopio regularmente para que la secuencia de observación sea ON-OFF / OFF-ON / ON-OFF ... en lugar de ON-OFF / ON-OFF / ON-OFF. Eliminando cantidad de tiempos muertos.

# Cálculo de potencia de la fuente

---

- Potencia recibida,  
Contribución de la  
Fuente.

$$S = \frac{Z_{on,rms} - Z_{off,rms}}{Z_{off,rms}} \cdot C_{IFMS}$$

$Z_{on,rms}$  es Potencia ON (señal+ruido),

$Z_{off,rms}$  es Potencia OFF (ruido),

$C_{IFMS}$  factor de ponderación para cada IFMS.

Se obtiene de las observaciones utilizando una fuente calibradora y los datos de catálogo existentes.

---

# Parte 3

## Implementación

- Pipeline procesamiento
- Análisis & Resultados

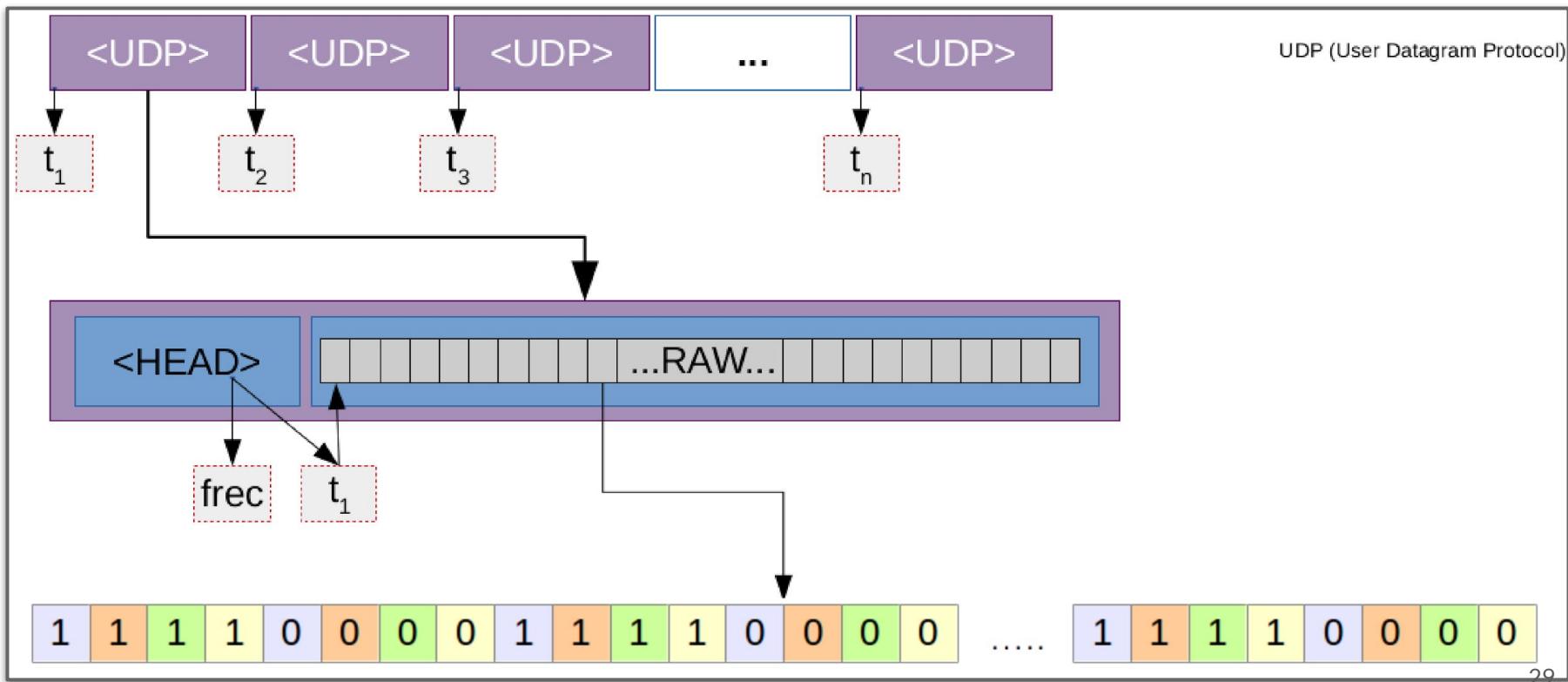
# Formato de Datos

---

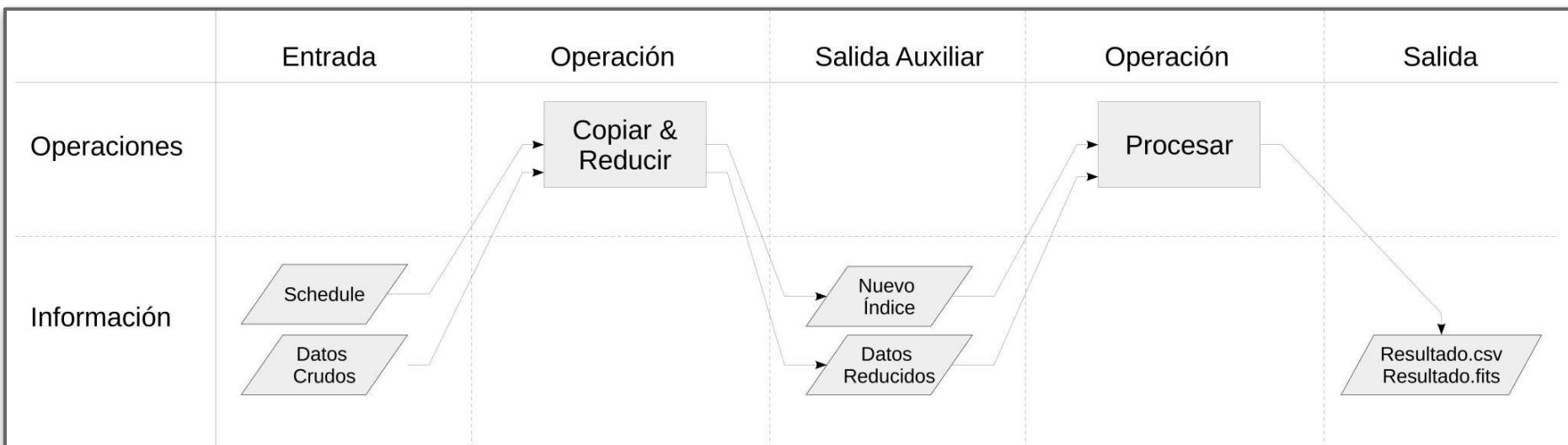
Cada número complejo corresponde a una muestra de la señal de radio IF.

Los valores complejos pueden tener una cuantificación de **16 bits** y se almacenan en los **paquetes UDP** en palabras de **32 bits** de forma **multiplexada**; estos paquetes consisten en un encabezado que contiene la marca de tiempo de la primera muestra (par IQ) contenida en el **arreglo de bits multiplexados**

# Datos de antena DSA 3



# Pipeline software



# Copiar & Reducir

Entrada

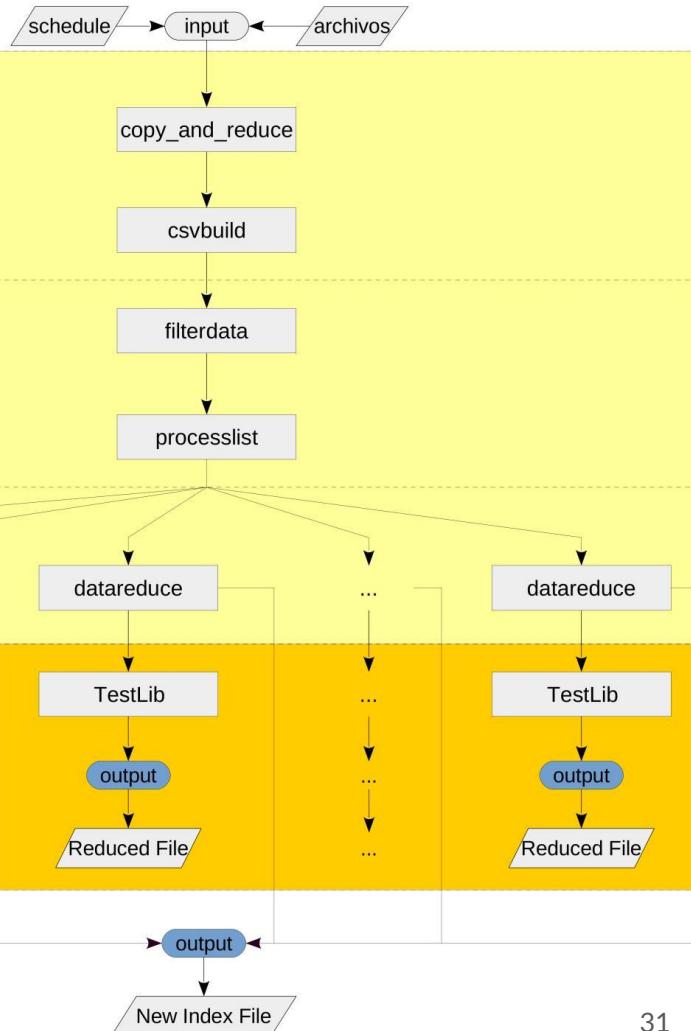
Lista de archivos

Obtención Timestamp

Procesar lista de archivos

Copiar partes  
(Módulo en C)

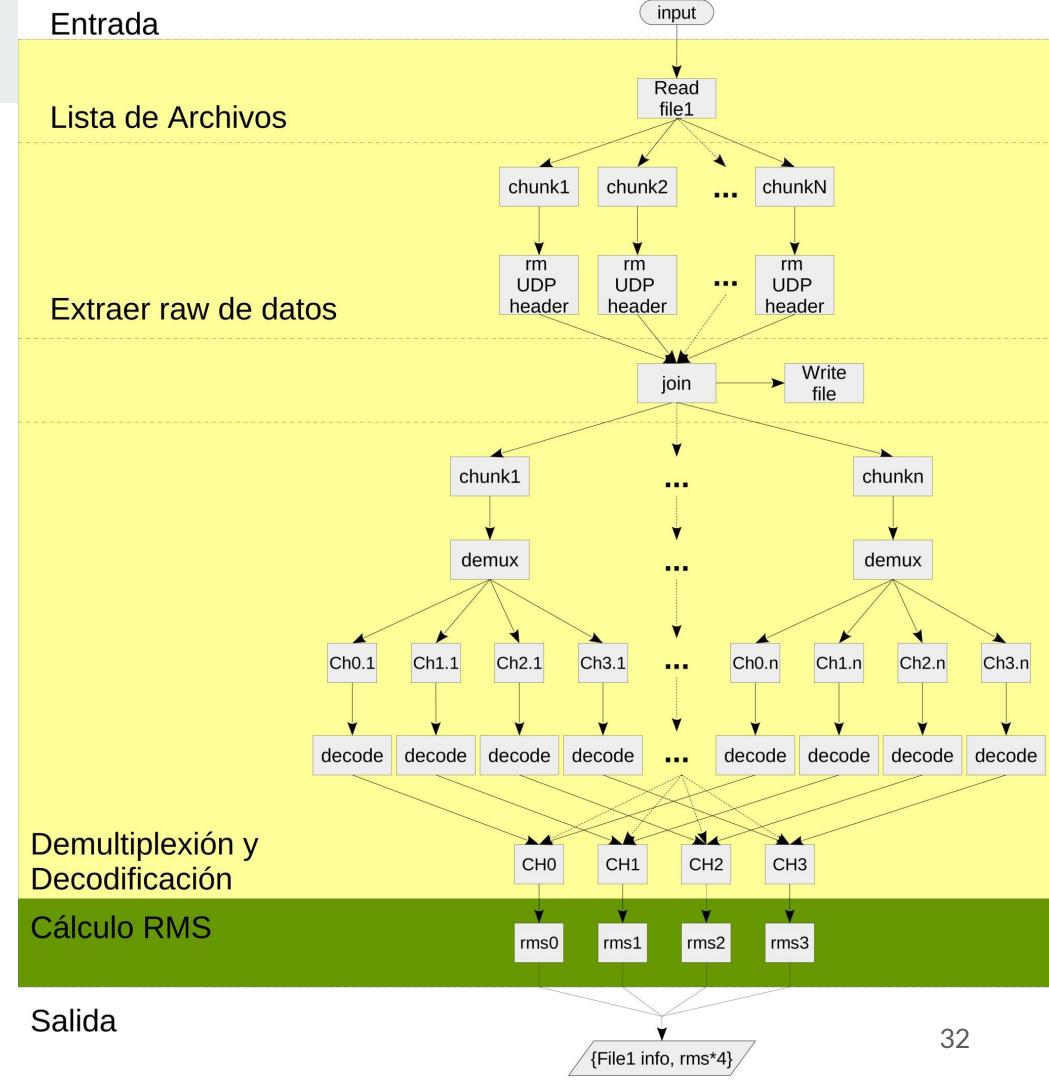
Salida



# Procesar

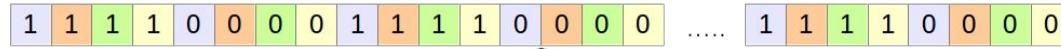
Procesar datos válidos

Calcular potencia



# Conversión de formato y cálculo de intensidad

Mux bit array



Demux



Entero complejo  
(IQ)



Cálculo  $A=|Z|^2$

$$A = I^2 + Q^2$$

Raíz Cuadrática Media

$$\sqrt{\frac{\sum A}{N}}$$

# Cálculo Potencia

---

$$Y = (I_0 \ Q_0 \ I_1 \ Q_1 \cdots \ I_n \ Q_n) \cdot \begin{pmatrix} I_0 \\ Q_0 \\ I_1 \\ Q_1 \\ \vdots \\ I_n \\ Q_n \end{pmatrix}$$

Producto punto o escalar

$$Y = I_0 \times I_0 + Q_0 \times Q_0 + I_1 \times I_1 + Q_1 \times Q_1 + \cdots + Q_n \times I_n$$

$$Y = I_0^2 + Q_0^2 + I_1^2 + Q_1^2 + \cdots + I_n^2 + Q_n^2$$

$$RMS_{complex} = \left( \frac{\sum_0^N (I_i^2 + Q_i^2)}{N/2} \right)^{1/2} = \left( \frac{Y}{N/2} \right)^{1/2}$$

# Análisis y resultados de observación

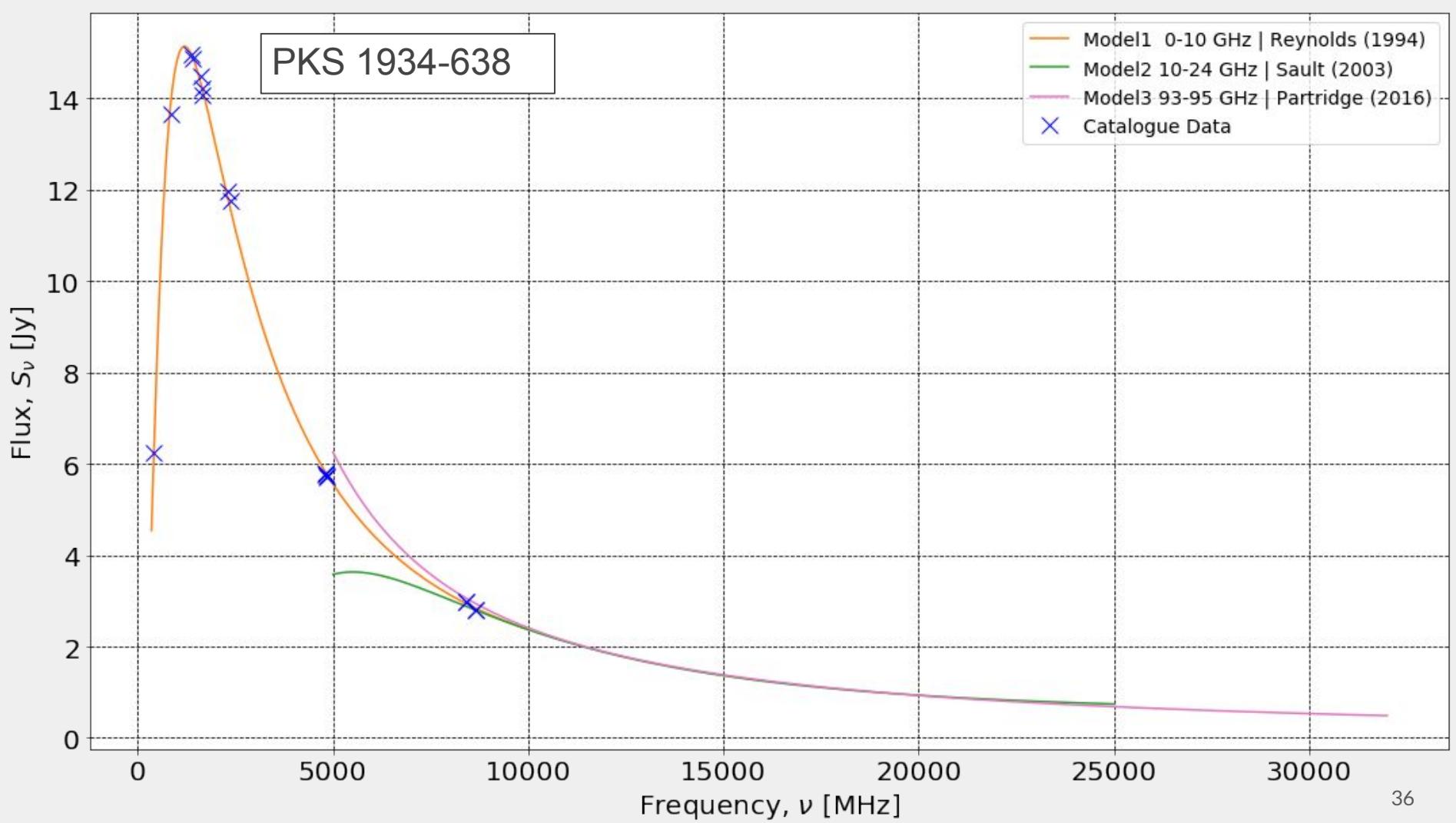
---

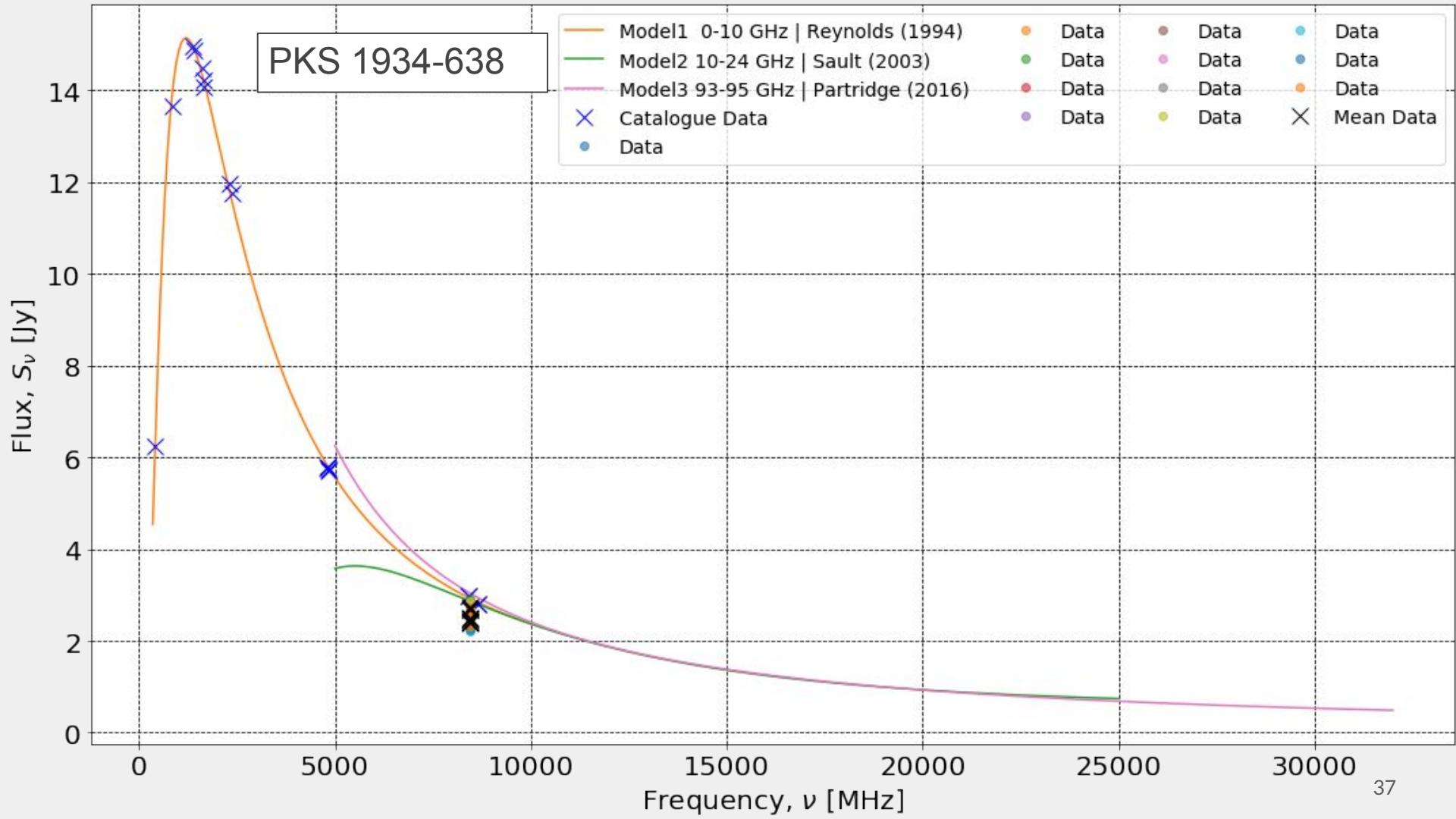
**PKS 1934-638**, una galaxia con un núcleo de Seyfert 2 (Fosbury et al. 1987) es un calibrador primario muy utilizado.

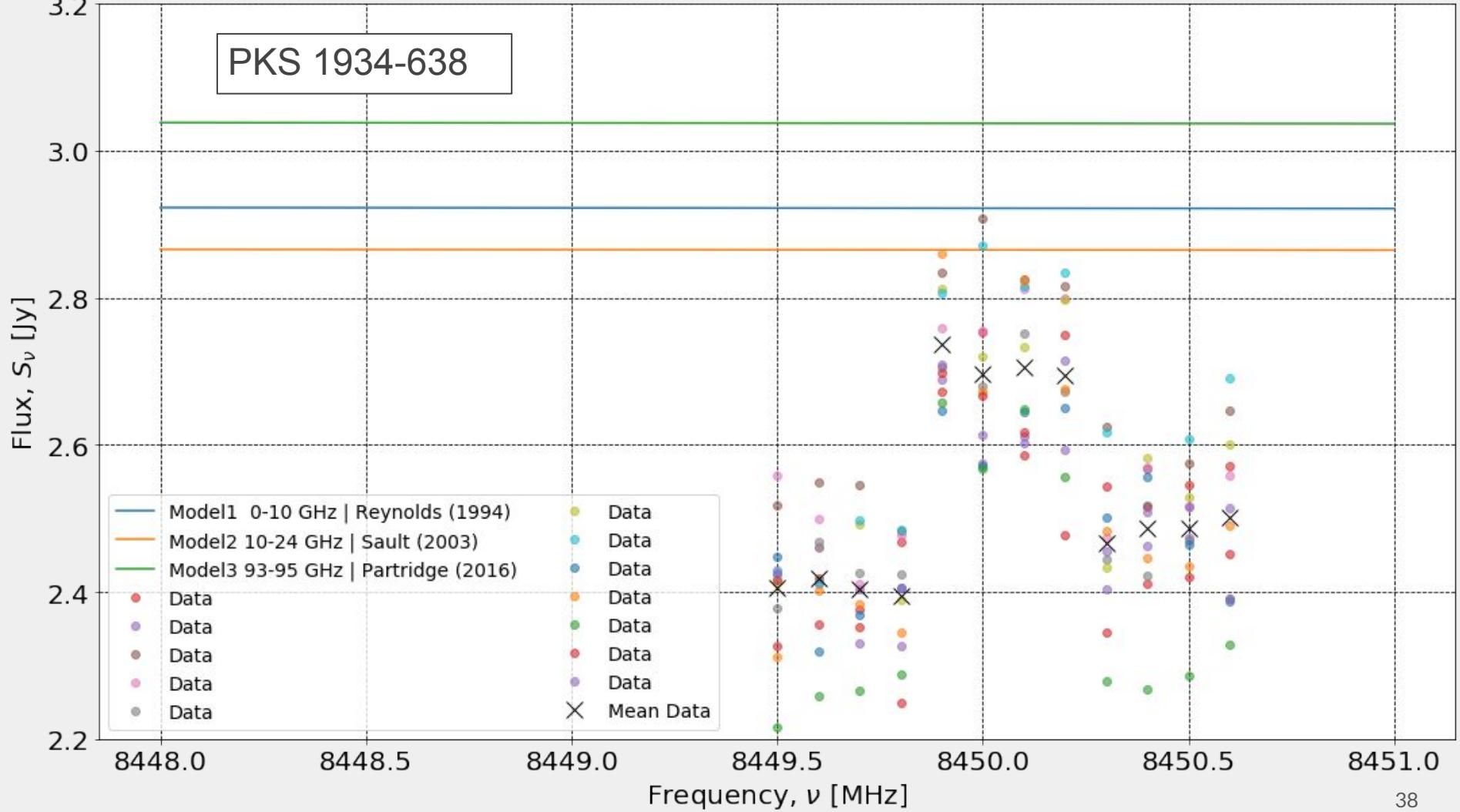
**PKS 0521-365**, Objeto BL Lac. Falomo et al. (2009) and Leon et al. (2016), tiene corrimiento al rojo de  $z = 0.056$  (D'Ammando et al. 2015) Calibrador secundario de ATCA.

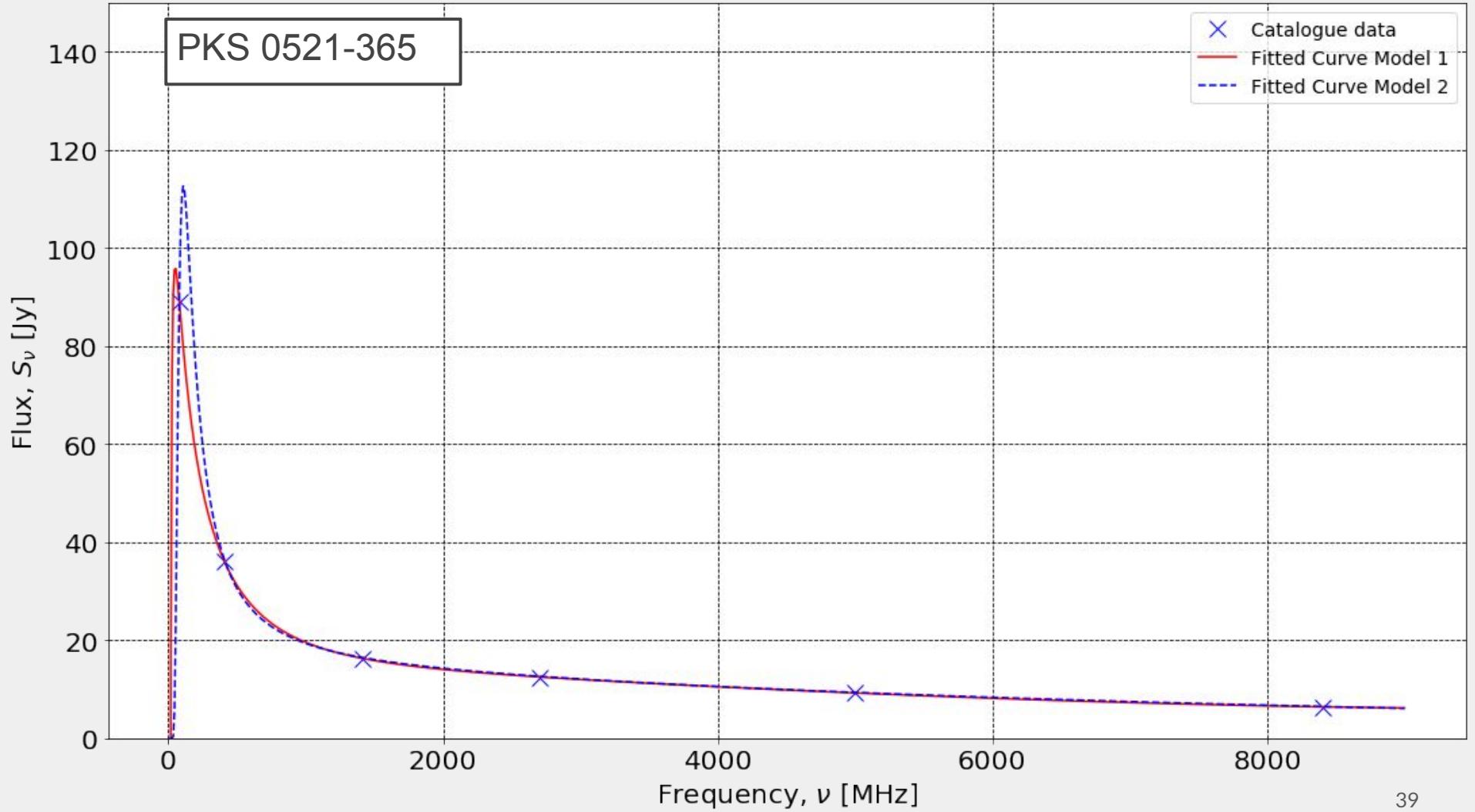
Ambas fuentes de radio son bien conocidos y ampliamente estudiadas.  
**PKS 1934-638**. Reynolds, J. (1994); Sault, R.J. (2003); Partridge, B. (2016).  
**PKS 0521-365**. R. Falomo (2009), Leon, S. (2015); Roesch, F. (2016).

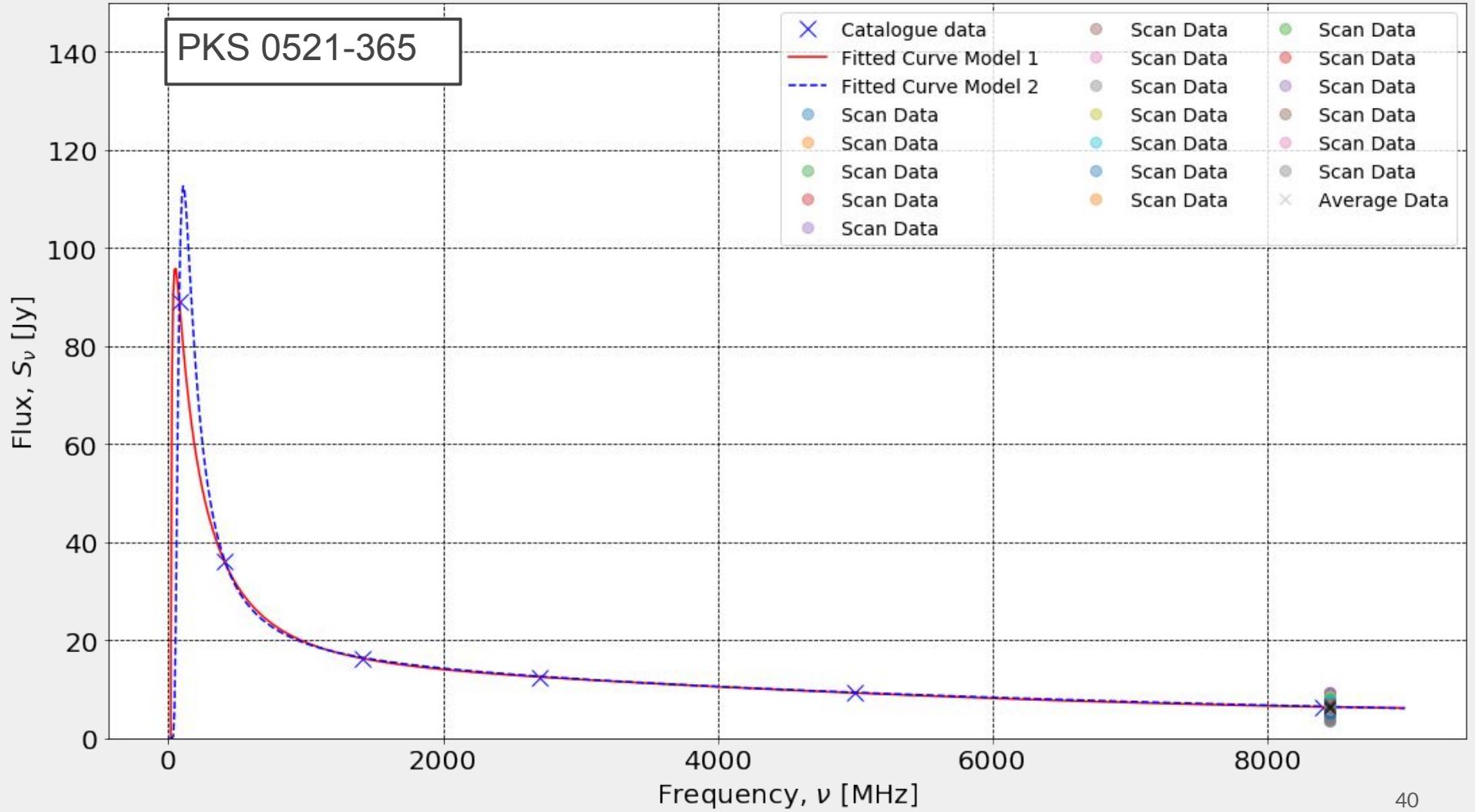
**PKS 0823-500**, es un calibrador de densidad de flujo secundario para ATCA.



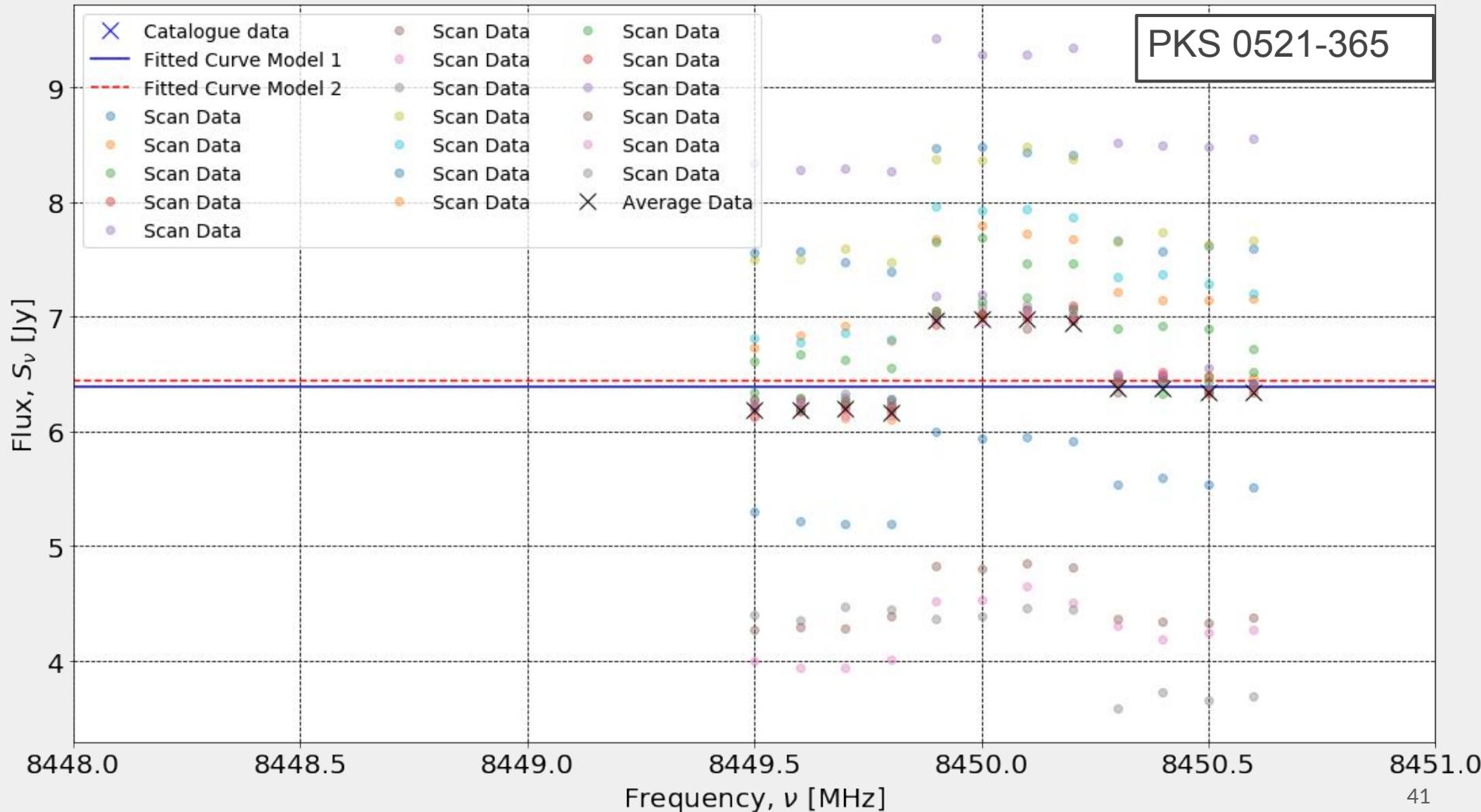








# PKS 0521-365



DOY	Nombre Fuente	Flujo por canal y frecuencia ( $S_v$ [Jy])												Número Escaneo
		8449.50	8449.60	8449.70	8449.80	8449.90	8450.00	8450.10	8450.20	8450.30	8450.40	8450.50	8450.60	
		<i>prom</i>	<i>prom</i>	<i>prom</i>	<i>prom</i>	<i>prom</i>	<i>prom</i>	<i>prom</i>	<i>prom</i>	<i>prom</i>	<i>prom</i>	<i>prom</i>	<i>prom</i>	
038	1934-638	2,902	2,910	2,901	2,882	2,717	2,680	2,714	2,688	2,775	2,786	2,765	2,793	10
285	1934-638	2,845	2,869	2,872	2,866	2,618	2,640	2,643	2,637	--	--	--	--	55
038	0521-365	7,208	7,185	7,204	7,175	6,582	6,614	6,575	6,562	6,845	6,874	6,837	6,823	55
285	0521-365	6,938	6,939	6,978	6,973	6,433	6,435	6,474	6,469	--	--	--	--	10
285	0823-500	1,799	1,763	1,771	1,799	1,655	1,622	1,630	1,655	--	--	--	--	4

Valor de referencia de SYMBAD: 1934-638 3 Jy<sub>8400</sub>, 0521-365 6,4 Jy<sub>8400</sub> y 0823-500 1,54 Jy<sub>8400</sub>

# Conclusiones

---

# Conclusiones

---

Fue posible establecer los procedimientos necesarios para hacer uso del instrumento, el método de observación recomendado y obtener resultados satisfactorios.

**Multiprocesamiento de datos con CPU y GPU y el cuello de botella de la manipulación de bits:** El cálculo de RMS en GPU más rápida que en el CPU, pero el tiempo de transferencia del arreglo de datos del Host al dispositivo GPU representa un verdadero cuello de botella.

**DSA 3 con fines radioastronómicos:** Sin cambiar el hardware y equipamiento existente en la antena, con algunas limitaciones de resolución y un grado de error en las mediciones aceptable en astrofísica. **Con el acceso al diodo de ruido se podrá mitigar las limitaciones.**

# Publicaciones

---

- *Pipeline de software para procesar datos grabados por la DSA3, A. Cancio; M. Colazo; & B. García, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía, Vol. 60, 2018, en prensa.*
- *Procesamiento de señales radioastronómicas, implementación para la antena de espacio profundo DSA 3 de la Agencia Espacial Europea, A. Cancio; M. Colazo; & B. García, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía, Vol. 59, 2017, en prensa.*

# Dedico este trabajo

---

A mi querida esposa, su amor y apoyo incondicional me dió luz de esperanza para terminar esta ardua tarea,

A mi hija, que amo profundamente y representa las generaciones futuras,

A mis padres y mis abuelos, su ejemplo de valores, esfuerzo y tenacidad me guían,

A mis amigos, que siempre me alientan y me apoyan,

A ellos dedico esta investigación.

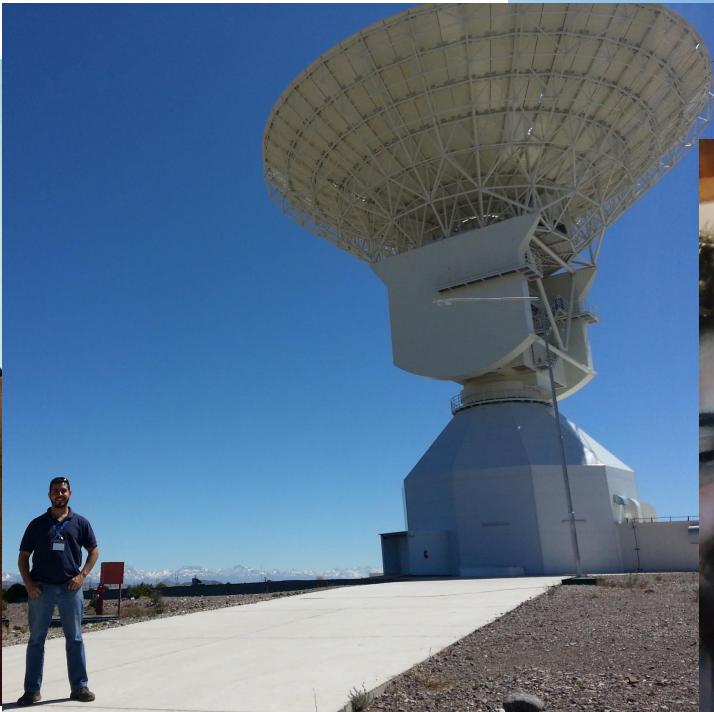
# Agradezco a

---

- A este jurado, por su paciencia y por prestar su tiempo a la lectura y revisión de este trabajo,
- A Beatriz García y Manuel Platino por su dirección y guía en el desarrollo de esta investigación,
- A todos mis compañeros de trabajo en ITeDA, en especial a Javier y Alexis, por su ayuda constante en lo cotidiano.
- A Marcelo Colazo (CONAE) y Paula Benaglia (IAR), por su ayuda y asesoramiento.
- A Diego Pazos y todo el personal de la ESA, que sin su colaboración y predisposición este trabajo no habría sido posible.

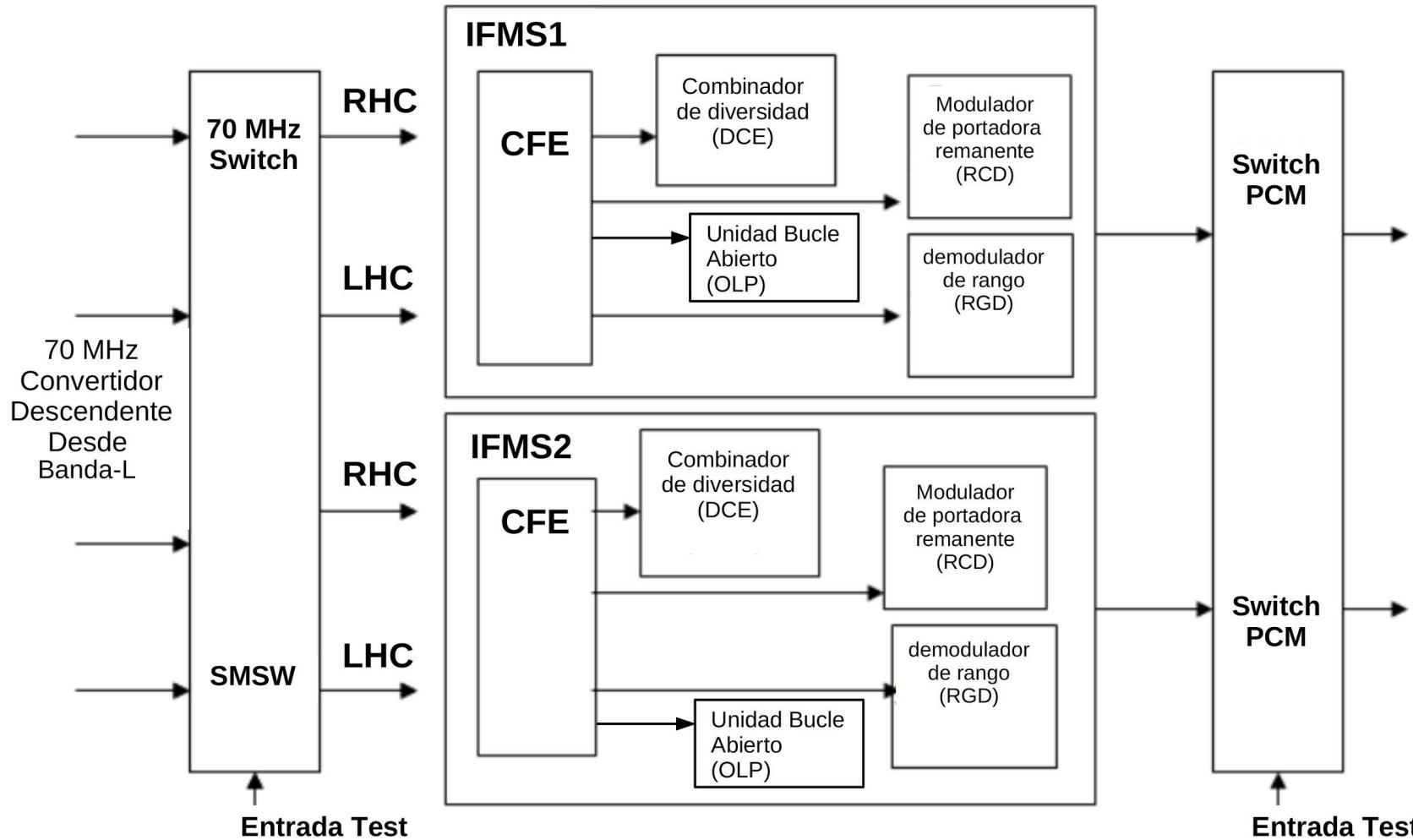
# Preguntas

*¡Gracias por su atención!*



Sincu, gracias por acompañarme todo este tiempo ...



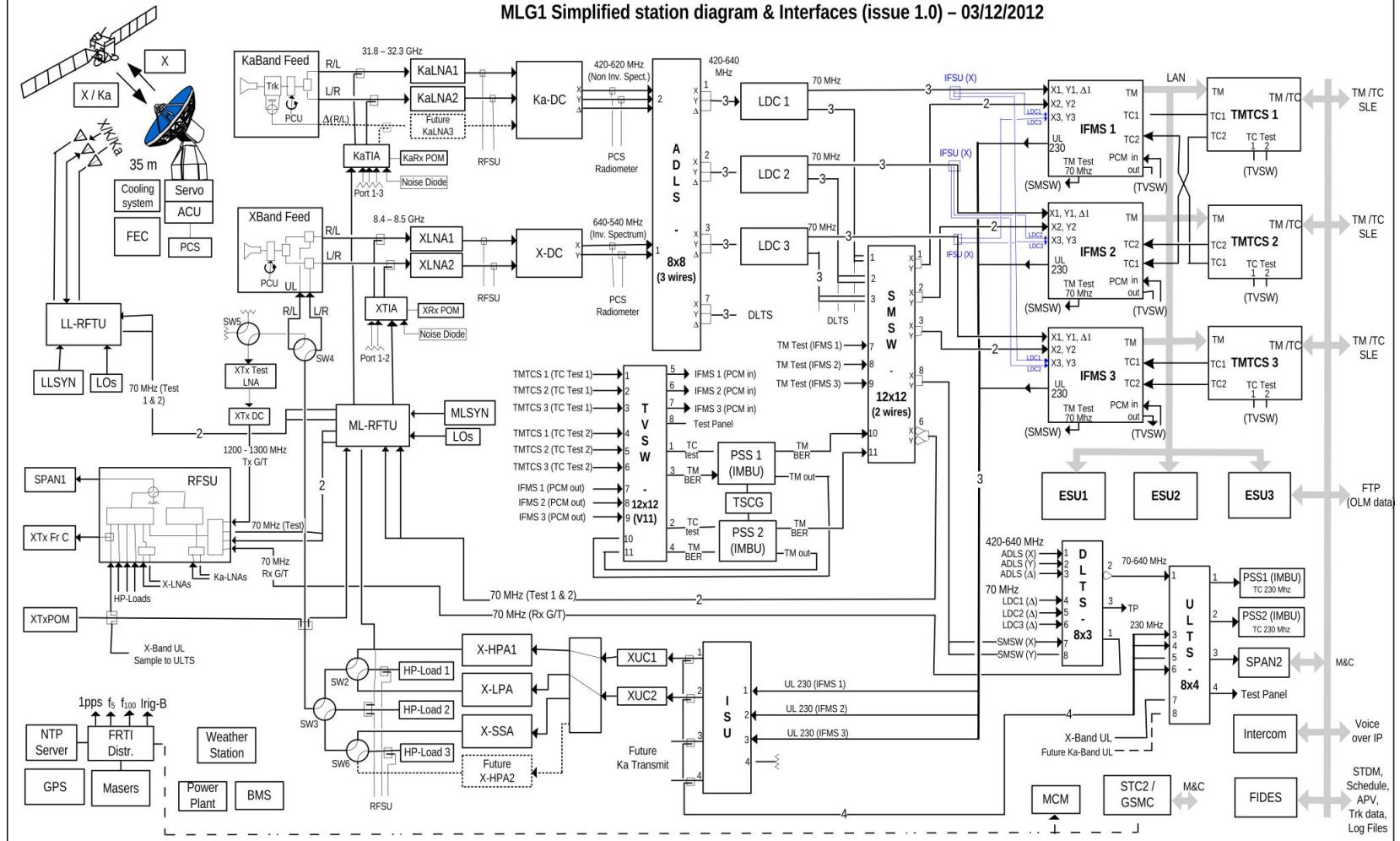


# Enlace descendente banda X

---

X-band RX band [MHz]	8400 - 8500
X-band Polarization	RHC, LHC, LINEAR
X-band G/T [dB/K]	50.8 (at 10 deg El.)
Ka-band RX band [MHz]	31800 - 32300
Ka-band Polarization	RHC, LHC
Modulation Schemes	IFMS compliant
Carrier Freq Search Range	+/- 1.5 MHz
Subcarrier Frequency	2 kHz to 1.2 MHz
1st Downconv. Frequency	640 – 540 MHz X-Band
	620 – 420 MHz Ka-Band
2nd Downconv. Frequency	70 MHz (X & Ka Bands)

# MLG1 Simplified station diagram & Interfaces (issue 1.0) – 03/12/2012



# Cálculo de potencia

---

- Valor de RMS de  $z(t)$

$$W_{rms} = \sqrt{\langle z_{(t)}^2 \rangle}$$

- Potencia promedio normalizada

$$Z = \left\langle z_{(t)}^2 \right\rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} z_{(t)}^2 dt$$

- Expresión discreta cálculo de potencia

$$Z_{rms} = \left( \frac{\sum_{i=0}^{N-1} |z_i|^2}{N} \right)^{1/2}, \text{ donde } |z|^2 = (\sqrt{I^2 + Q^2})^2$$

$$Z_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} (I_n^2 + Q_n^2)}$$

# Observación (Ejemplo)

## MLG ESTRACK STATION ALLOCATION FILE

ESAF (eventfile: /home/eps1user/eps-2.5/environment/Generation\_Area/stations/mlg/PLNVIEW\_20170112T000000\_20180103T000000\_20170112T145618\_v01-00.MLG-O)

Station Manning Times: Mon - Fri

Date	DOY	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Mon Feb 6 (17.037)	00014																									
	0014																									
Tue Feb 7 (17.038)	0015																									
	0015																									
Wed Feb 8 (17.039)	0111																									
	0111																									
Thu Feb 9 (17.040)	000EXMO108																									
	000EXMO108																									
Fri Feb 10 (17.041)	0000																									
	0000																									
Sat Feb 11 (17.042)	0000																									
	0000																									
Sun Feb 12 (17.043)	0000																									
	0000																									
Mon Feb 13 (17.044)	0000																									
	0000																									
Tue Feb 14 (17.045)	000GAIA101																									
	000GAIA101																									
Wed Feb 15 (17.046)	0101																									
	0101																									
Thu Feb 16 (17.047)																										
Fri Feb 17 (17.048)	0000																									
	0000																									
Sat Feb 18 (17.049)	0051																									
	0051																									

CONAE / ITeDA – Observation 3

# Observación (Ejemplo)

Archivo de Catálogo:

```
0521-365 05:22:57.984651 -36:27:30.850920
C0521OFF 05:22:57.984651 -37:27:30.850920
1934-638 19:39:25.026000 -63:42:45.630000
C1934OFF 19:39:25.026000 -64:42:45.630000
```

Archivo de tareas:

```
#Objeto: 1934-638
#setup frec de muestreo: 100KHz; resolución: 16-bits
2017/02/07/16:40:00 55 1934-638
2017/02/07/16:43:00 55 C1934OFF
2017/02/07/16:50:00 55 1934-638
2017/02/07/16:53:00 55 C1934OFF
2017/02/07/17:00:00 55 1934-638
2017/02/07/17:03:00 55 C1934OFF
2017/02/07/17:10:00 55 1934-638
2017/02/07/17:13:00 55 C1934OFF
2017/02/07/17:20:00 55 1934-638
2017/02/07/17:23:00 55 C1934OFF
2017/02/07/17:30:00 55 1934-638
2017/02/07/17:33:00 55 C1934OFF
2017/02/07/17:40:00 55 1934-638
2017/02/07/17:43:00 55 C1934OFF
2017/02/07/17:50:00 55 1934-638
2017/02/07/17:53:00 55 C1934OFF
2017/02/07/18:00:00 55 1934-638
.....
```

# Sincronización

ESU1-E1

ESU2-E1

ESU3-E1

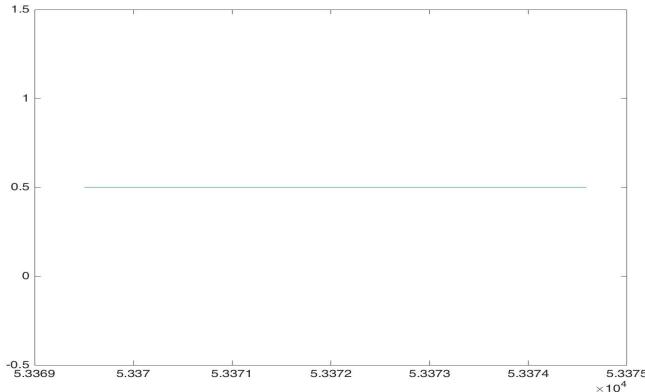
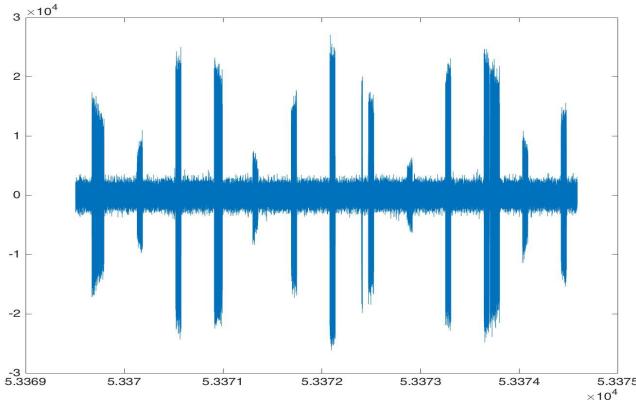
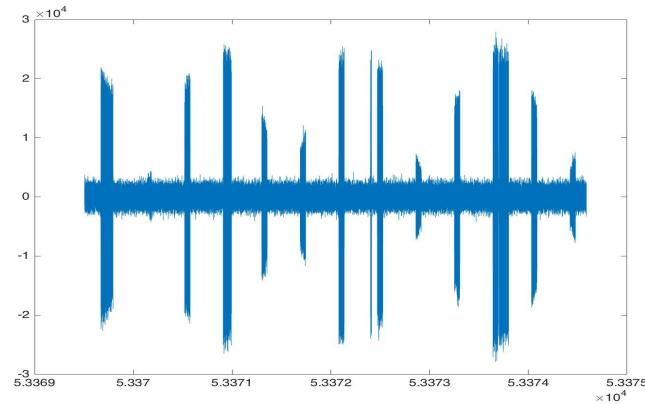
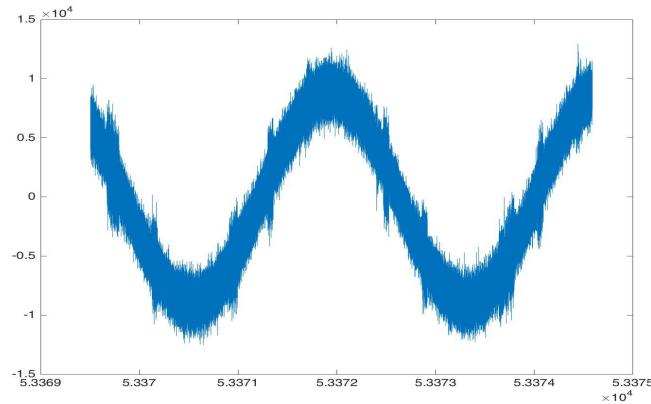
ESU1-E2

ESU2-E2

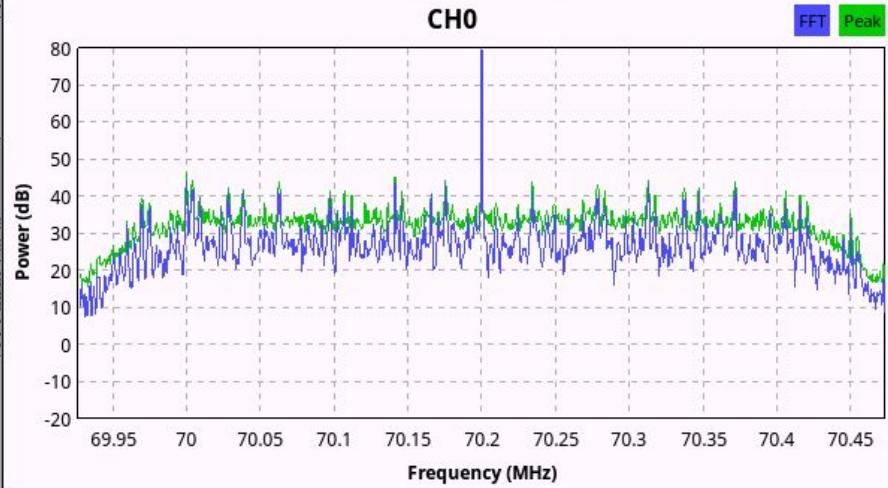
ESU3-E2

SYNC

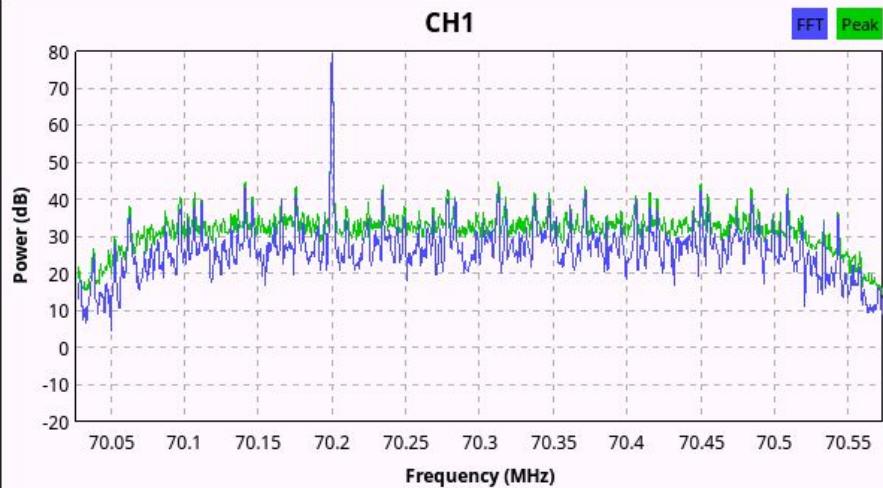
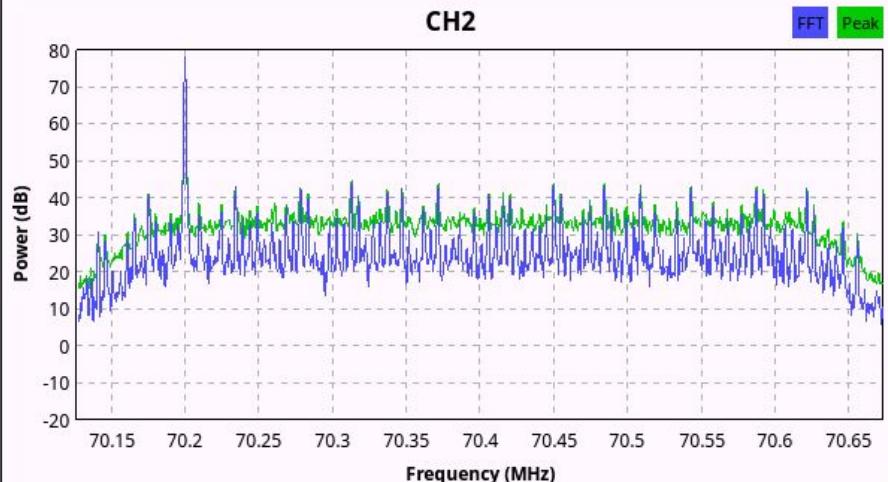
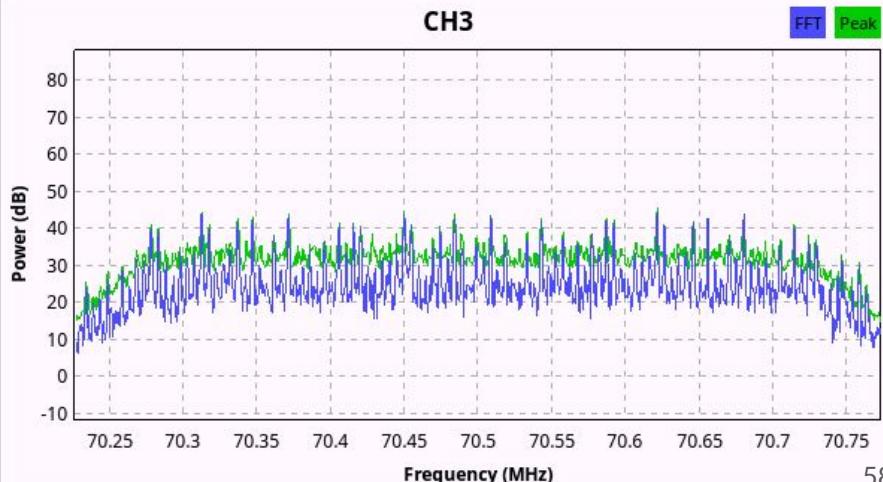
# Datos simulados



Test 8 bit IQ pure tone

**CH0**

Test 8 bit IQ pure tone

**CH1****CH2****CH3**

Entrada



Lista de Archivos

Extraer raw de datos



# Análisis y resultados de observación

**PKS 1934-638**, una galaxia con un núcleo de Seyfert 2 (Fosbury et al. 1987)

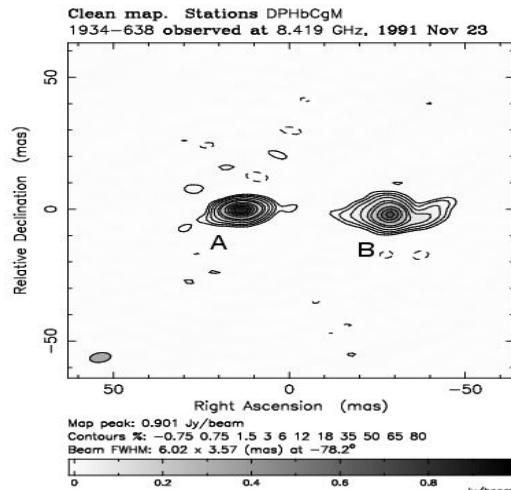
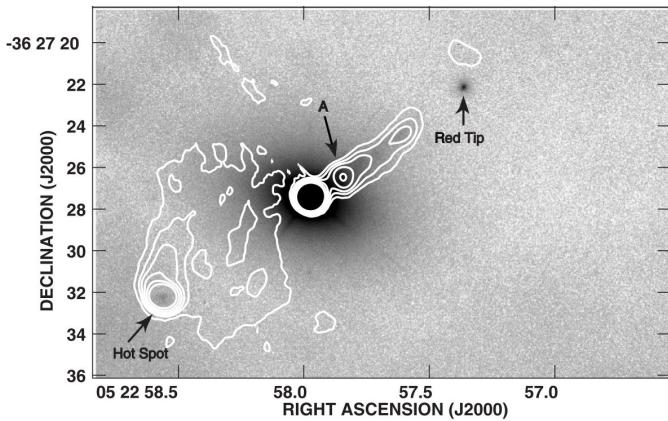


Imagen VLBI de PKS 1934-638 at 8.4 GHz (Tzioumis et al. 1997). Resolución de 5 mas. (Tzioumis et al. 1997)

Ambas fuentes de radio son bien conocidas y ampliamente estudiadas.  
PKS 1934-638. Reynolds, J. (1994); Sault, R.J. (2003); Partridge, B. (2016).  
PKS 0521-365. R. Falomo (2009), Leon, S. (2015); Roesch, F. (2016).

**PKS 0521-365**, Objeto BL Lac. Falomo et al. (2009) and Leon et al. (2016), tiene corrimiento al rojo de  $z = 0.056$  (D'Ammando et al. 2015)



PKS 0521-365 observado por MAD en la banda Ks. Los contornos representan el mapa de radio VLA a 15 GHz. Los niveles de contorno son: -1, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 mJy/beam (0.6x0.6 arcsec) R. Falomo (2009)