El Proyecto QUBIC en Argentina: una nueva "mirada" a la radiación cósmica de fondo.

QUBIC Argentina

WIAA – Observatorio de Córdoba – 8-10 de mayo de 2019

Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas

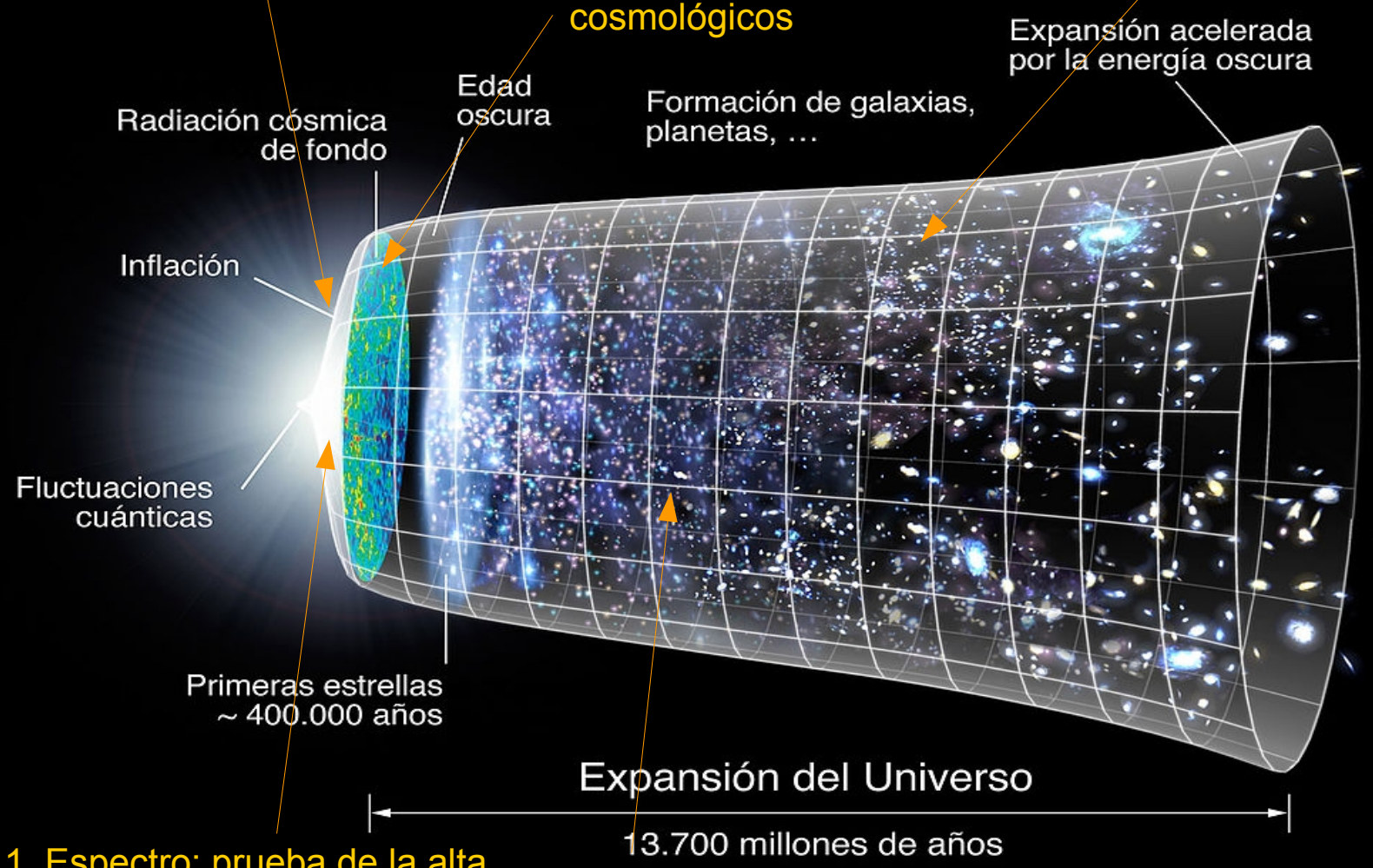
CONICET

UNSAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

5. Medición de modo B de polarización y espectro absoluto. Estudio del proceso de inflación a ultra-elevadas energías (10^{19} GeV)

2. Mapa de anisotropías primarias y modos E de polarización del CMB: Estudio de oscilación del plasma primordial, parámetros cosmológicos

3. Estudio de cúmulos de galaxias (todos los cúmulos con M > 10^{14} Ms dentro de nuestro horizonte)



Por qué deberíamos medir la CMB?

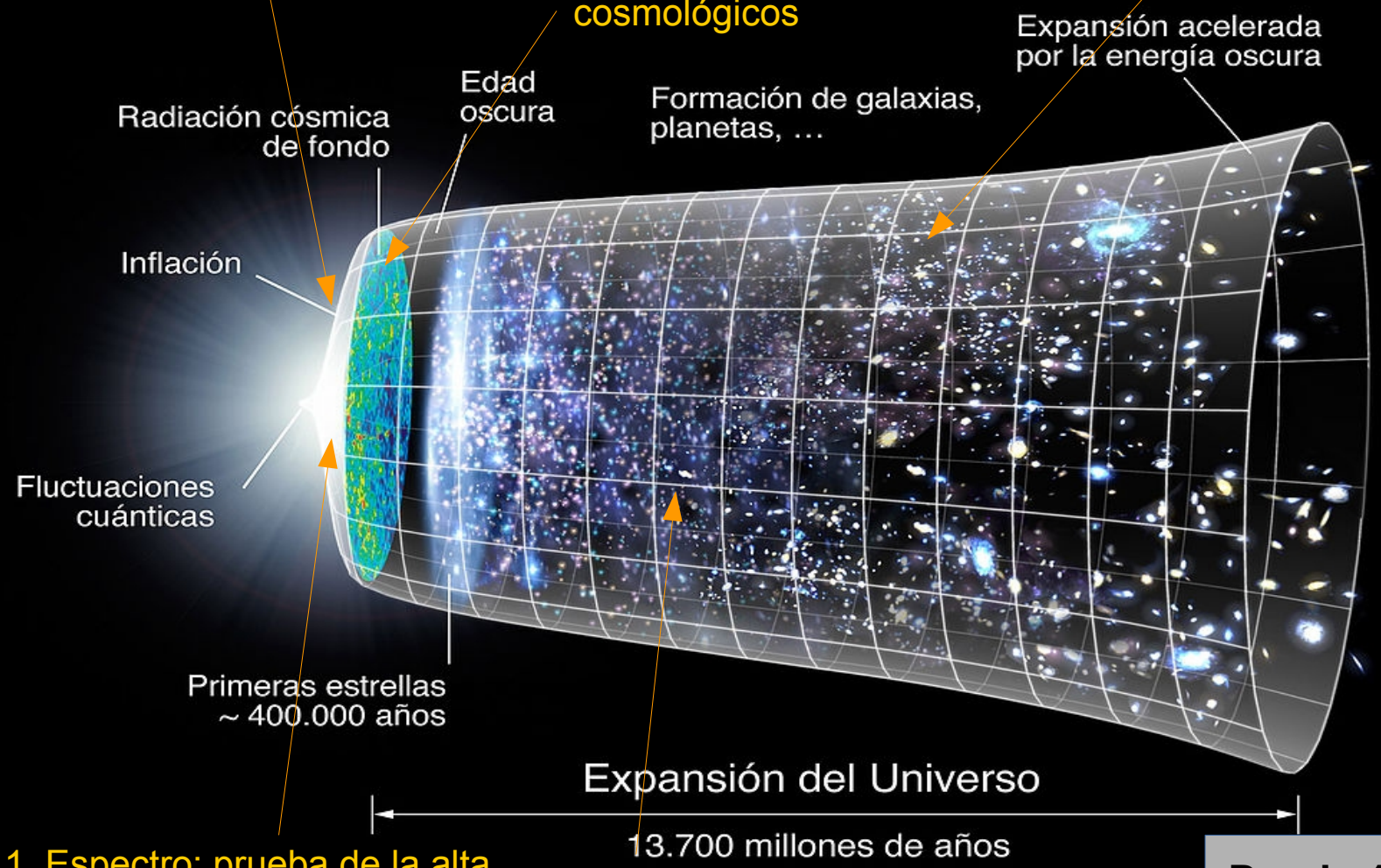
1. Espectro: prueba de la alta temperatura del big bang. Distorsiones espectrales: prueba de la época antes de la recombinación

4. Efecto lente de la CMB: Mapa del potencial gravitacional en todo el trayecto hasta z = 1100

5. Medición de modo B de polarización y espectro absoluto. Estudio del proceso de inflación a ultra-elevadas energías (10^{19} GeV)

2. Mapa de anisotropías primarias y modos E de polarización del CMB: Estudio de oscilación del plasma primordial, parámetros cosmológicos

3. Estudio de cúmulos de galaxias (todos los cúmulos con M > 10^{14} Ms dentro de nuestro horizonte)



Por qué deberíamos medir la CMB?

1. Espectro: prueba de la alta temperatura del big bang. Distorsiones espectrales: prueba de la época antes de la recombinación

4. Efecto lente de la CMB: Mapa del potencial gravitacional en todo el trayecto hasta z = 1100

Desde 1965 las mediciones de la CMB han sido importantes

El Inicio

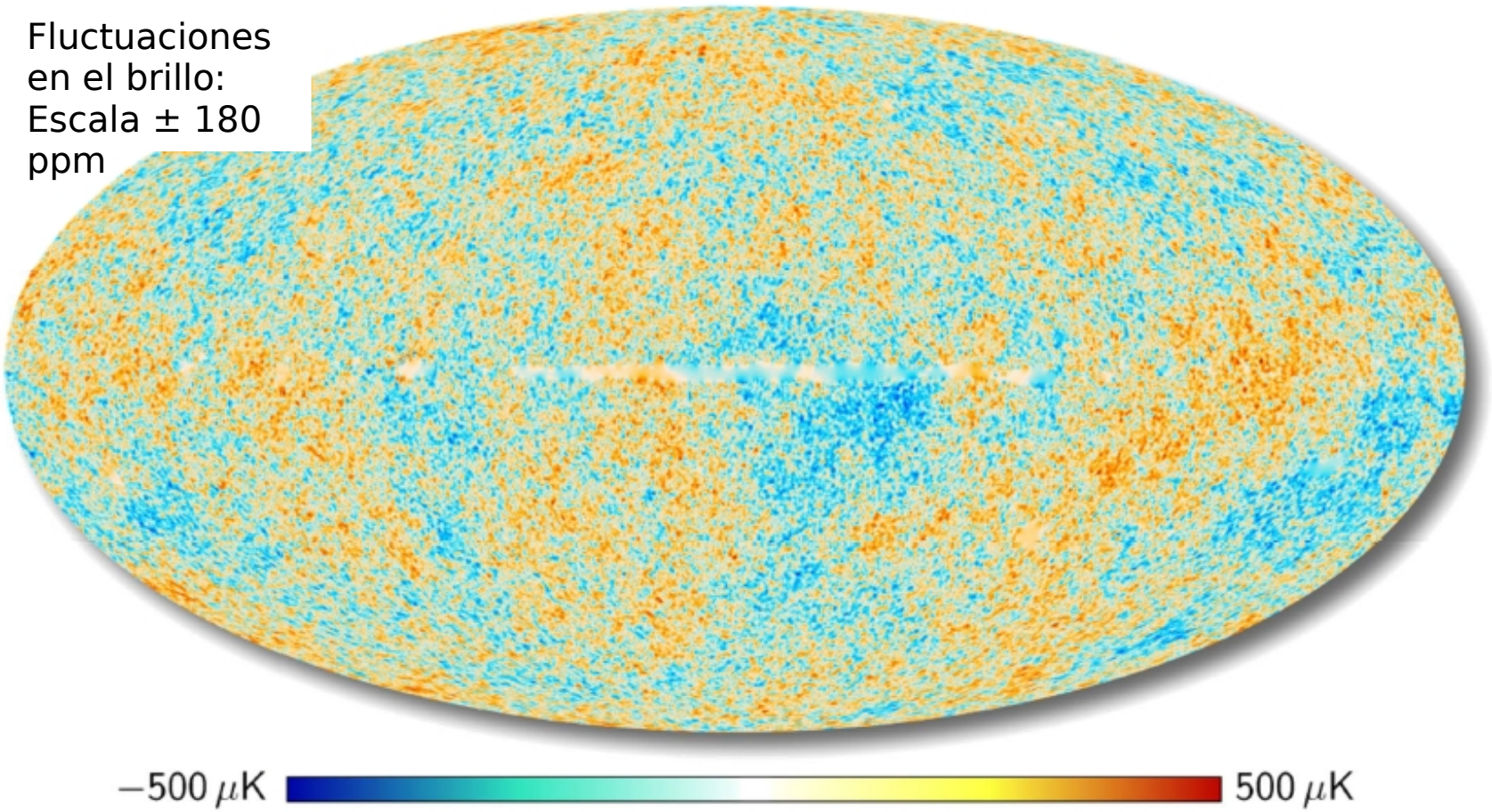
En lo que hace a los instantes iniciales de la historia del universo (~10^{-38} seg) los datos observacionales son consistentes con el paradigma de la "Inflación".
Durante una pequeña fracción de segundo después del Big Bang, el universo parece haberse expandido exponencialmente, más rápido que lo usual. Este escenario explica:

- Por qué el universo parece no tener curvatura? (plano).
- Por qué es isotrópico?.
- Por qué existen estructuras en el Universo?.
- Por qué no encontramos reliquias cósmicas, como monopolos magnéticos?

A pesar que la inflación explica de manera convincente estos enigmas, no tenemos evidencia directa de ella

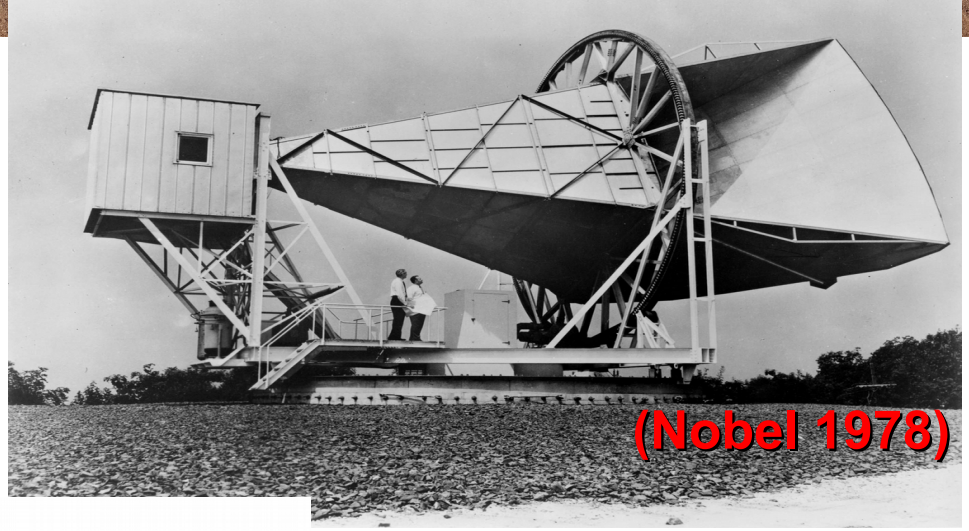
Anisotropías en la CMB
Resultados del satélite Planck

Una de las mas importantes predicciones de la inflación es que por sobre las anisotropías en densidad (perturbaciones escalares de la métrica), se espera la producción de ondas gravitacionales (perturbaciones tensoriales en la métrica)



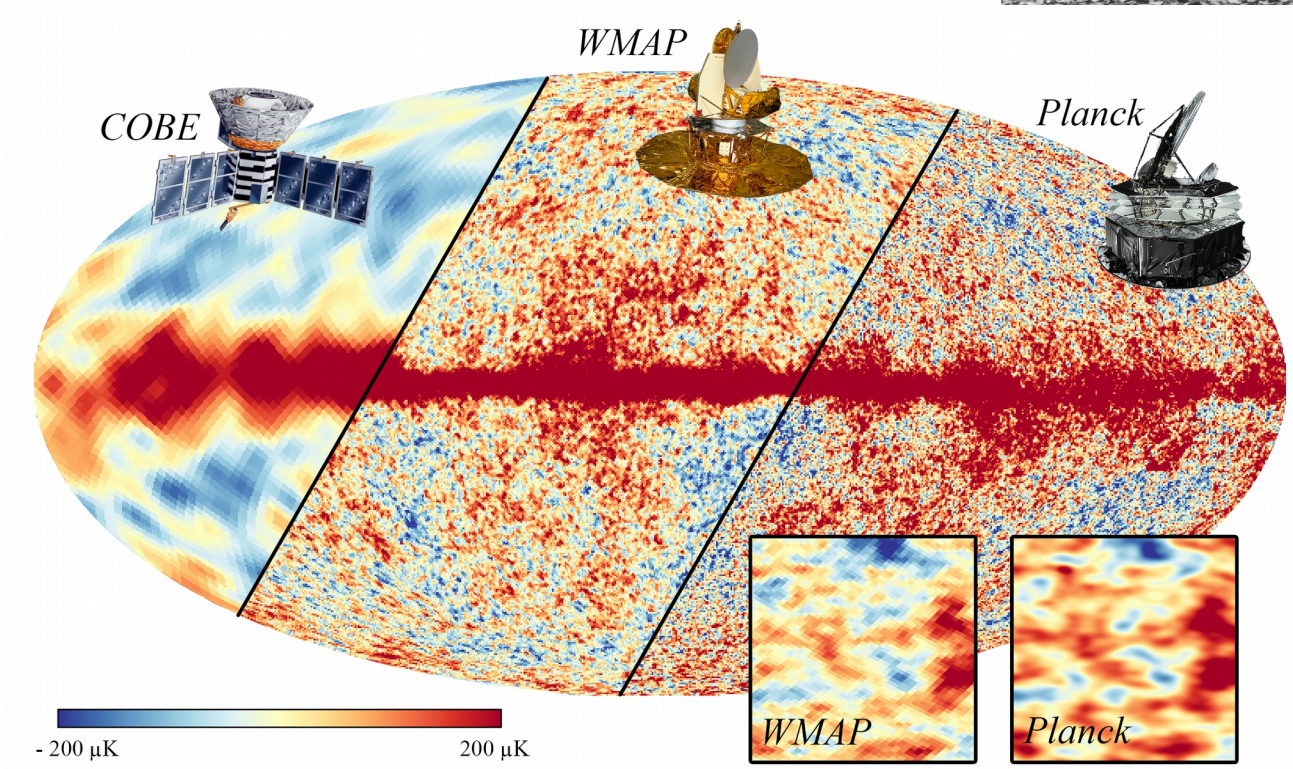
Breve historia de la radiación cósmica de fondo

1964: Penzias-Wilson. Descubrimiento T ~ 3 K



(Nobel 1978)

1948: Gamow–Alpher–Herman
Nucleosíntesis primordial He/H
requiere ~ 10^9 fotones por cada nucleón
(predicen T ~ 5 K)



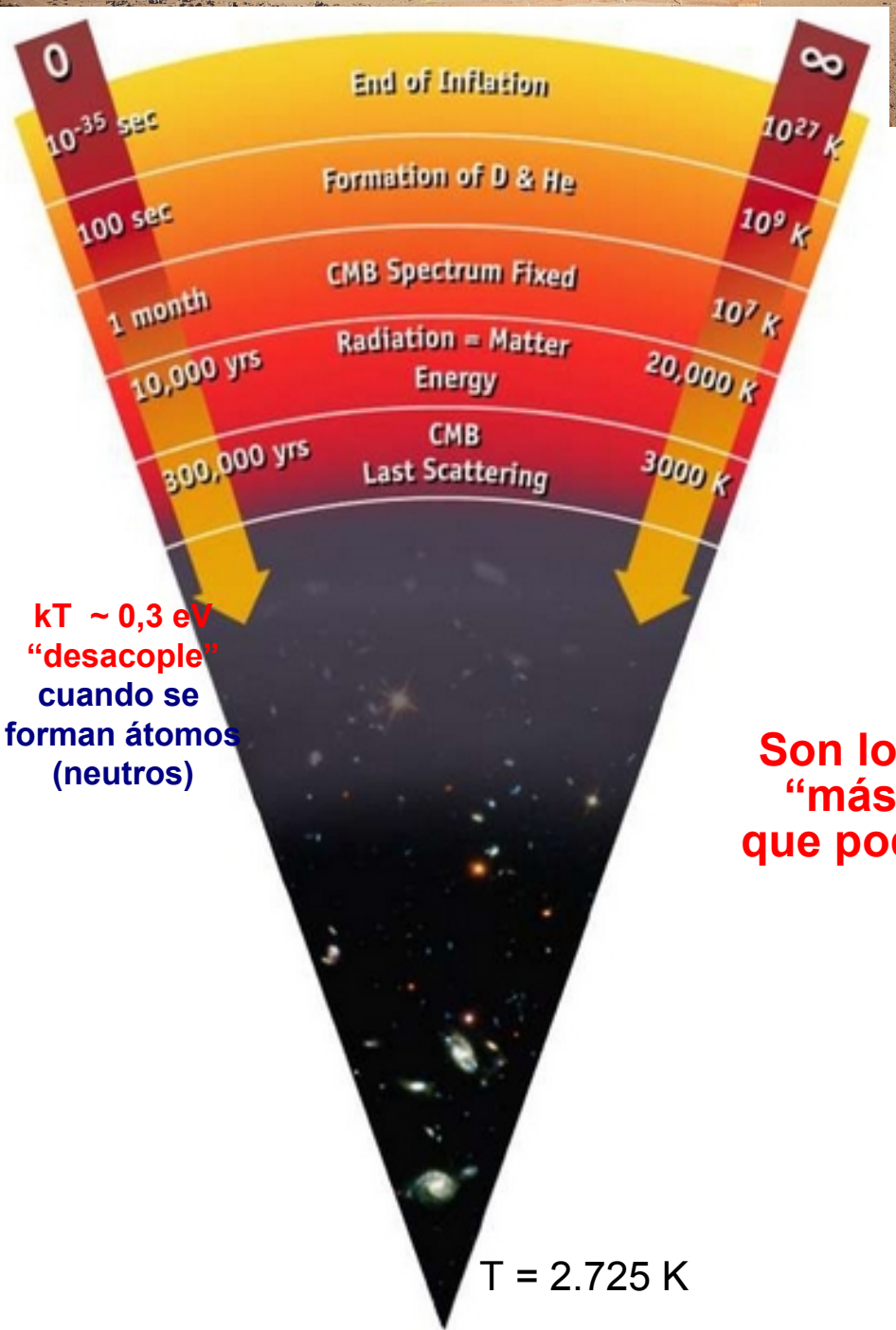
1992: Satélite COBE.
Primera detección de
anisotropías "primordiales"
(Nobel 2006)

2013: Satélite Planck
Mediciones más precisas
de anisotropías

El desacople

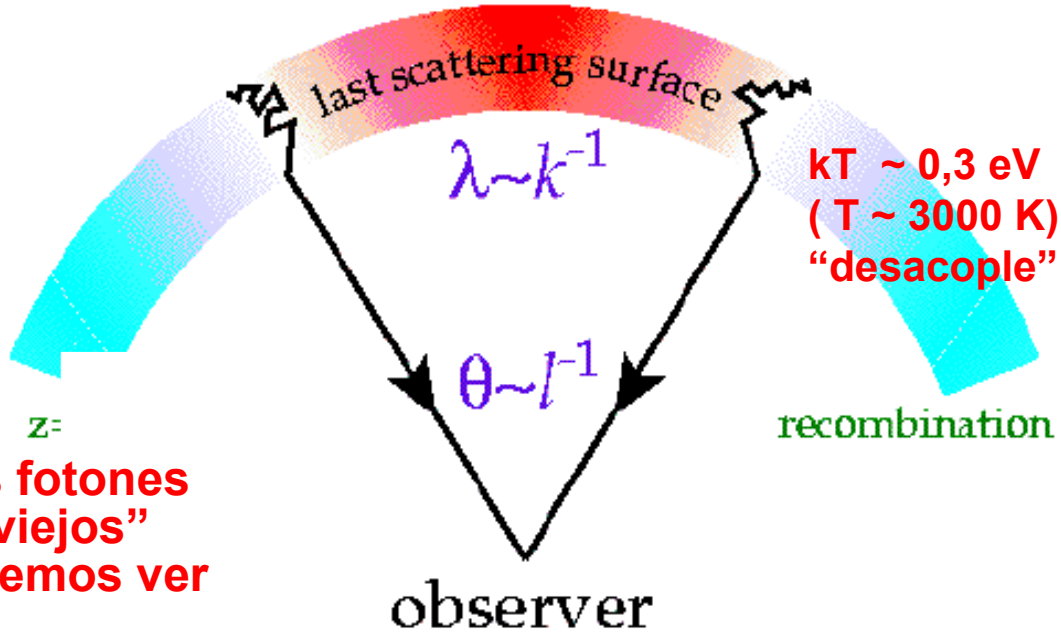
kT >> 13,6 eV

Scattering Thomson muy eficiente
(acoplamiento fuerte entre fotones, electrones libres y protones)



kT ~ 0,3 eV
"desacople"
cuando se forman átomos (neutros)

T = 2.725 K



kT ~ 0,3 eV
(T ~ 3000 K)
"desacople"

Son los fotones "más viejos" que podemos ver

T = 2.725 K $\Delta T = 50\ \mu K$

Anisotropías debidas a inhomogeneidades primordiales: presentes cuando T ~ 3000 K y que más tarde formaron galaxias

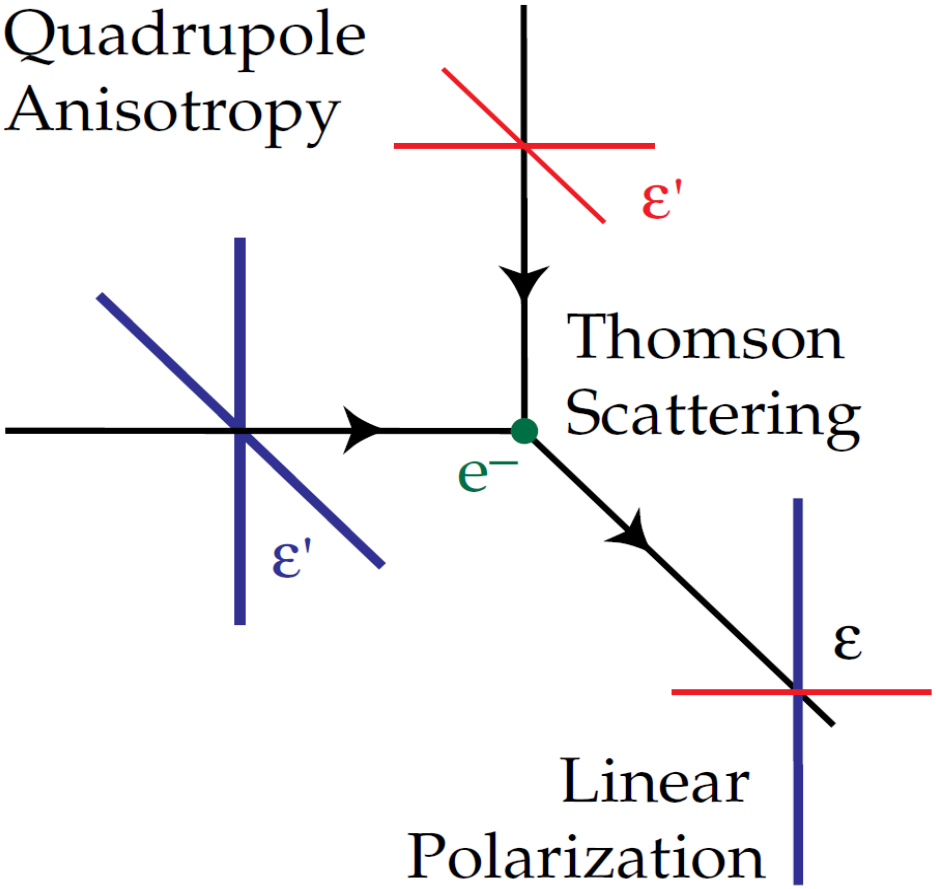
Sachs&Wolfe (1967)
Harrison-Zeldovich (1970)

Polarización en el CMB

Los fotones de la CMB son dispersados durante la recombinación.

- Dispersión Thomson, cualquier anisotropía cuadrupolar en los fotones entrantes produce un grado de polarización lineal en fotones dispersados.

- Perturbaciones en la densidad producen un pequeño grado de polarización (modos E)

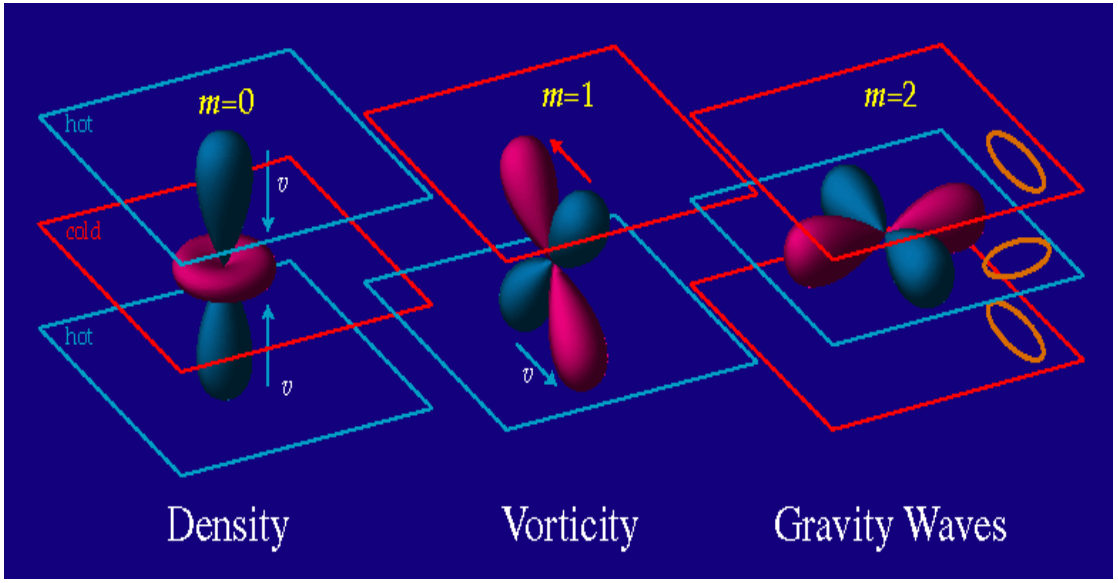


Modos E y Modos B: origen

La anisotropía cuadrupolar (produce la polarización del CMB) podría provenir de 3 tipos de perturbaciones:

- Escalares (debidas a fluctuaciones en densidad de energía, resultando en regiones mas frías y mas calientes)
- Vectoriales (debidas a la vorticidad por defectos/cuerdas, causa cambios Doppler, sería amortiguada por la inflación, despreciable)
- Tensoriales

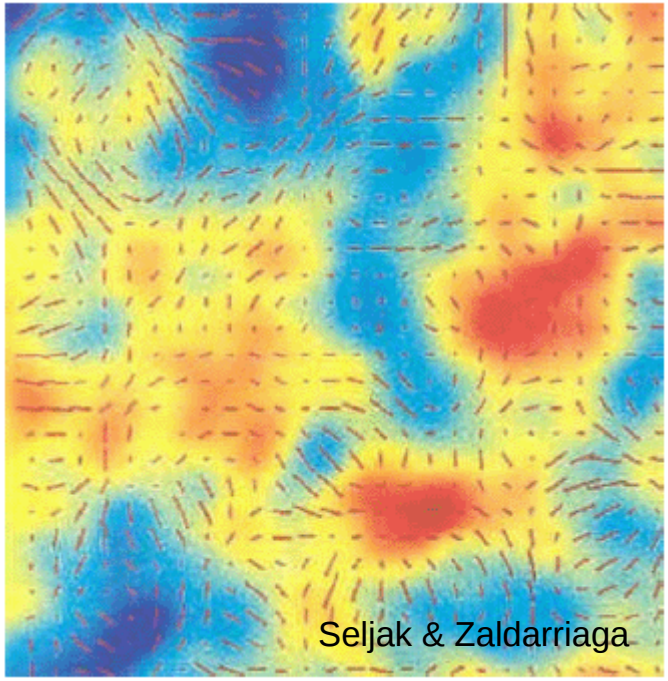
(ondas gravitacionales que se extienden y modulan el espacio en direcciones ortogonales, estira la longitud de onda de la radiación, creando así una variación cuadrupolar en la temperatura de radiación entrante.)

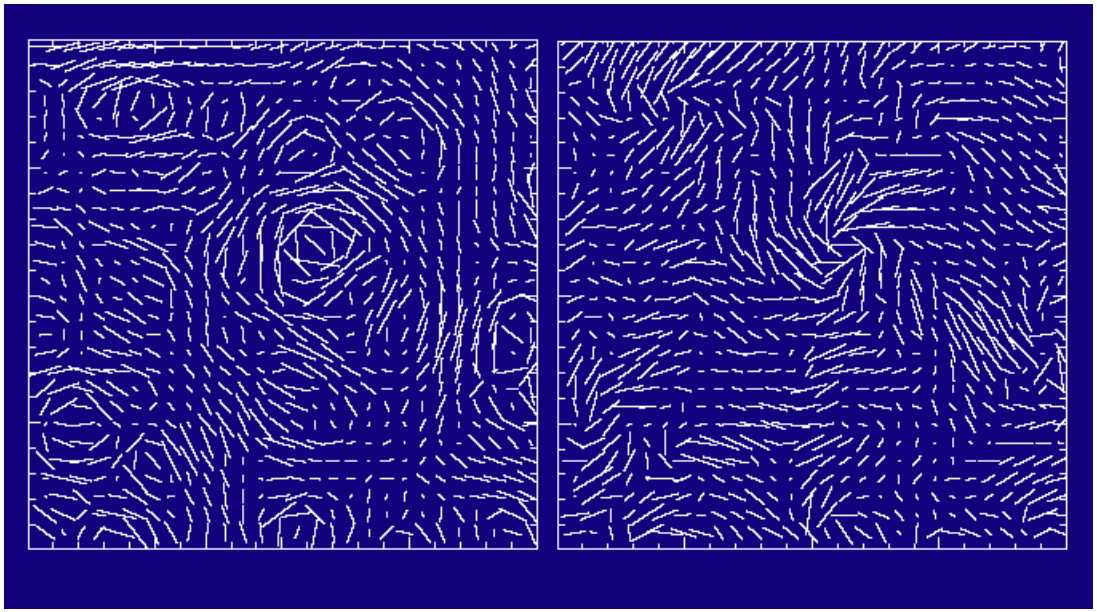


La polarización consiste en 2 componentes
de paridades opuestas

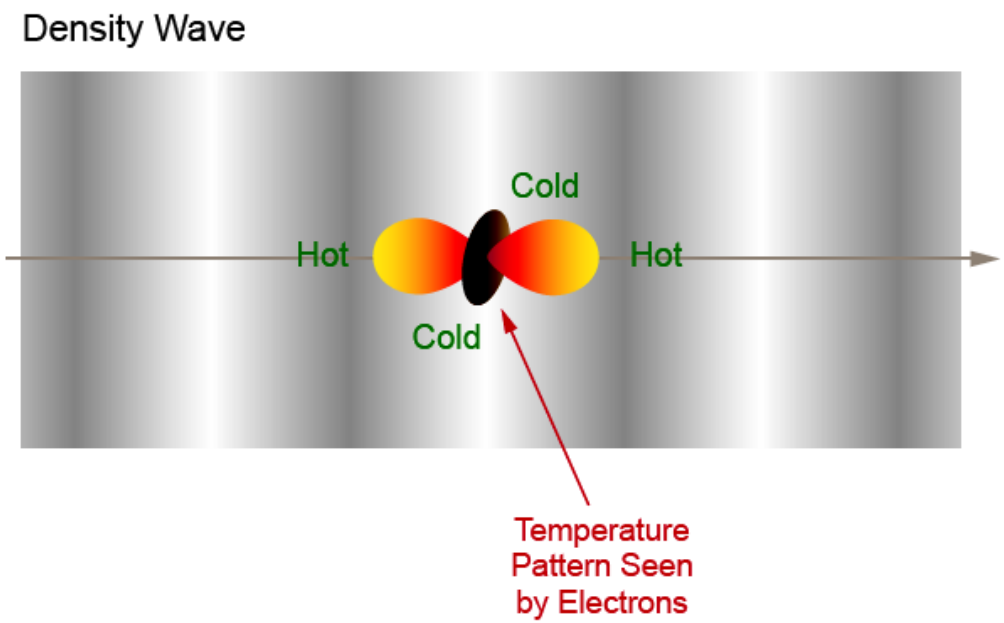
- Componente "modo E" o "modo gradiente", sin desviación
- Componente "modo B" o "modo rotor", con desviación

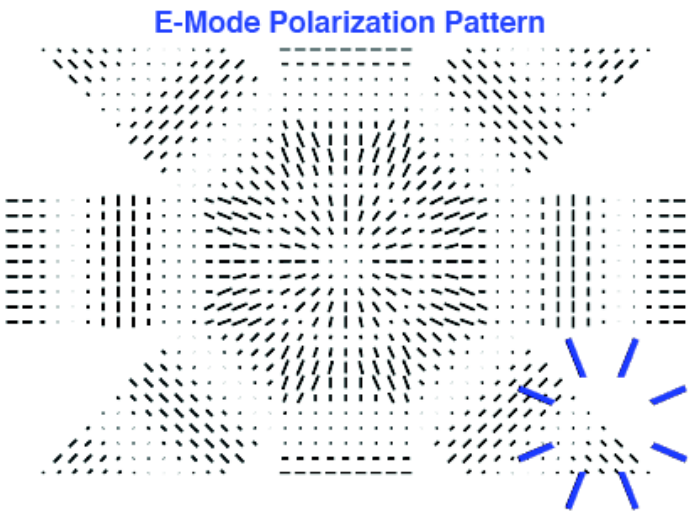
El modo E puede deberse tanto a las perturbaciones escalares como a las perturbaciones tensoriales, pero el modo B se debe únicamente a las perturbaciones tensoriales.

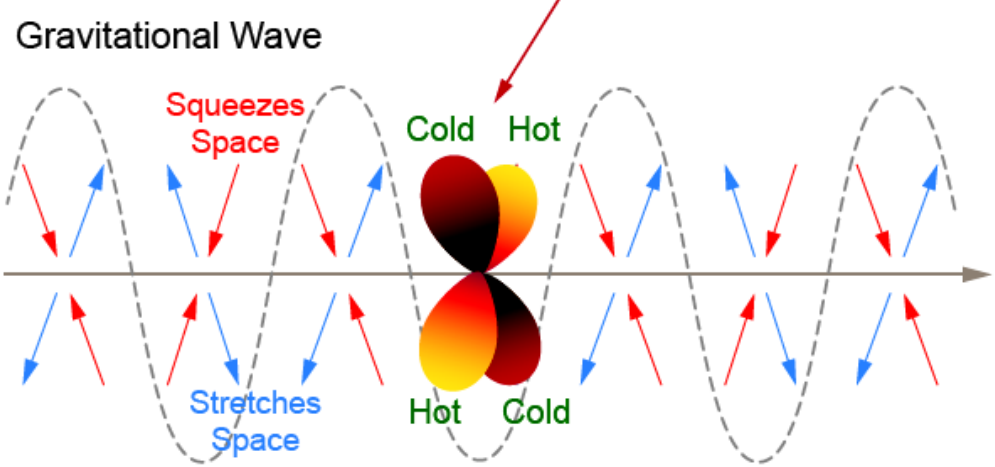


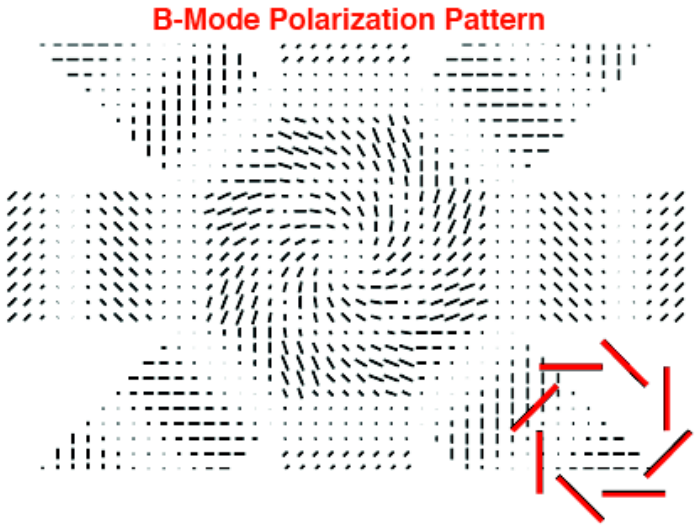


Modo E puro Modo B puro





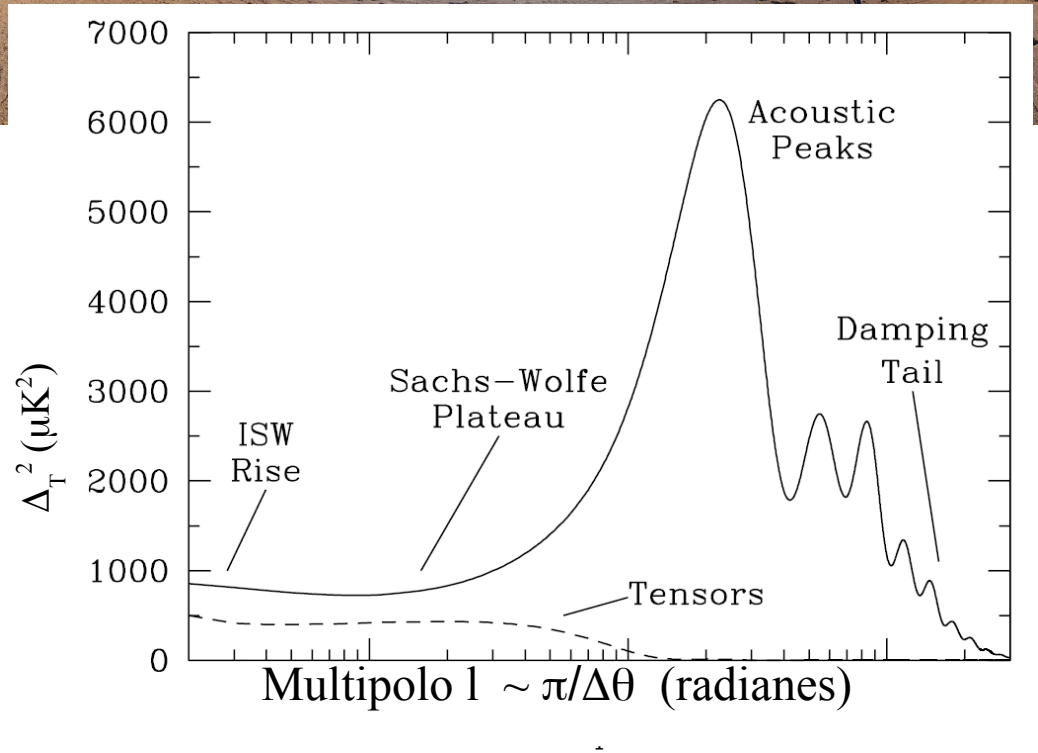




Las fluctuaciones en la densidad no generan modos B

aunque por efecto "lente" se pueden transformar modos E en B
(Zaldarriaga, Seljak 1998)

Como “pensar” al Universo midiendo anisotropías



Oscilaciones acústicas del plasma de fotones y bariones antes del desacople provocan picos en el espectro angular de anisotropías

Peebles&Yu (1970), etc.

Primer pico a la escala angular subtendida por el horizonte sónico en el momento del desacople

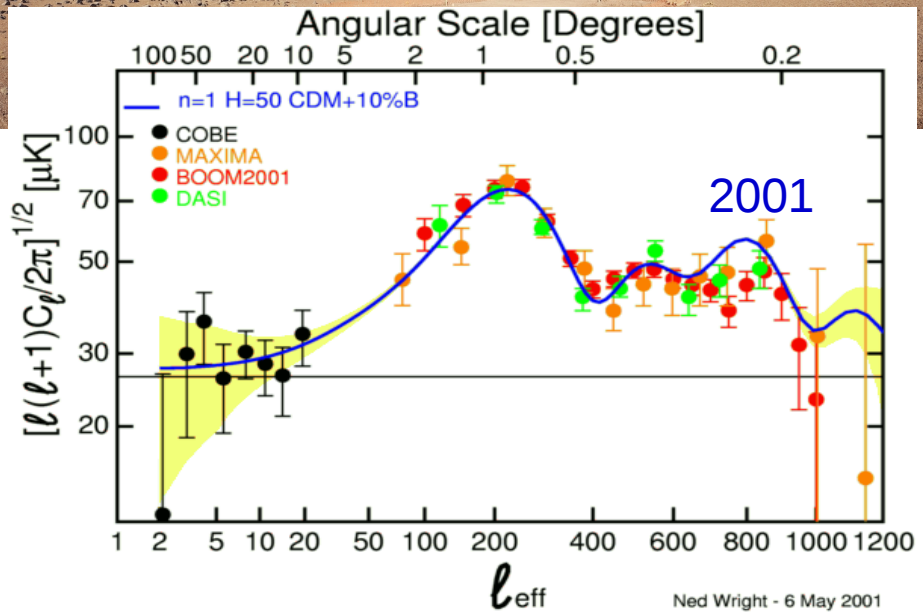
Posiciones y alturas relativas de picos dependen de los parámetros cosmológicos (densidad de bariones, de materia y energía oscura, etc.)

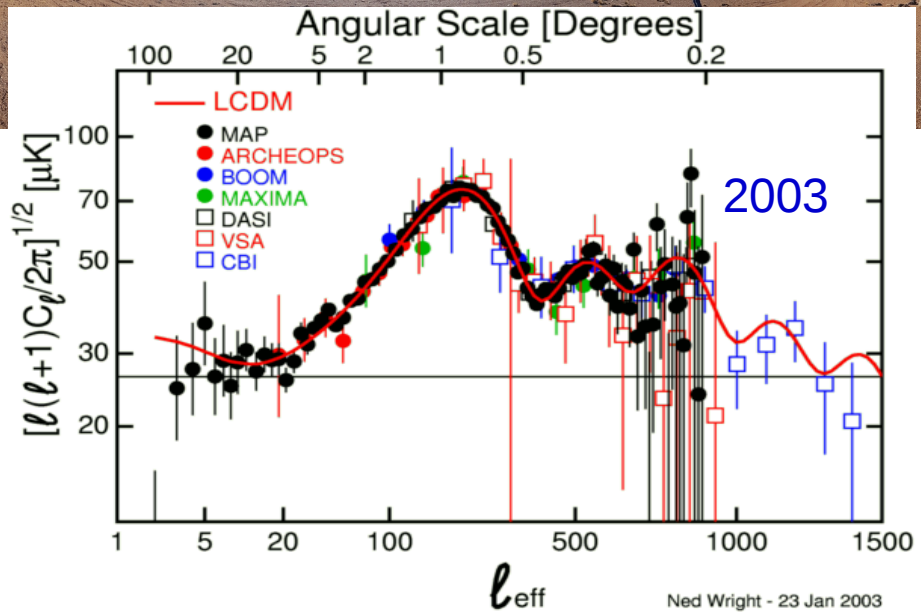
$$l \approx 200/\sqrt{\Omega}$$

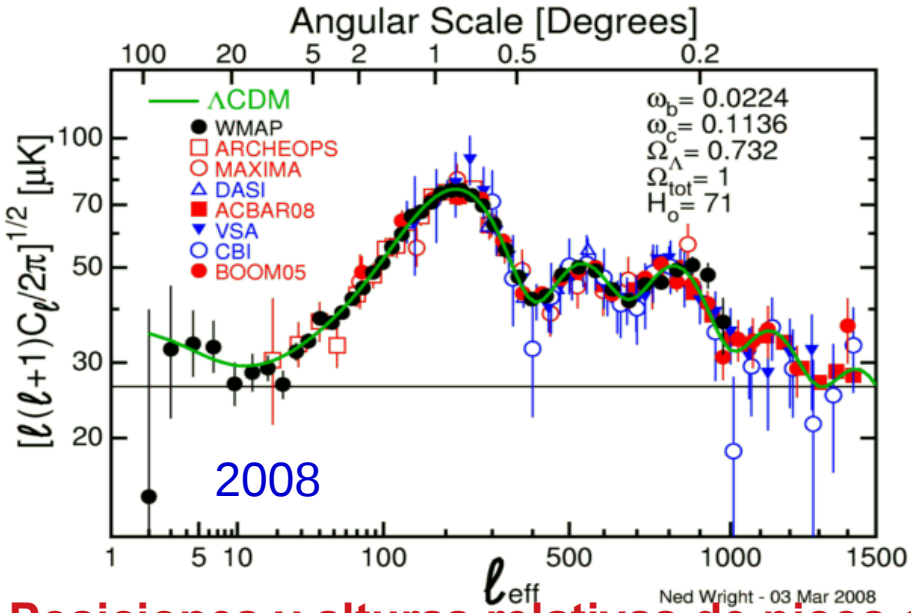
$\Omega = \rho/\rho_{crit}$ $\rho_{crit} = 10^{-29} gr/cm^3$

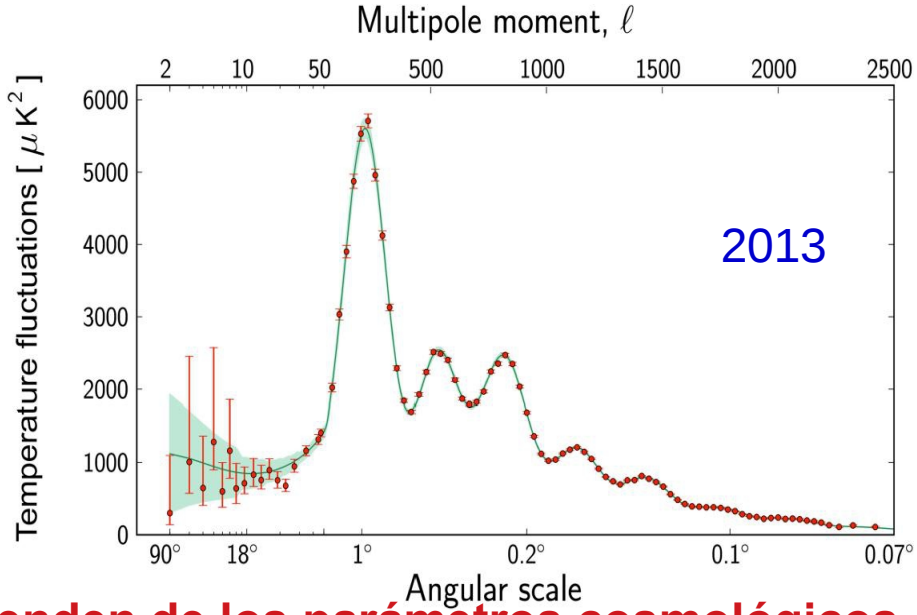
$\Omega = 1$: Universo espacialmente plano

Determinación de parámetros cosmológicos



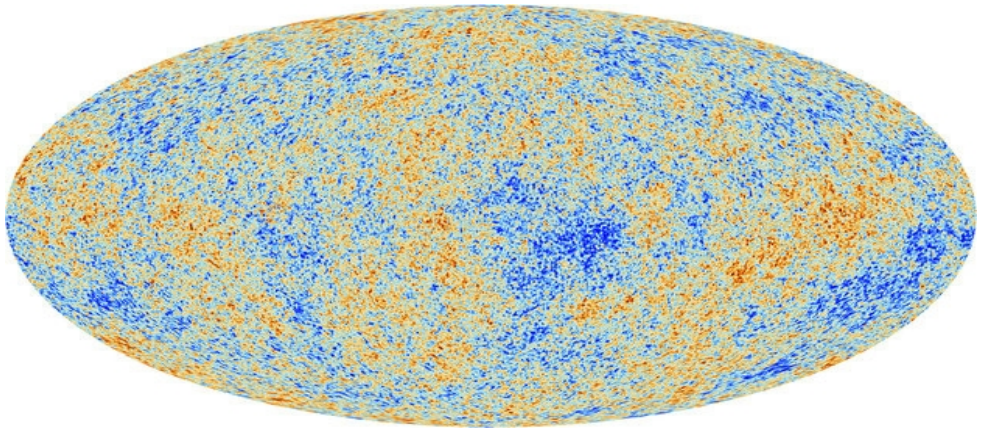


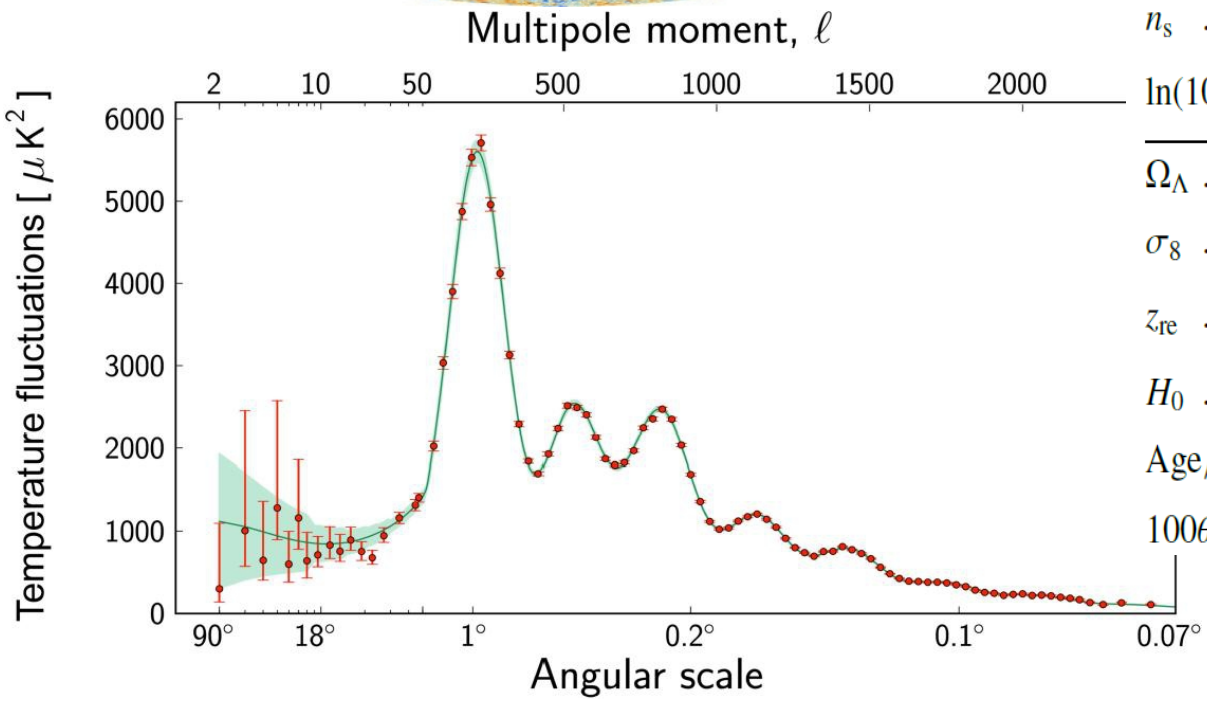




Posiciones y alturas relativas de picos dependen de los parámetros cosmológicos (densidad de bariones, de materia y energía oscura, etc.)

Determinación de parámetros cosmológicos
2013 (Satélite Planck)

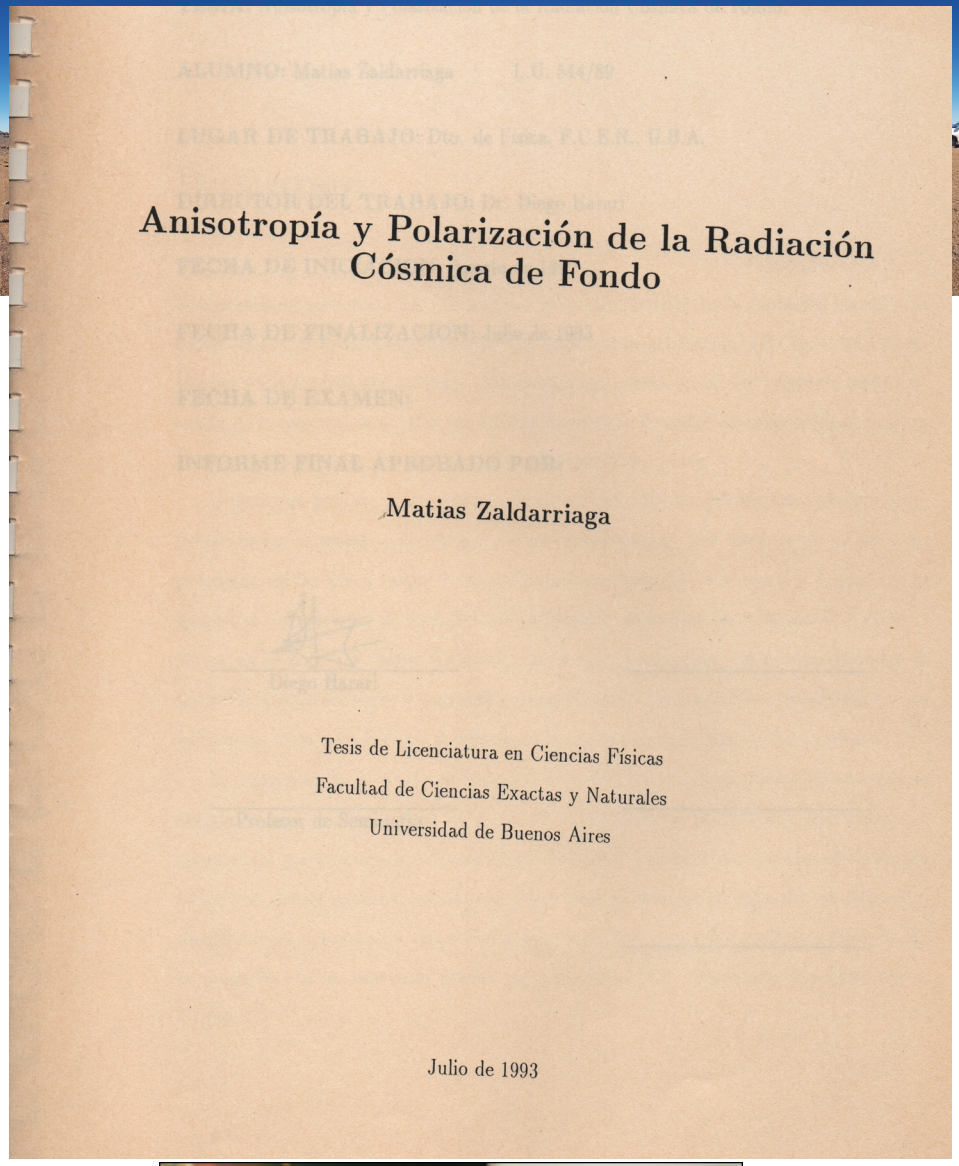




	Planck (CMB+lensing)	
Parameter	Best fit	68 % limits
$\Omega_b h^2$	0.022242	0.02217 ± 0.00033
$\Omega_c h^2$	0.11805	0.1186 ± 0.0031
$100\theta_{MC}$	1.04150	1.04141 ± 0.00067
τ	0.0949	0.089 ± 0.032
n_s	0.9675	0.9635 ± 0.0094
$\ln(10^{10} A_s)$	3.098	3.085 ± 0.057
Ω_Λ	0.6964	0.693 ± 0.019
σ_8	0.8285	0.823 ± 0.018
z_{re}	11.45	$10.8^{+3.1}_{-2.5}$
H_0	68.14	67.9 ± 1.5
Age/Gyr	13.784	13.796 ± 0.058
$100\theta_*$	1.04164	1.04156 ± 0.00066

El modelo inflacionario más simple predice una intensidad relativa entre fluctuaciones tensoriales a escalares r > 0.01.QUBIC pretende estudiar los valores de este parámetro entre 0.01 y 0.1

Cociente Tensorial/Escalar: r < 0.11 (95% CL)



Anisotropía y Polarización de la Radiación Cósmica de Fondo

Matias Zaldarriaga

Tesis de Licenciatura en Ciencias Físicas
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

Julio de 1993

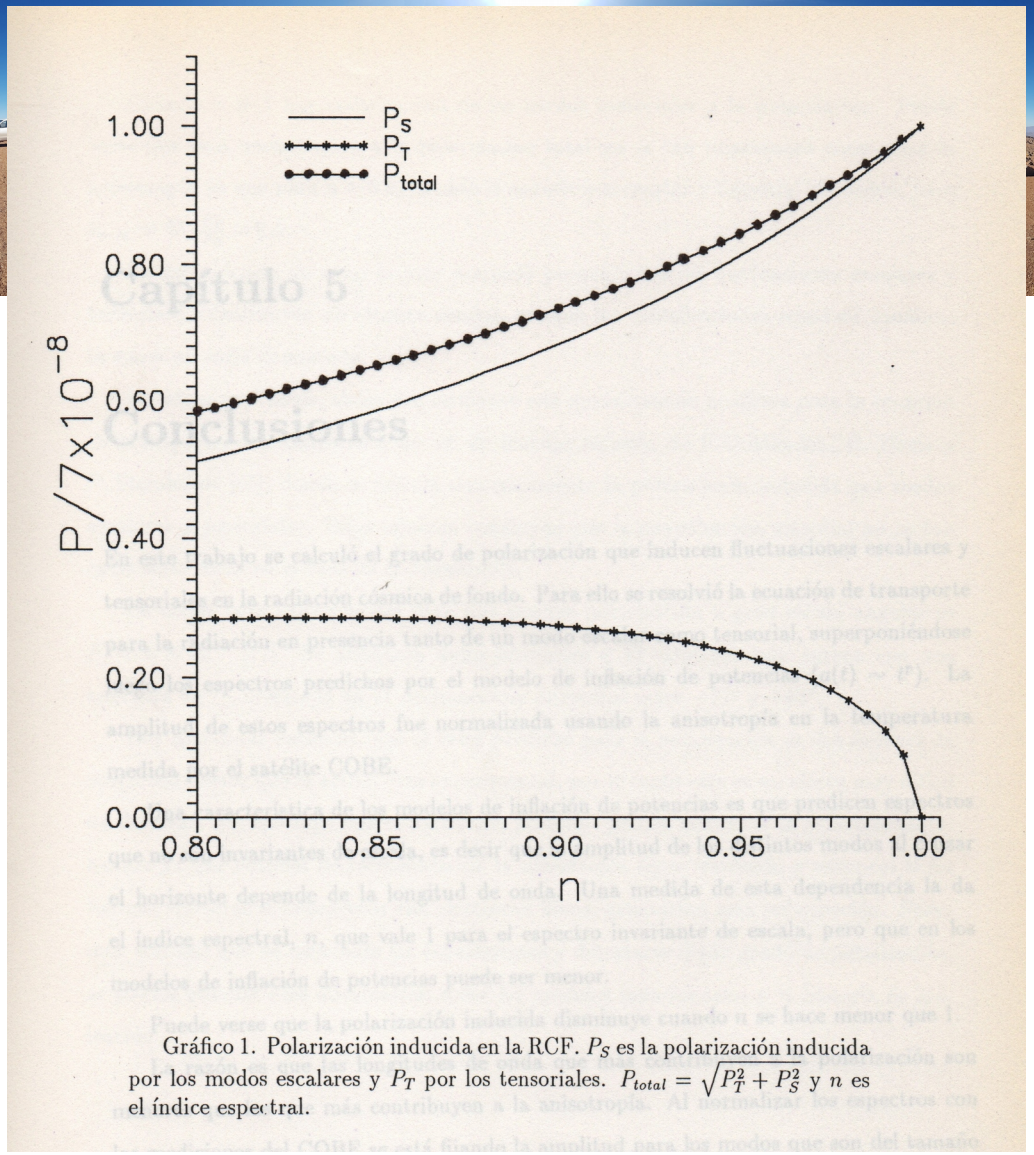
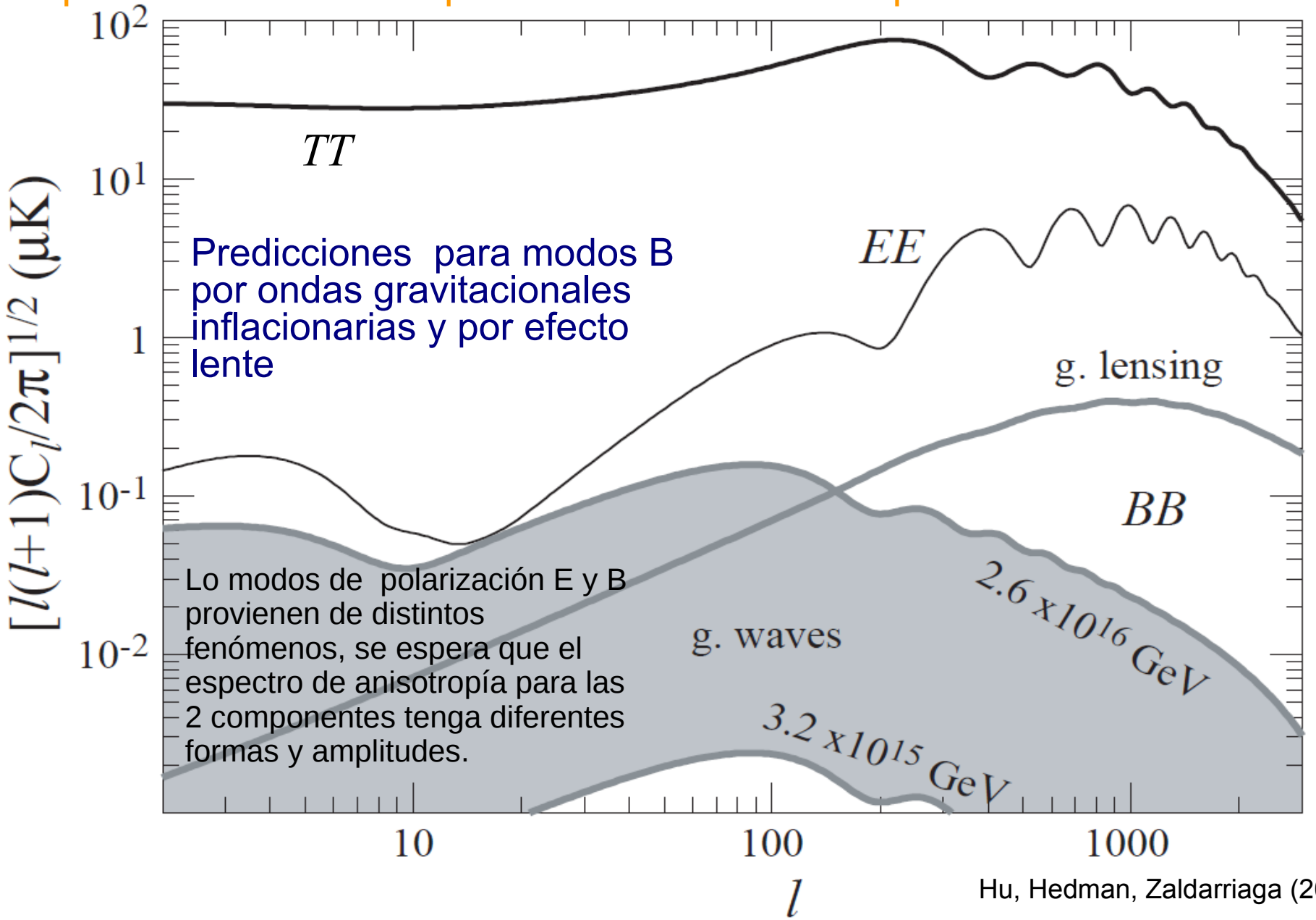


Gráfico 1. Polarización inducida en la RCF. P_S es la polarización inducida por los modos escalares y P_T por los tensoriales. $P_{total} = \sqrt{P_T^2 + P_S^2}$ y n es el índice espectral.

Análisis de la dependencia de la polarización a gran escala angular con el índice espectral para discriminar entre fluctuaciones escalares y tensoriales predichas por inflación.

M. Zaldarriaga, D.H. (Phys. Lett. B 1993)

Importante motivación para las mediciones de polarización de la CMB



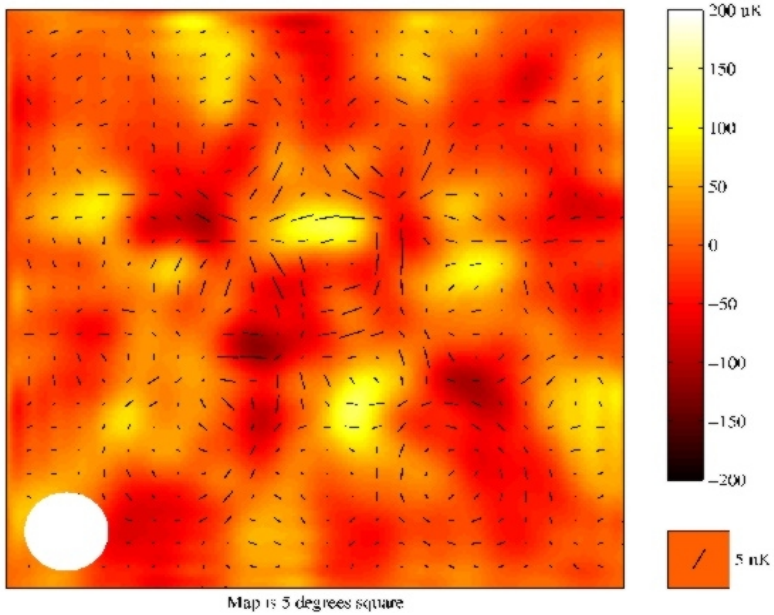
Predicciones para modos B por ondas gravitacionales inflacionarias y por efecto lente

Lo modos de polarización E y B provienen de distintos fenómenos, se espera que el espectro de anisotropía para las 2 componentes tenga diferentes formas y amplitudes.

Hu, Hedman, Zaldarriaga (2002)

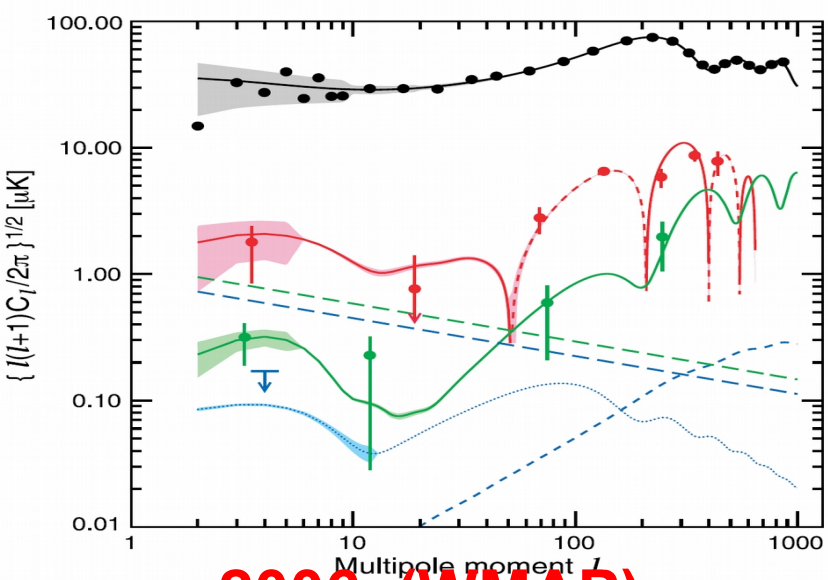
Datos del Planck → la escala de energías durante la inflación debe haber sido $< 3\times10^{16}$ GeV (Kaplinghat 2003). Cuando se detecte la señal de las ondas gavitacionales podremos encontrar la escala de energía del evento ocurrido 10^{-35} segundos después del origen del Universo.

2002: Primera detección de polarización (modos E)

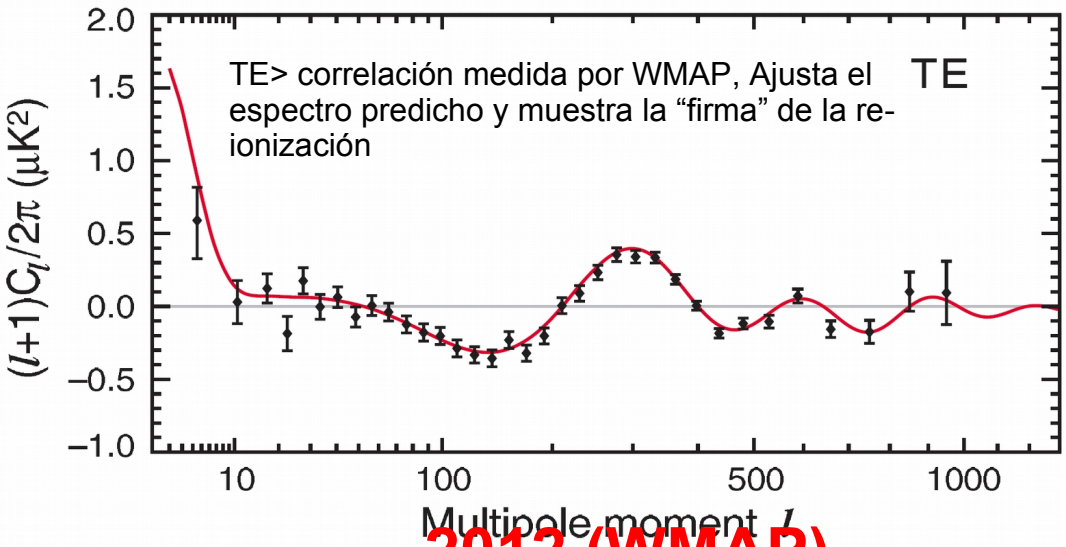


Degree **A**ngular **S**cale **I**nterferometer

T = 2.73 K ΔT= 50 μK ΔT_{pol} = 5 μK

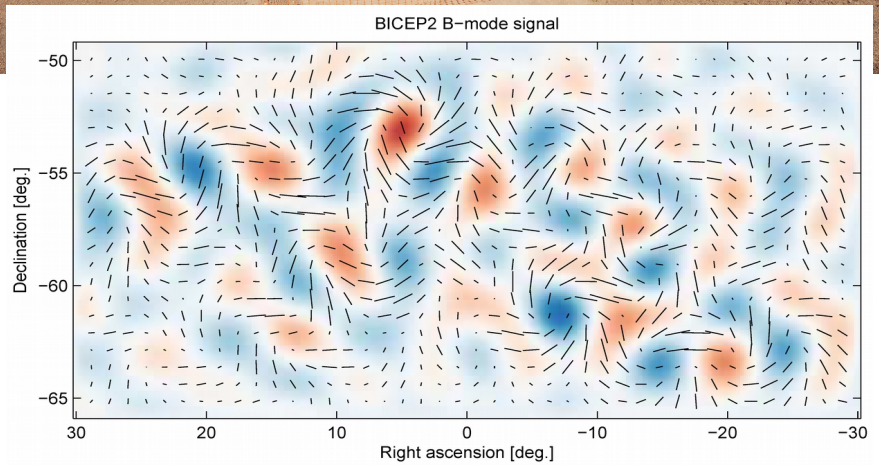


2006 (WMAP)



2012 (WMAP)

Marzo 2014: Anuncio (prematuro) de detección de modos B

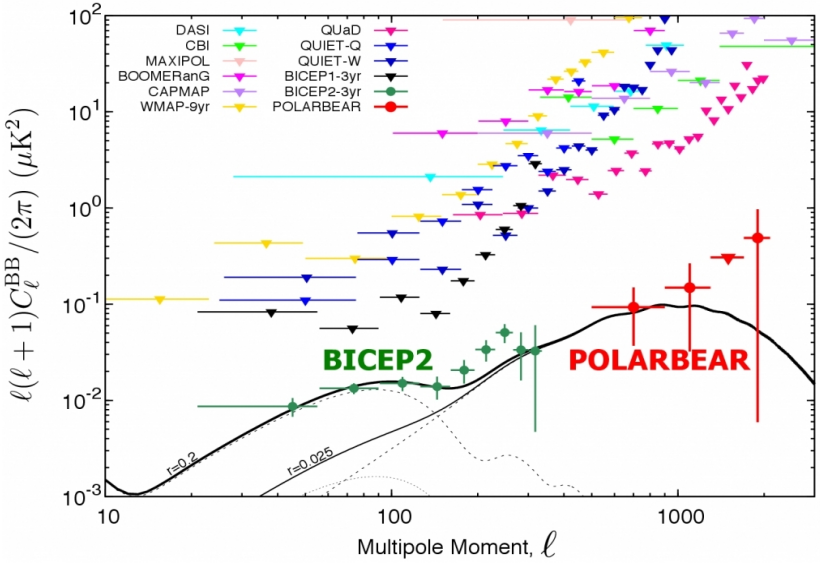


Gran repercusión internacional

Análisis posterior conjunto BICEP-Planck-Keck Array (más frecuencias):
Señal dominada por emisión polarizada de polvo galáctico

SPT y POLARBEAR

Midieron (poco antes que BICEP2) modos B compatibles con lo esperado por transformación de modos E por efecto lente (a escalas angulares más pequeñas)



La búsqueda de modos "B" primordiales continúa

Varios experimentos en curso:

BICEP3/Keck Array, SPT, EBEX, Spider (USA,Antártida), CLASS,

Project	Frequencies (GHz)	ℓ Range	Ref.	$\sigma(r)$ goal	
				no fg.	with fg.
QUBIC	150,220	30–200		6.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}
Bicep3/Keck	95, 150, 220	50–250	[8]	2.5×10^{-3}	1.3×10^{-2}
CLASS	38, 93, 148, 217	2–100	[9]	1.4×10^{-3}	3.0×10^{-3}
SPT-3G	95, 148, 223	50–3000	[10]	1.7×10^{-3}	5.0×10^{-3}
AdvACT	90, 150, 230	60–3000	[11]	1.3×10^{-3}	4.0×10^{-3}
Simons Array	90, 150, 220	30–3000	[12]	1.6×10^{-3}	5.0×10^{-3}
EBEX-10K	150, 220, 280, 350	20–2000	[13]	2.7×10^{-3}	7.0×10^{-3}
SPIDER	90, 150	20–500	[14]	3.1×10^{-3}	1.2×10^{-3}
PIPER	200, 270, 350, 600	2–300	[15]	3.8×10^{-3}	8.0×10^{-3}

Por qué es tan difícil medir modos-B ?

Sensibilidad

Amplitud de la señal ~ 70 nK sobre 3K de fondo
Necesidad de detectores extremadamente sensibles y estables a ~150 GHz

El primer plano astrofísico:

BICEP2 falsa alerta: mostró su importancia
Emisión térmica del polvo interestelar
Necesidad de detectores de alta frecuencia a > 150 GHz
Emisión Syncrotrón puede ser importante

Efectos sistemáticos

Necesidad de modulación de la polarización precisa y conocimiento detallado de las propiedades instrumentales

La atmósfera

Nadie sabe realmente cómo detectar el modo B

Experimentos complejos para detectarlo

– Extremadamente sensibles – uso de grandes arreglos de detectores para mejorar la velocidad de los survey.

– Cuidadoso control de efectos sistemáticos – uso una configuracion óptica limpia y técnicas de modulación de la polarización

– Control de la emisión polarizada local (mediciones multibanda)

– Experimentos independientes, con sistemáticos ortogonales, que confirmen los resultados.

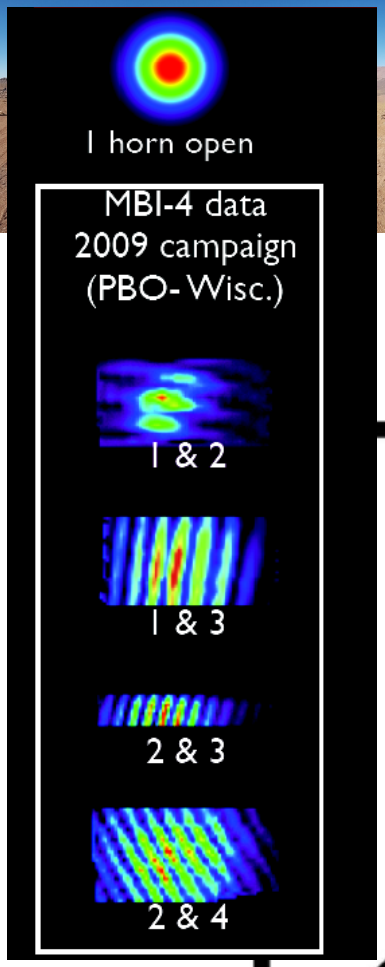
……

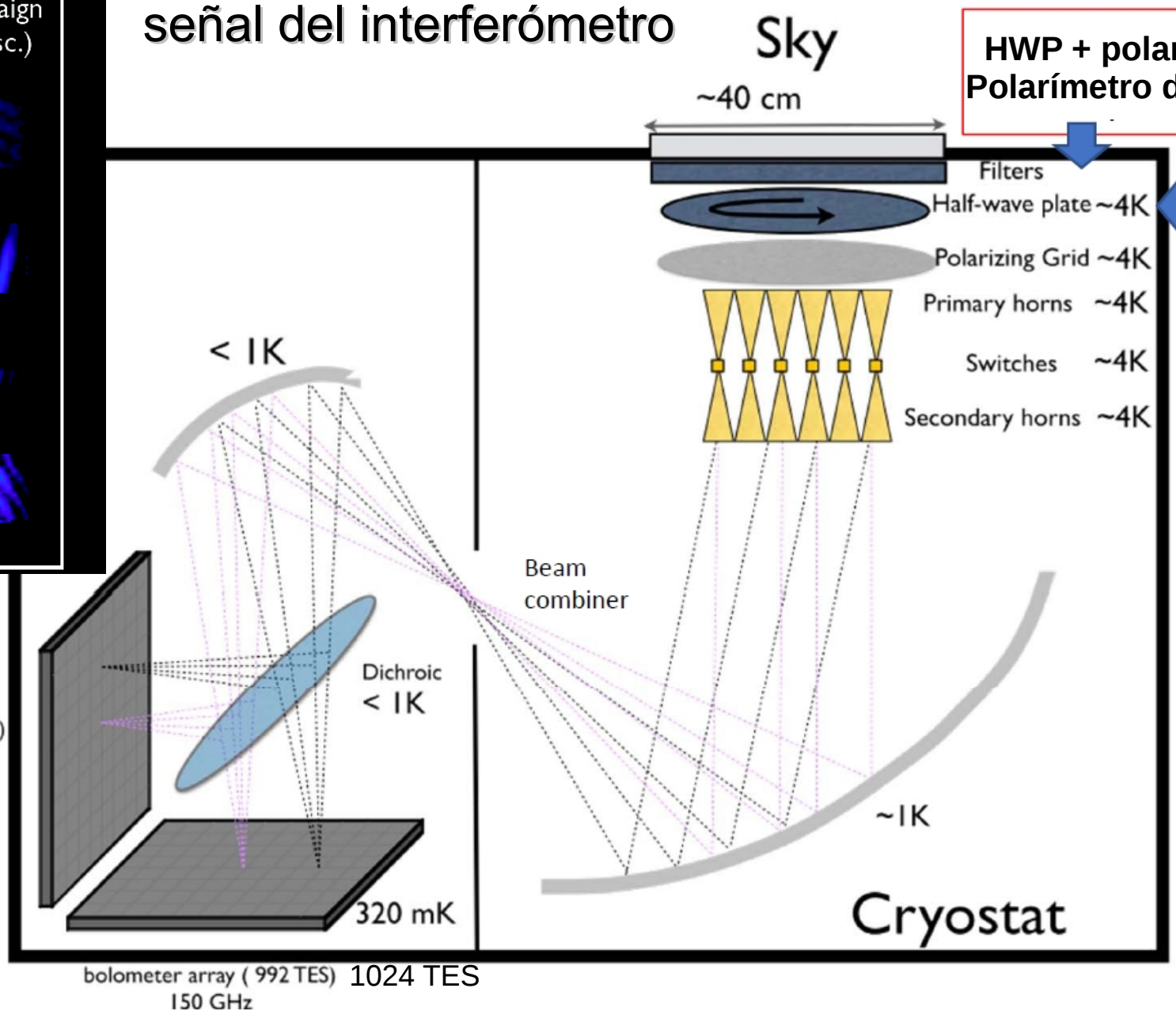
QUBIC es un instrumento original, destinado a la medición, con alta sensibilidad y precisión, de la polarización de la CMB con un novedoso diseño experimental.

Pretende estudiar los valores de r entre 0.01 y 0.1

QUBIC – Diseño

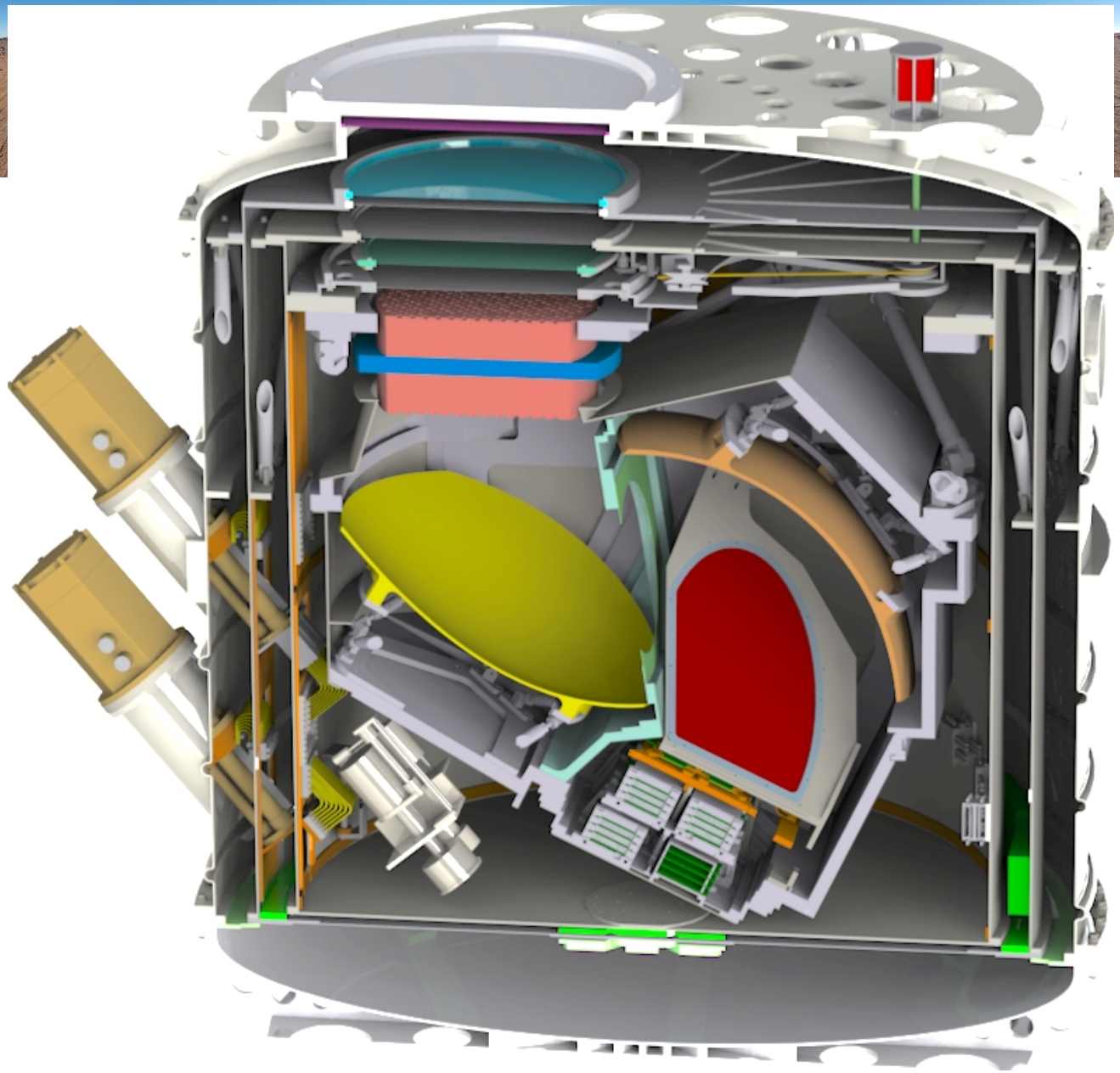
instrumento que combina la sensibilidad extrema de un arreglo bolométrico con el control de la señal del interferómetro





HWP + polarizador = Polarímetro de Stokes

Modulación de la polarización antes del sistema óptico



Instrumento
Diseño completo

Crióstato externo: Roma
1K Box / detectores: APC
Enfriadores: Manchester
Óptica: Roma / Maynooth

1.6m altura
1.4m diámetro
800kg

Principales características

Interferómetro bolométrico de 400 Elementos
-Imagen sitética en los planos focales
Resolución -23.5 arcmin FWHM a 140 GHz

→ *Imager* Sintetizado, escanea el cielo bajo un buen control del haz

- **Planos Focale:TES**

- 2048 TES con NEP ~ $4x10^{-17}$ $W.Hz^{-1/2}$
- 128:1 SQUIDs+ASIC sistema de lectura multiplexado criogénico (4K)

→ Alta sensibilidad (r) = 0.01 incluyendo foregrounds

- **Capacidad de Frequencia**

-Dos planos focales 150 & 220 GHz
-Capacidades de Spectro-Imaging gracias a 2 frecuencias en el haz sintético

→ Remoción por contaminación de la polarización del polvo

- **Interruptores en cada apertura (horn)**

-Reconstrucción individual de la baseline
-Auto-Calibración como un interferómetro

→ Control de sistemáticos instrumentales sin precedentes con auto-calibración

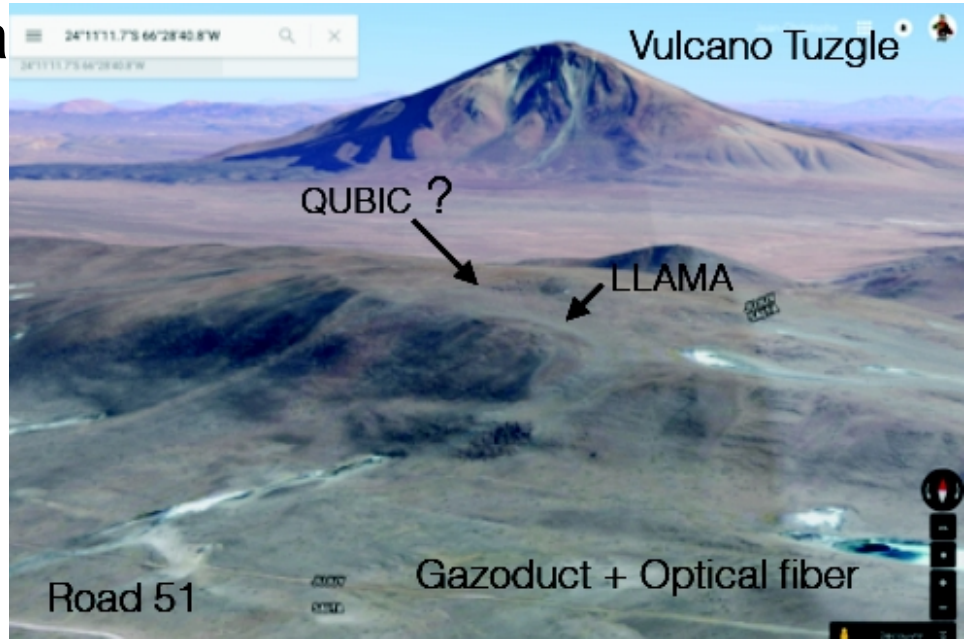
QUBIC: Ubicación

Ubicación inicial: Concordia
(estación franco-italiana), Antártida

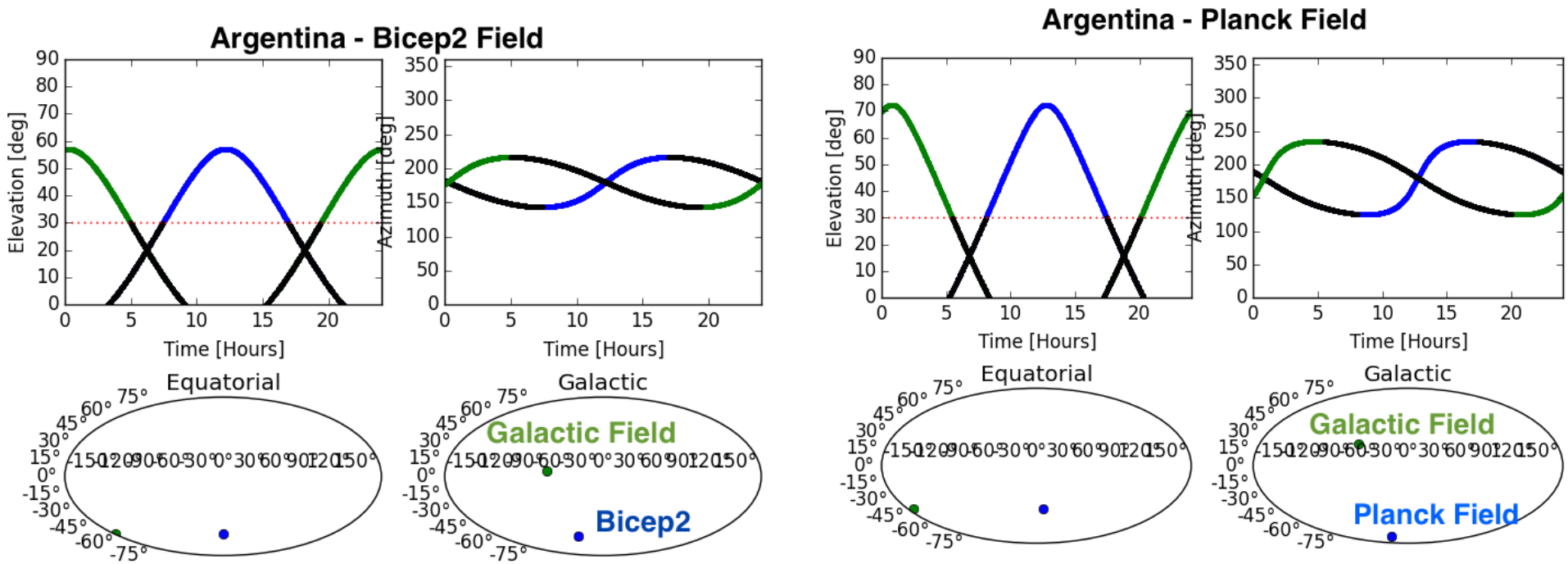
Ventajas: atmósfera ideal
Desventajas: logística complicada
costos altos.

Sitio alternativo: Alto Chorrillo-Salta

Ventajas
accesibilidad
logística (LLAMA)
participación argentina.
Desventajas: sensibilidad reducida
por factor 1-3



Región a observar (Salta)



- Región a observar a +30 grados solo ~40% del tiempo
- el resto del tiempo se usará para auto-calibrar y observar el plano galáctico
- Observaciones hacia el Sur.
- El angulo de elevación es
  - ~45 grad. para el campo de BICEP2
  - ~60 grad. para «el campo limpio de Planck»

El sitio QUBIC

QUBIC Ubicación

★ Puna Argentina - Salta 5000m a.s.l.
★ ~ 180km de Chajnantor (Atacama)

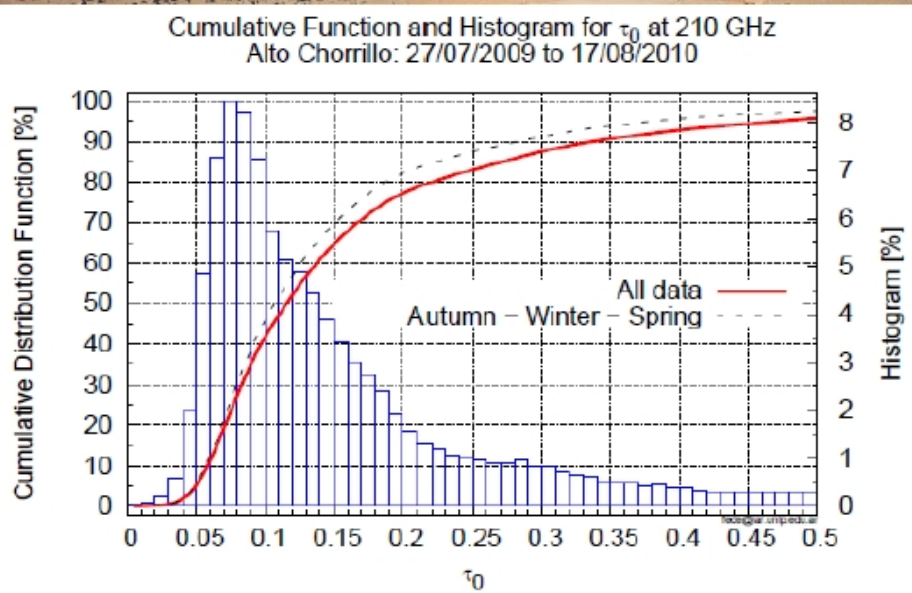
- Logística y sinergia con LLAMA

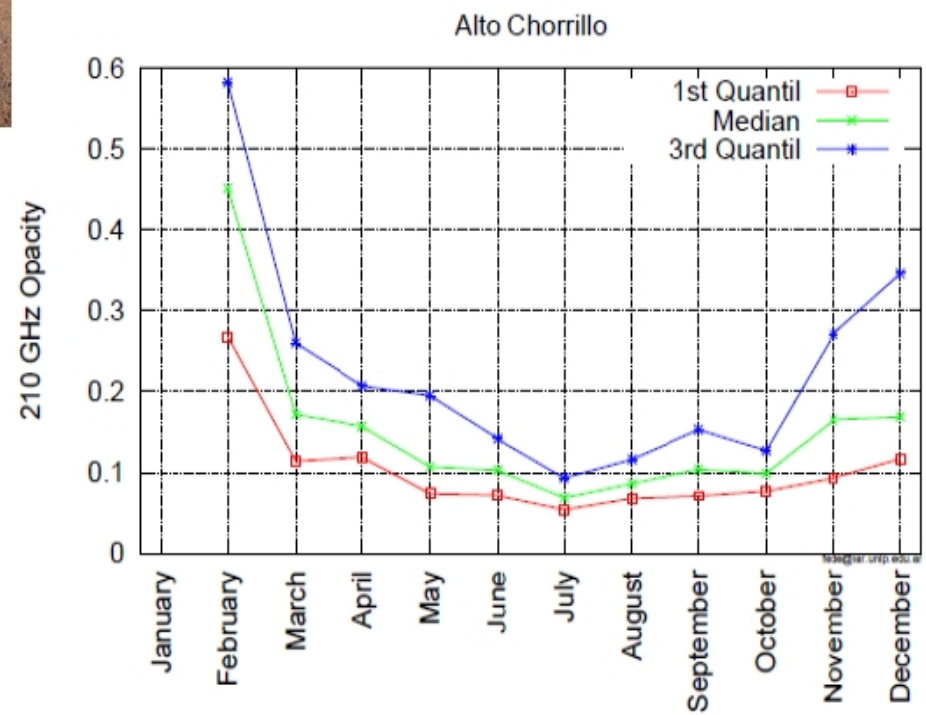
★ 40 min. de San Antonio de los Cobres en auto.
★ 4h de la ciudad de Salta
★ Logística (caminos, agua, albergue en la montaña a cargo de la colaboración argentina

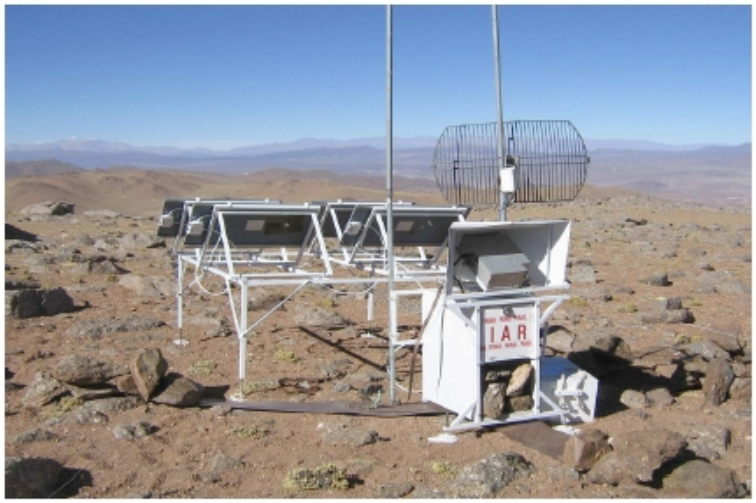
- Colaboración Argentina

★ MINCYT
★ CONICET / CNEA / Provincia de Salta

Opacidad atmosférica a 210 GHz







Mediciones con "tipper" provisto por UNAM
Julio 2009 – Agosto 2010

La mediana (2nd quantil) presenta un buen τ<0.20 para todos los meses, excepto para Febrero (parte del verano boliviano)

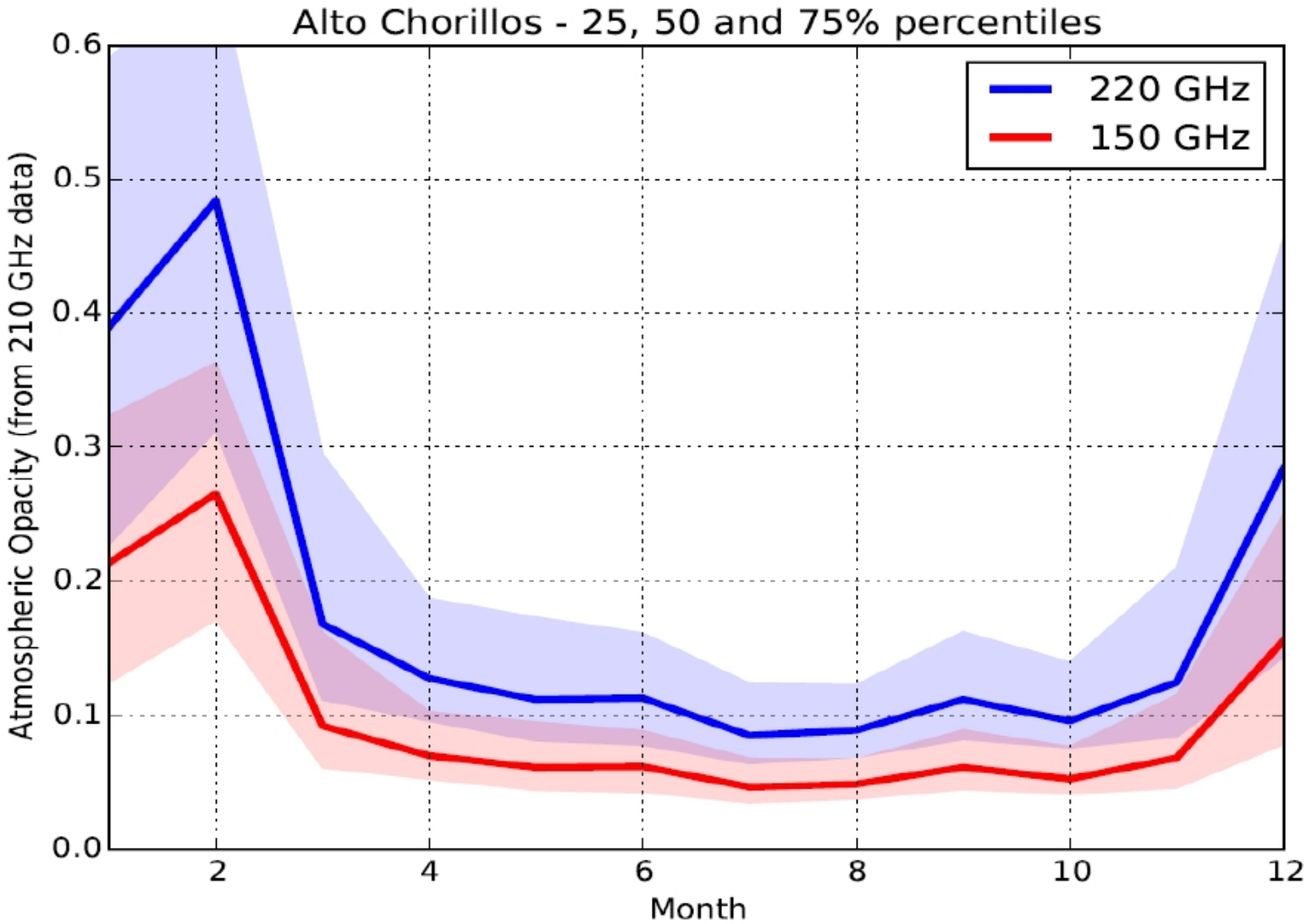
τ < 0.20

Cuantil	*$\tau_{225} \leq$ Chajnan. 5060 m	M. Kea 4100 m	Polo Sur 2835 m	$\tau_{210} \leq$ Jarillal# 3160 m	Macón@ 4604 m	Chorrillo 4813 m
25 %	0.04	0.06	0.04	0.17	0.082	0.074
50 %	0.06	0.09	0.05	0.22	0.114	0.107
75 %	0.12	0.15	0.07	0.29	0.169	0.167

*:*Radford (2000)*, #:Bareilles et al. (2003), @:*Bareilles et al. (2005, 2007)*

Bareilles et al, BAAA Vol. 53, 2010

Opacidad atmosférica a 150 y 220 GHz

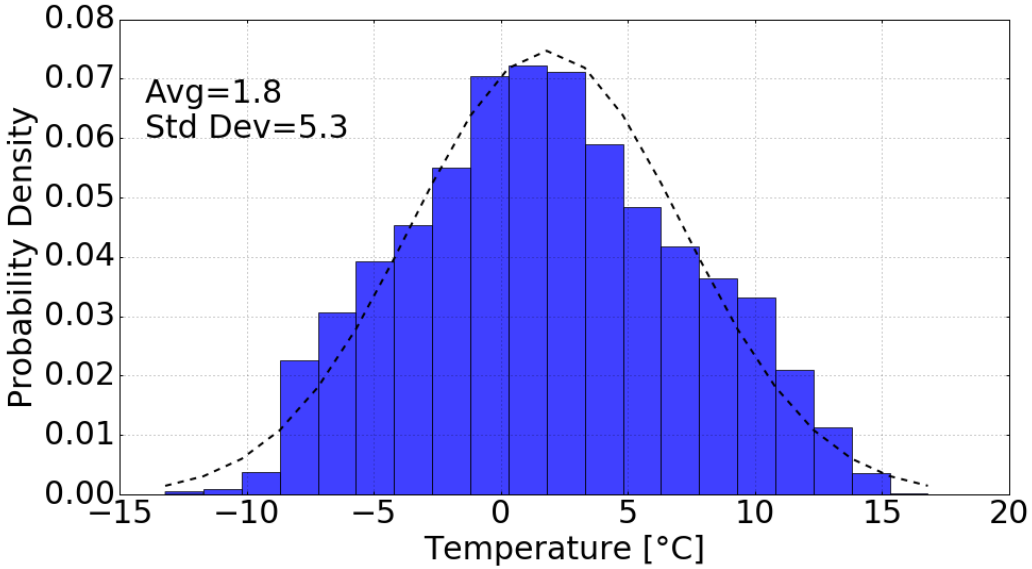


EXTRAPOLACION

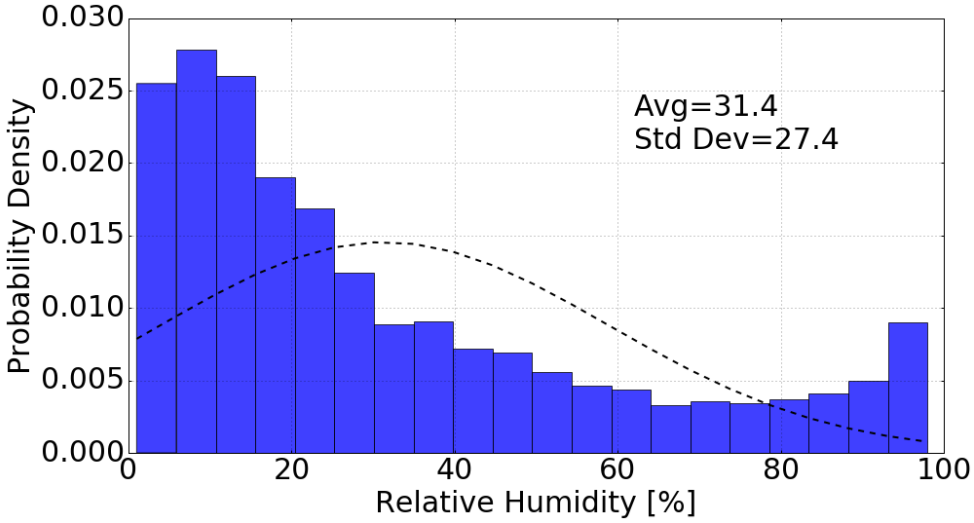
valores esperados para las fecuencias de QUBIC,

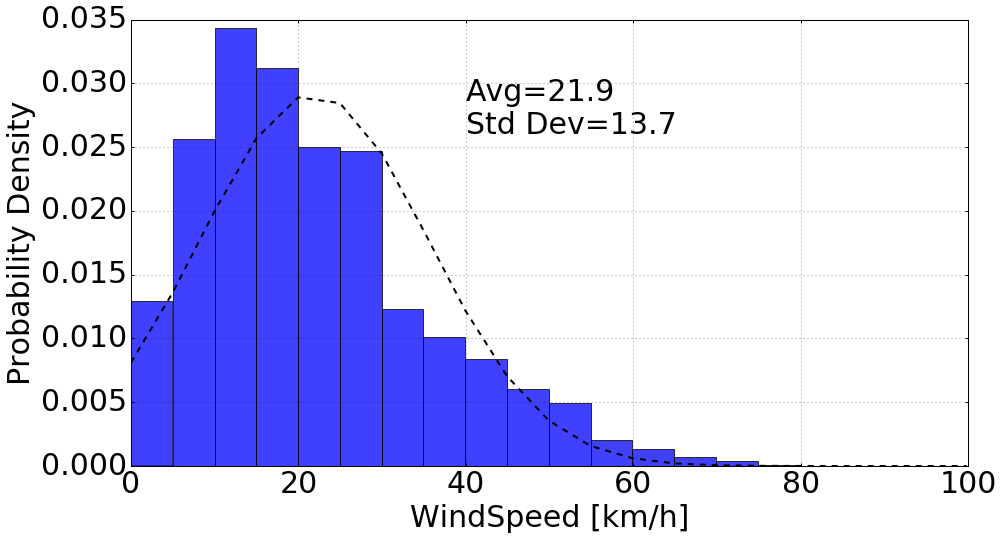
- 150 GHz y 220 GHz, usando el modelo atmosférico de Chajnantor.

Datos Meteorológicos en QUBIC



Dentro de las especificaciones de la colaboración internacional





QUBIC en Argentina

ANTECEDENTES Y CRONOLOGIA

- **Colaboraciones previas en el marco del Observatorio Pierre Auger.**
- **Cooperación CAB – APC en sistemas de detección (TES, MKIDs)**
- **Sitio previsto para QUBIC: estación Concordia, Antártida**
- **Dificultades logísticas y financieras llevaron a analizar posibles alternativas**

- **22/09/2015: visita al sitio de Alto Chorrillo**
  - **Jean-Christophe Hamilton (PI QUBIC)**
  - **Sotiris Loucatos (Director adjunto del APC)**
  - **Etienne Saur (agregado para la Ciencia y la Tecnología de la Embajada Francesa)**
  - **Beatriz García (ITeDA), José Viramonte (LLAMA)**
  - **Entrevista con Dr. Alejandro Ceccatto**

13 de octubre 2015: presentación del proyecto a MINCyT- Secretaría de Articulación

QUBIC en Argentina

APOYOS

- ✓ **Gobernador de Salta, Juan Manuel Urtubey**
- ✓ **Embajador de Francia, Jean-Michel Casa**
- ✓ **Director del APC (París), Stravos Katzanevas**
- ✓ **QUBIC PI, Jean-Christophe Hamilton**

QUBIC Meeting, 9 de junio de 2016, Roma

Presentación y aceptación del sitio argentino y de la incorporación de Argentina en la colaboración

QUBIC

a Q&U Bolometric Interferometer for Cosmology

Más de 100 miembros

6 países
22 labs

APC Paris, France
CSNSM Orsay, France
IAS Orsay, France
IEF Orsay, France
IRAP Toulouse, France
LAL Orsay, France
Universita di Milano-Bicocca, Italy
Universita degli studi di Milano, Italy
Universita La Sapienza, Roma, Italy
Maynooth University, Ireland
Cardiff University, UK
University of Manchester, UK
Brown University, USA
Richmond University, USA
University of Wisconsin, USA
Centro Atómico Constituyentes, Argentina
GEMA, Argentina
Comision Nacional de Energia Atomica, Argentina
Facultad de Cs Astronómicas y Geofísicas, Argentina
Centro Atómico Bariloche and Instituto Balseiro, Argentina
Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas, Argentina
Instituto Argentino de Radioastronomía, Argentina

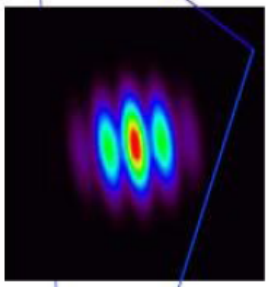
43 miembros Argentinos: investigadores, ingenieros, técnicos, estudiantes (2018)

PI J.C. Hamilton, APC Paris

QUBIC EN ARGENTINA

12 de abril 2016

Instituto Argentino de Radioastronomía



QUBIC
ARGENTINA

PROGRAMA

9:15 - 9:30	Apertura
9:30-10:15	Matías Zaldarriaga (IAS, Princeton): B-mode polarisation of the CMB
10:15-11:00	Jean-Christophe Hamilton (APC, Paris): Exploring the primordial Universe with QUBIC
11:00-11:30	Intervalo y café
11:30-12:15	Marcelo Arnal (IAR): The LLAMA project
12:15-12:45	Beatriz García (UTN Mendoza e ITeDA): The Alto Chorrillos site
12:45-14:15	Visita a las instalaciones del IAR y almuerzo*
14:15-14:45	José A. Sales Lima (USP, Sao Paulo): The LLAMA project in Brazil
14:45-15:00	Mariano Gomez Berisso (CAB): Facilities of the Low Temperature Laboratory
15:00-15:15	Manuel Gonzalez (CAB): Microwave kinetic inductance detectors
15:15-15:30	Claudia Scoccola (UNLP): QUBIC simulation pipeline
15:30-15:50	Pablo Ringegni (UNLP): Development and Research Unit GEMA - Structural and Mechanical conceptual design for QUBIC mount
15:50-16:10	Rodrigo Azpiri (INVAP): INVAP, its capabilities and background in equivalent devices
16:10-16:30	Intervalo y café
16:30-17:15	Panel de discusión: "Participación argentina en QUBIC" Panelistas: Marcelo Arnal (IAR), Alberto Etchegoyen (ITeDA), Hernán Pastoriza (CAB), Gustavo Rajher (MinCyT)
17:15-17:45	Discusión general y conclusiones

Apoyo Institucional

CONVENIO CUATRIPARTITO PARA EL PROYECTO DEL OBSERVATORIO INTERNACIONAL QUBIC

Argentina, a los 22 días del mes de Diciembre de 2017.

Dr. J.M. URTUBEY
Gobernador de la Provincia de Salta

Dr. J.L.S BARAÑAO
Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

Dr. H.A. CECCATTO
Presidente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Lic. O. CALZETTA LARRIEU
Presidente de la Comisión Nacional de Energía Atómica

CONVENIO CUATRIPARTITO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE DESARROLLO DEL PROYECTO LABORATORIO INTERNACIONAL ANDES

República Argentina, a los 12 días del mes de ABRIL de 2018.

Dr. S. M. UÑAC
Gobierno de la Provincia de San Juan

Dr. J. L. S. BARAÑAO
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

Lic. O. CALZETTA LARRIEU
Comisión Nacional de Energía Atómica

Dr. H. A. CECCATTO
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Highest Institutional Support: Govs. San Juan, Salta, Fed. Minister S&T, Pres. CNEA, CONICET

Dear Lic. Calzetta

I am very pleased to confirm the great interest of our company, MCC Minera Sierra Grande, in supporting the scientific and technological developments that are taking place in your institution, the Comisión Nacional de Energía Atómica. To that end, we propose to facilitate access to a site located at level 480 of our mine for the operation of physics research experiments. This site has approximately 400 m of rock coverage and it will be provided as long as this does not affect the regular operation of our company. In particular, we would need to sign a specific agreement as soon as possible detailing the responsibilities of each Party, before proceeding with the installation of a group of detectors by the end of the year.

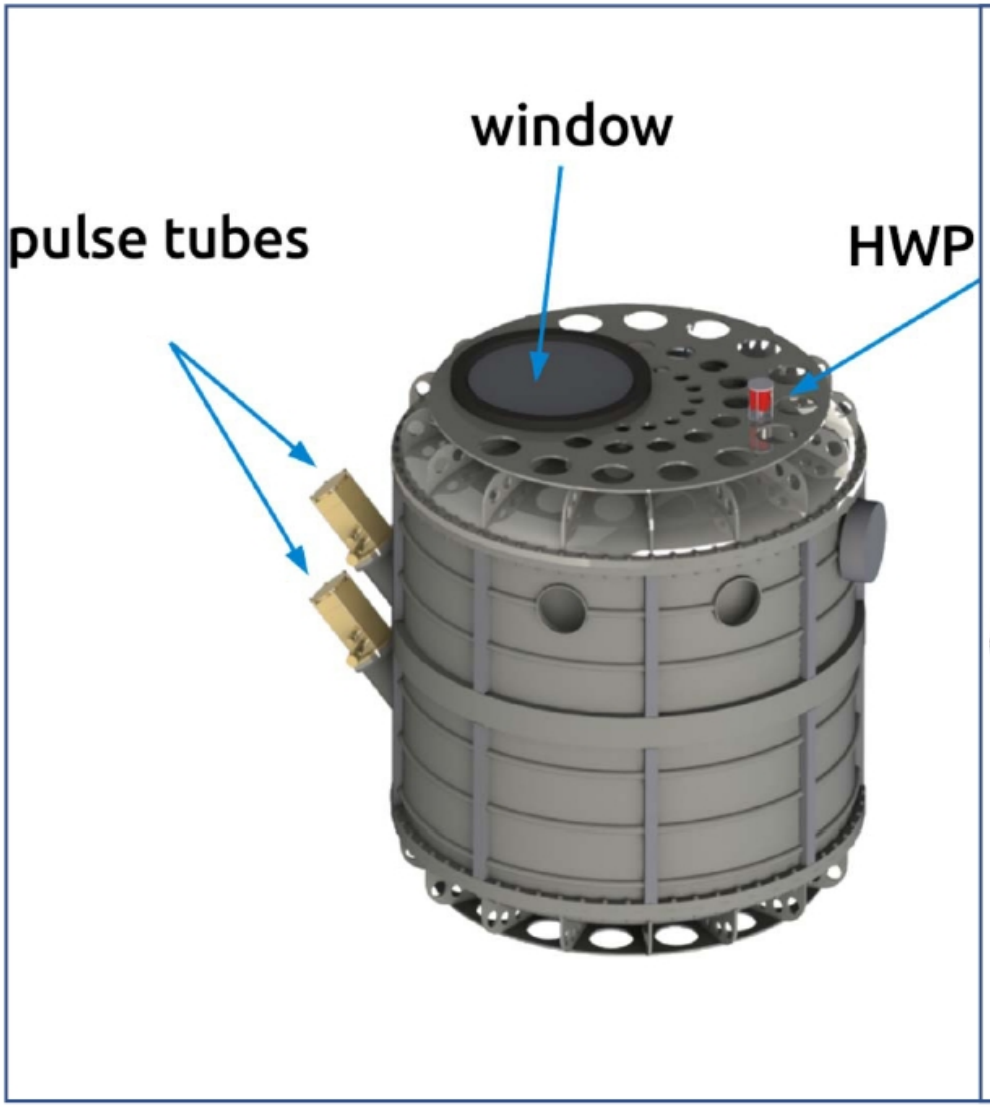
Yours sincerely

Ing. CHEN QIFANG
Presidente y Apoderado
Esc. 970 - Nº 1254
Reg. 36 (S.N.) 30/10/2015
MCC Minera Sierra Grande S.A

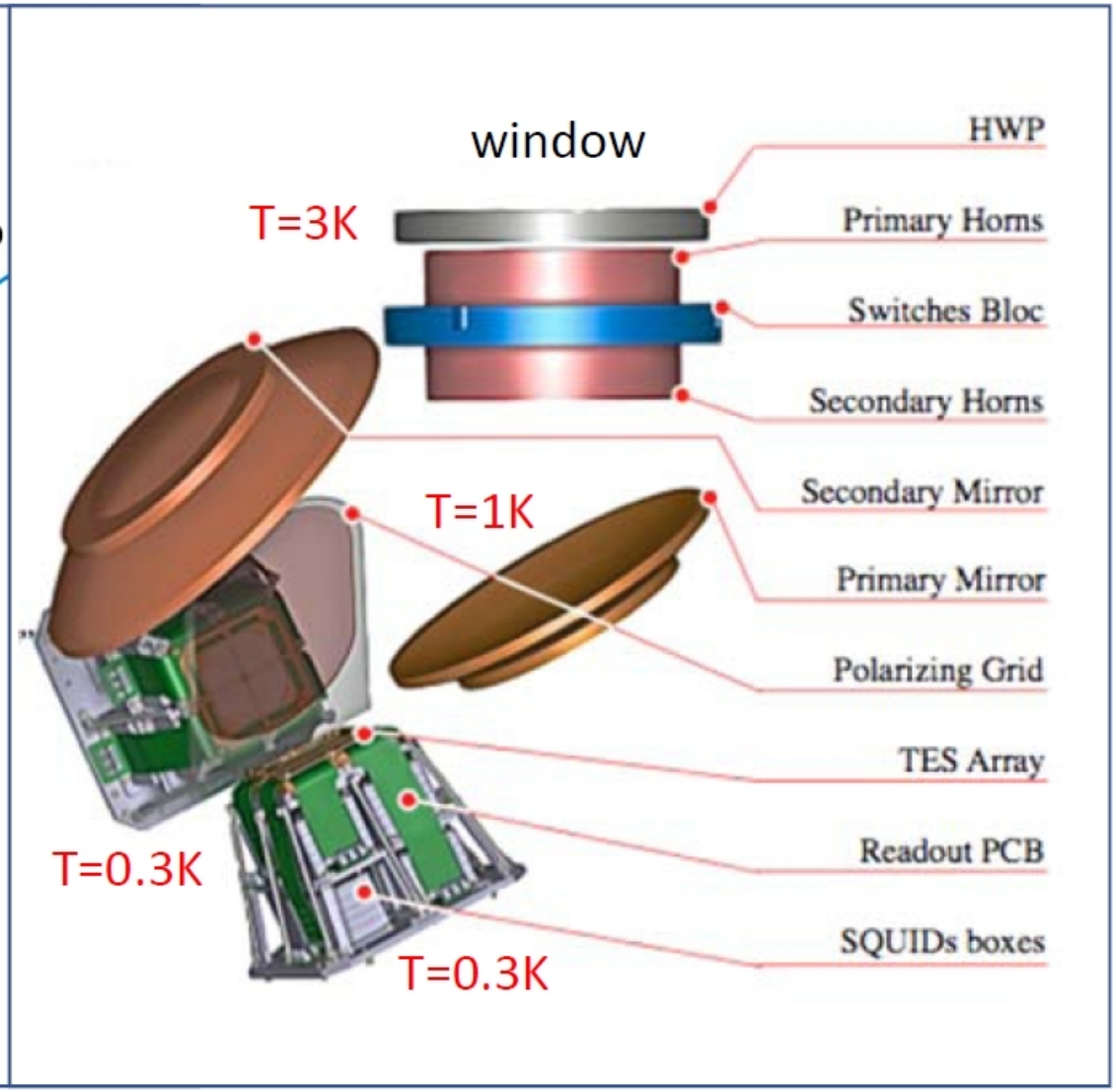
Chile requested to join HILCQUAD efforts
Eager and ready to start with HILCQUAD!

Implementación instrumental

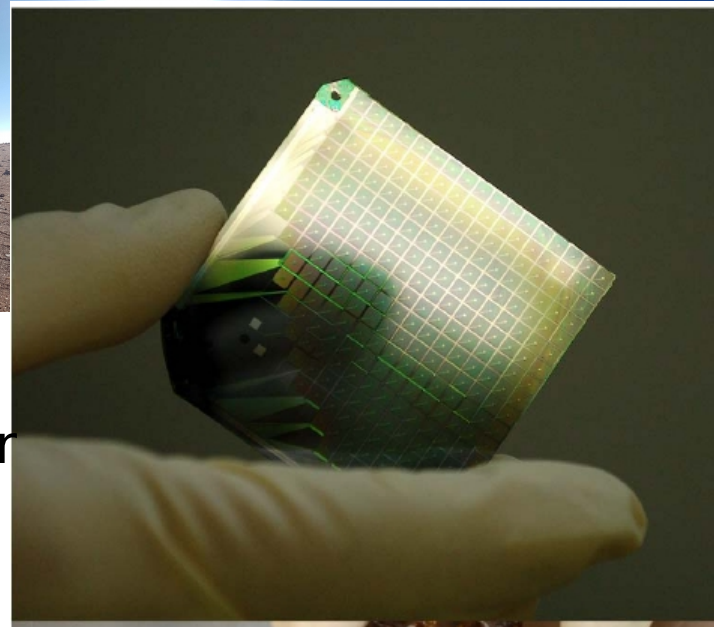
Exterior

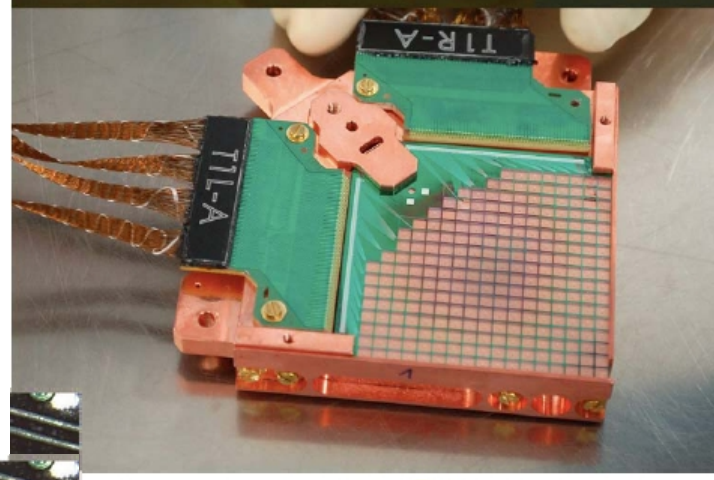


Interior



Arreglo de detectores TES



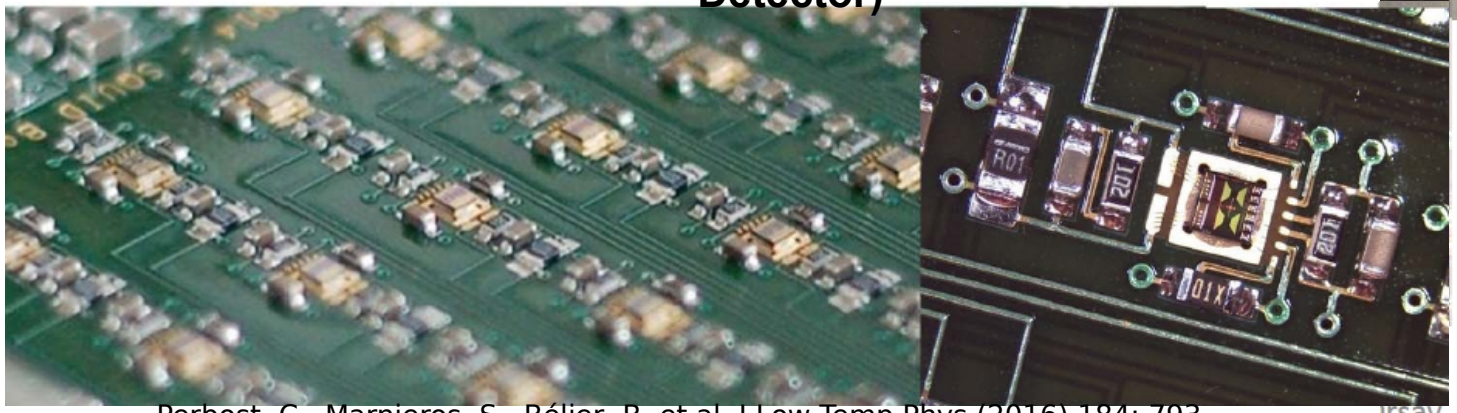


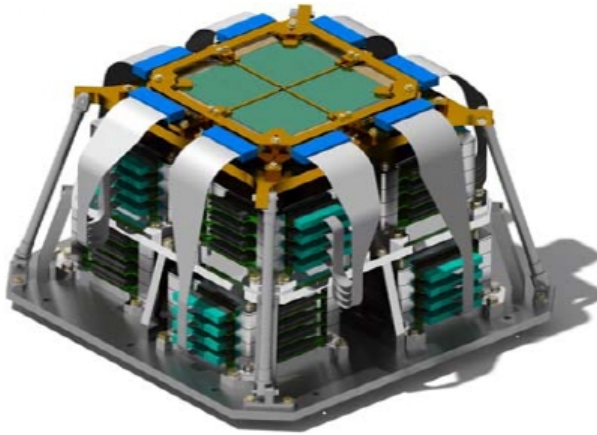
Transition Edge Sensors (TES): Bolómetros que usan la transición normal de un superconductor para detectar variaciones de temperatura extremadamente pequeñas (320mK).

- film Nb_xSi_{1-x}
- Buen rendimiento (>80%)
- Uniformidad a través wafer (<10%)
- Proceso de fabricación muy complejo

Hechos en CSNSM Orsay

Evolución a MKIDs (Microwave Kinetic Inductance Detector)





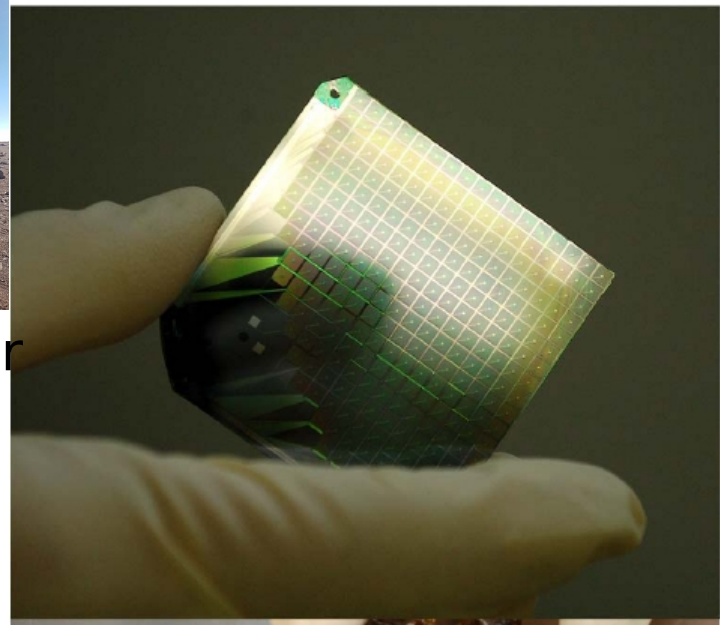
Perbost, C., Marnieros, S., Bélier, B. et al. J Low Temp Phys (2016) 184: 793

Arreglo de detectores TES

Transition Edge Sensors (TES): Bolómetros que usan la transición normal de un superconductor para detectar variaciones de temperatura extremadamente pequeñas (320mK).

- film Nb_xSi_{1-x}
- Baja impedancia, voltage-bias, rediseño de SQUID, multiplezado > 100-1
- Buen rendimiento (>80%)
- Uniformidad a través wafer (<10%)
- Proceso de fabricación muy complejo

Hechos en CSNSM Orsay

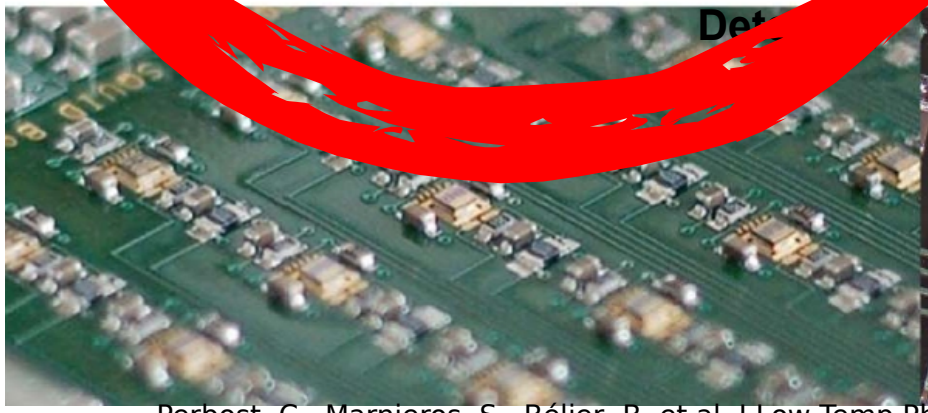


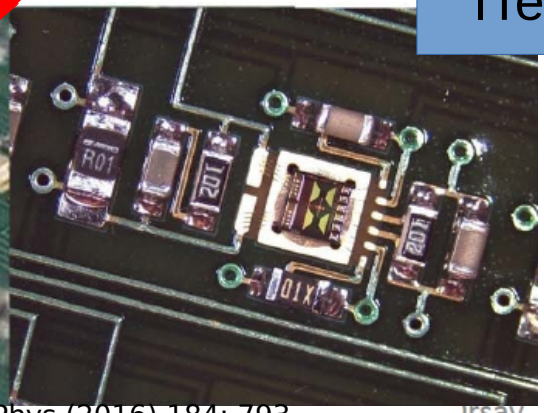
PATICIPACIÓN ARGENTINA

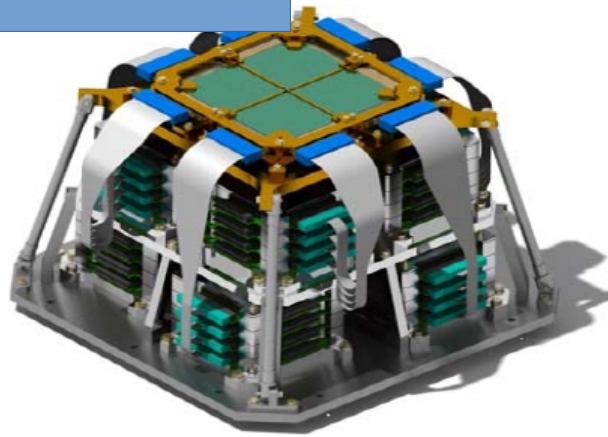
IBalseiro

ITeDA

Evolución a MKIDs (Microwave Kinetic Inductance Detectors)







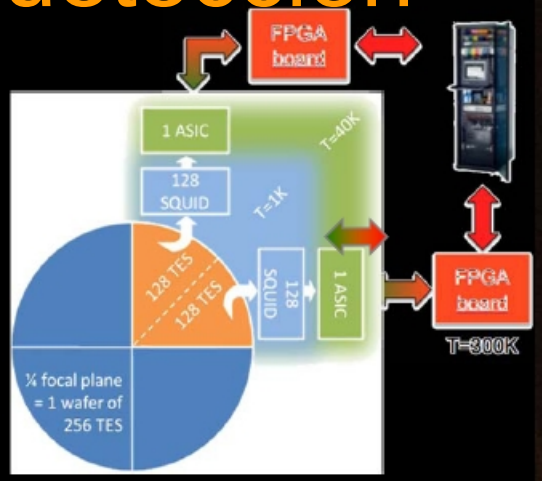
Perbost, C., Marnieros, S., Bélier, B. et al. J Low Temp Phys (2016) 184: 793

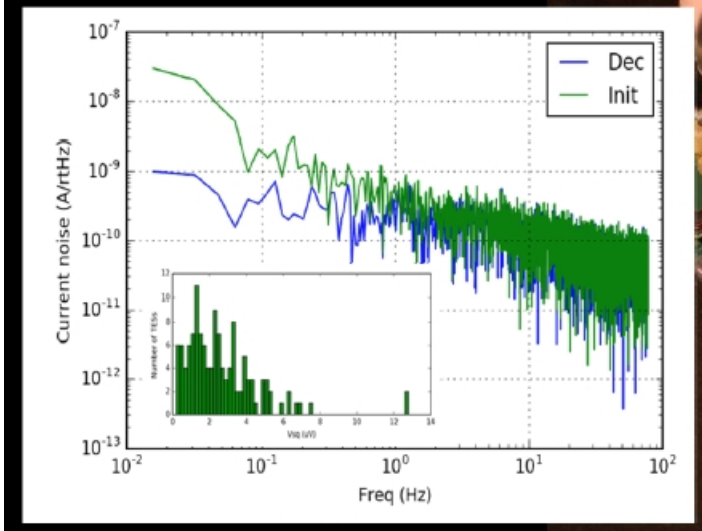
Cadena de detección

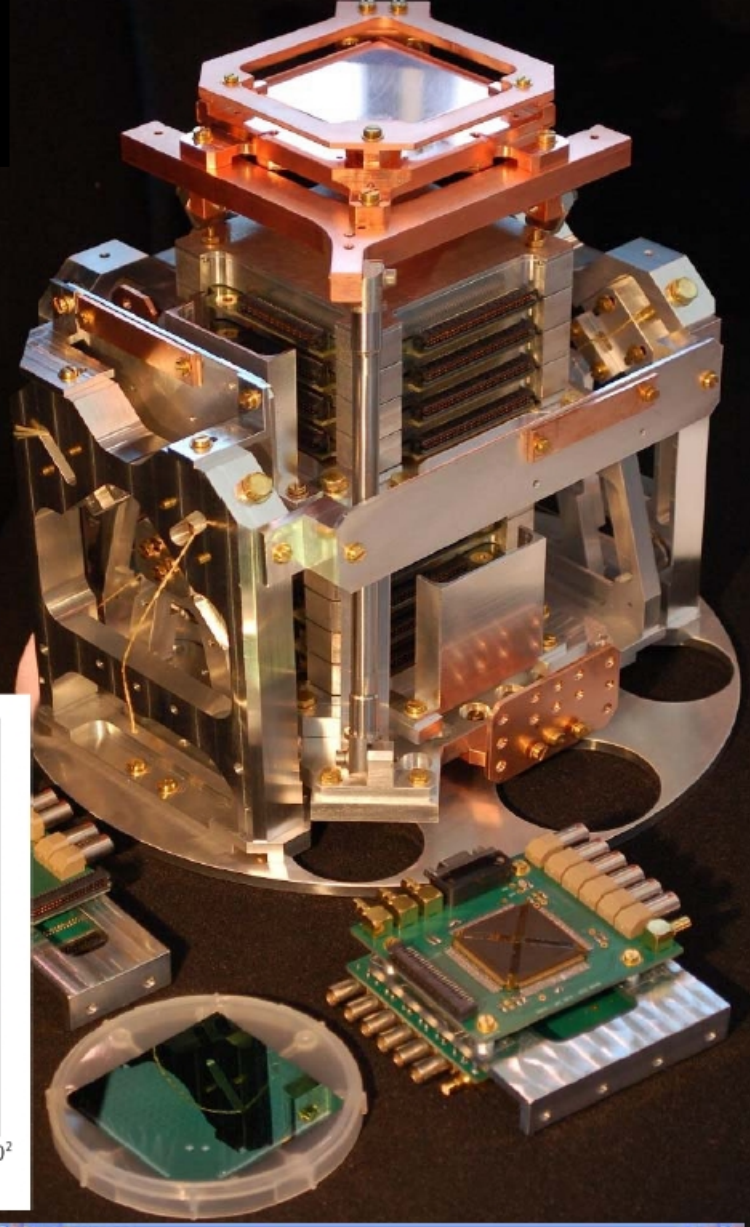
Hecha enAPC-Paris
(M. Piat, APC)

- 1 plano focal = 4 wafers de 256 TESs @300mK
- Lectura: Time Domain Multiplexing 128:1
- 128 SQUIDs @ 1K + 1 ASIC @ 40 K para ⅛ plano focal
- Especificaciones:
- NEP < 5.10^{-17}W.$Hz^{-0.5}$
- τ < 10ms
- ASICs criogénico personalizado

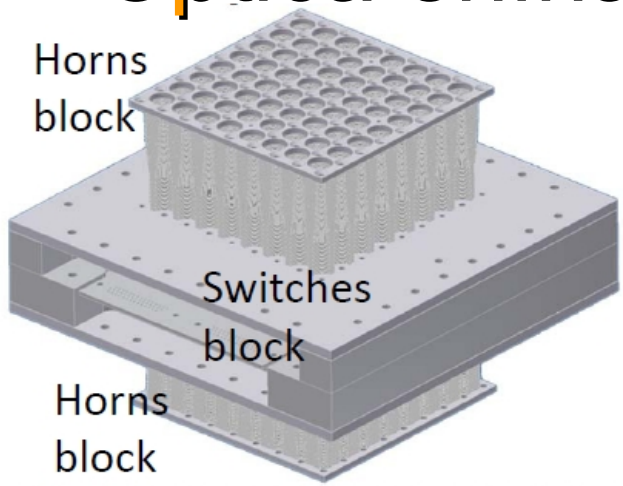
- FI: 2 planos focales: 150GHz y 220GHz
- TD: 1 plano focal con 256 TESs (150GHz)
- Data acquistion & control SW hecho en IRAP-Tolouse

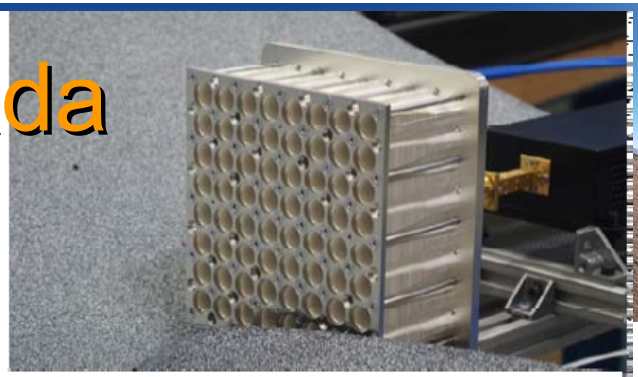


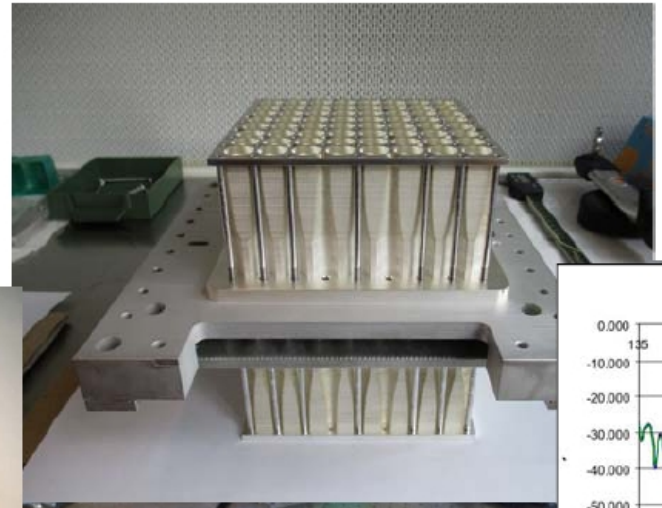


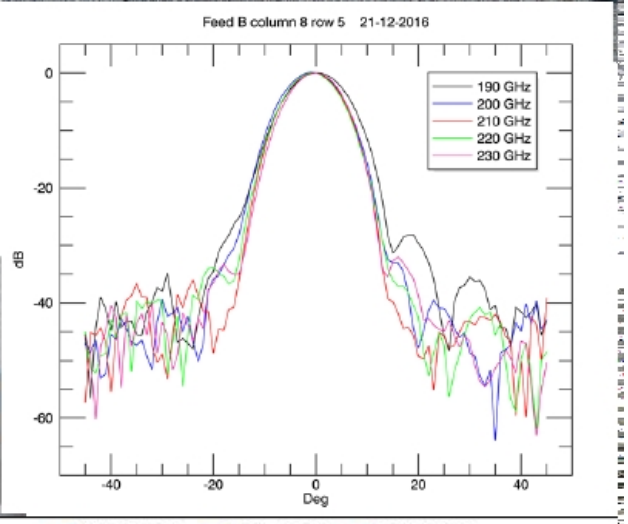


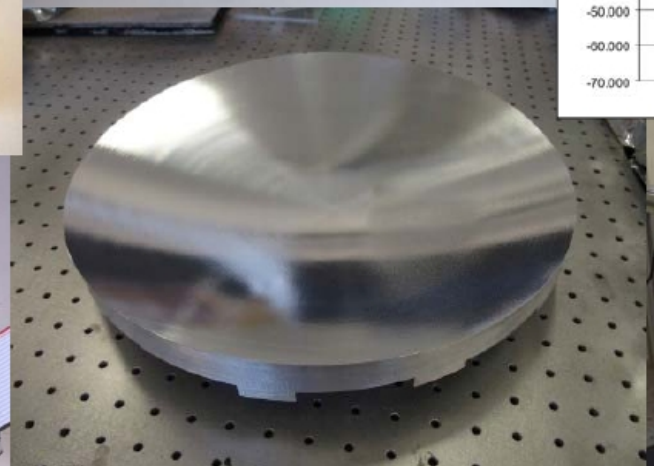
Óptica enfriada

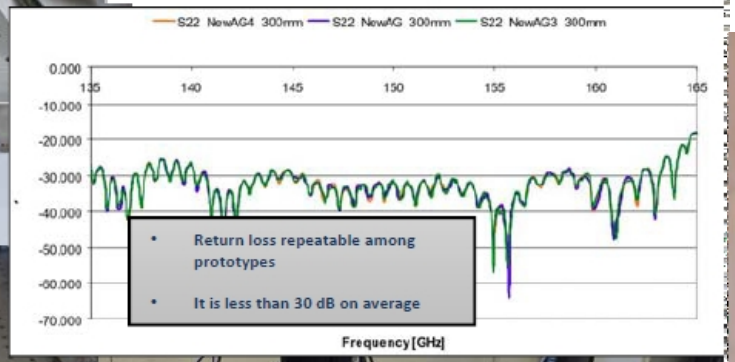


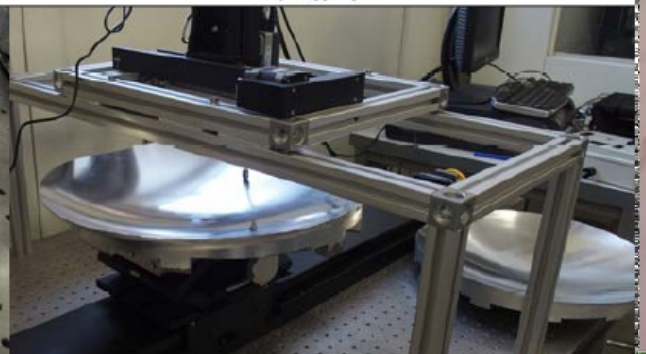












Espejo para la combinación de haz del TD, hecho en Milán

- Plaquetas-Corrugadas arreglo feedhorns hecho en Milán, testeado en Bicocca, Arreglos de 140GHz y 220GHz

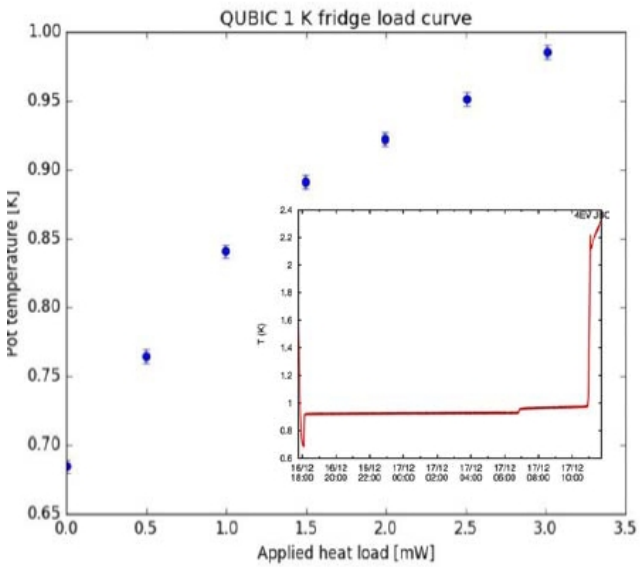
- Excelente performance.
- Arreglo de interruptores

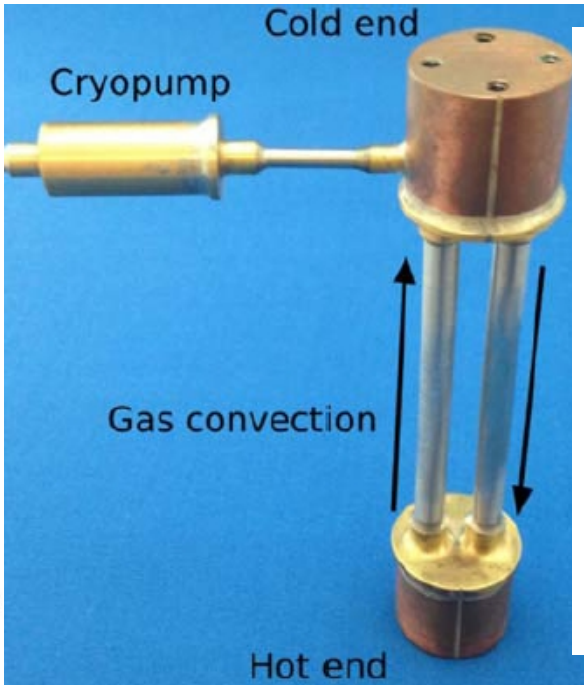
Enfriadores sub-K

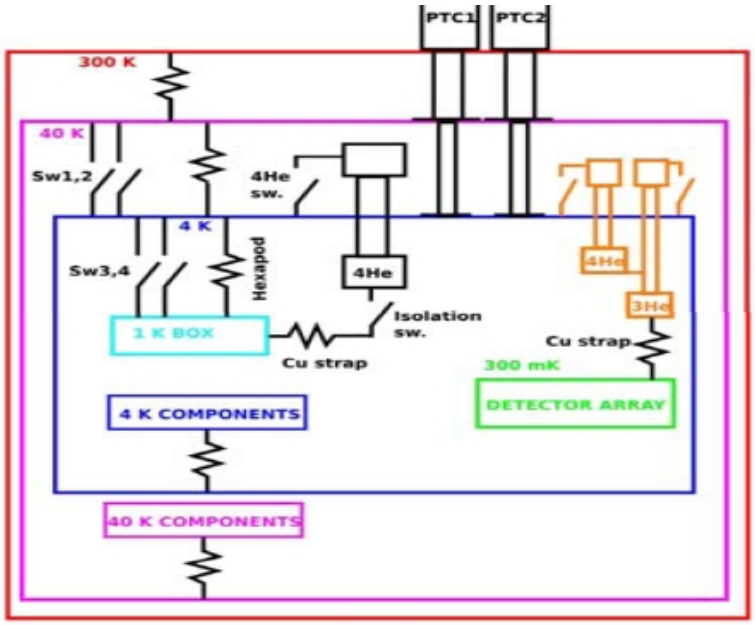
Construídos en Manchester

Desafíos:

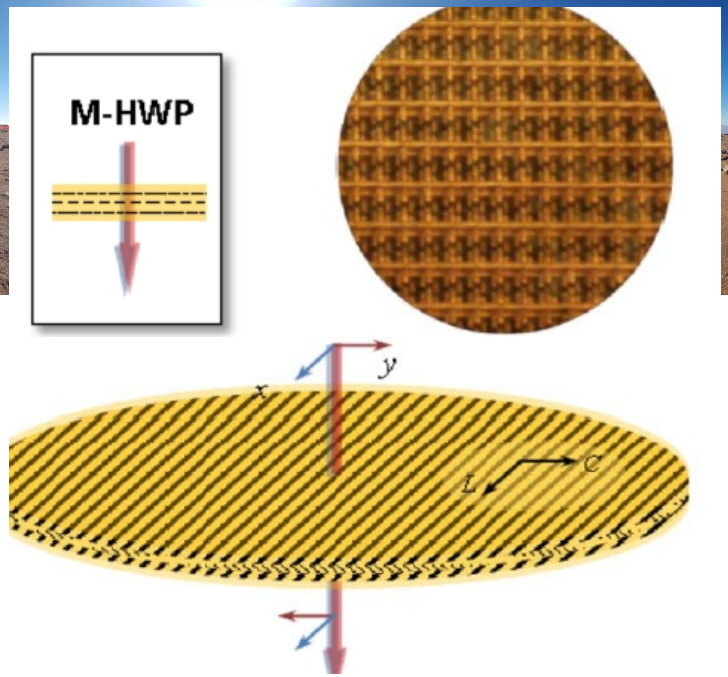
- enfriar 160 kg de metal a < 1K
- enfriar el plano focal a 0.3K
- Evaporación elevada de refrigeradores e interruptores de calor, a gas:
- ^{3}He para el plano focal
- ^{4}He refrigerante para la caja a 1K







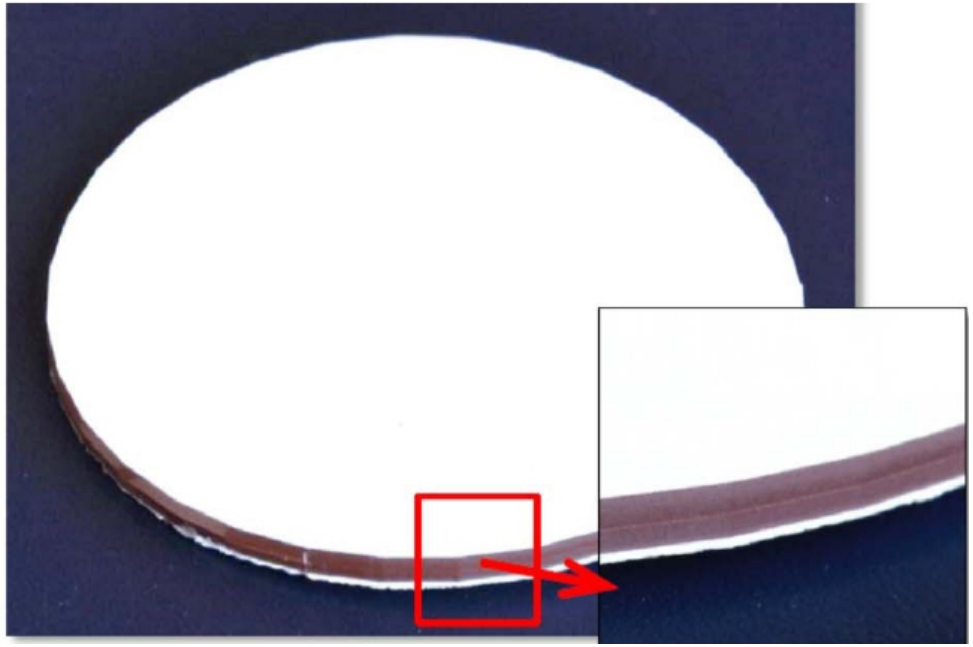
Filtros ópticos y HWP

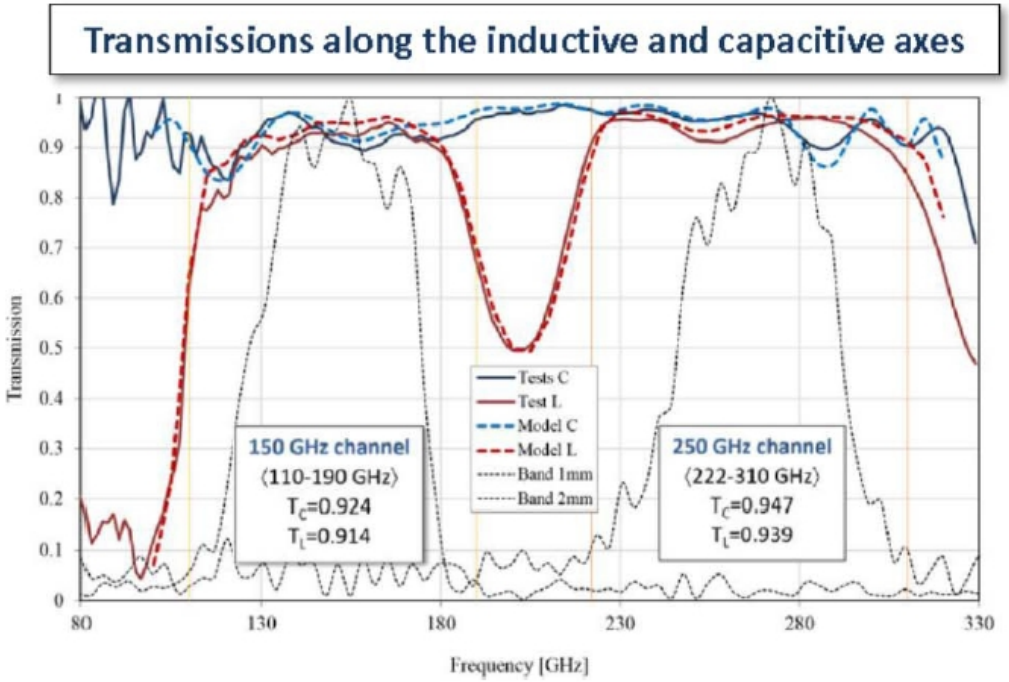


Construidos en Cardiff

- Desafíos:
- Filtros térmicos de gran diámetro (>0.5m)
- HWP de gran diámetro (0.5m)
- Gran ancho de banda para la HWP

- Solución:
- Fabricación con meta-materiales Quasi-ópticos
- Cardiff, provee filtros para polarizadores de CMB en casi todo el mundo
- HWP basada en tecnología de filtros de malla embebidos con filtros de malla anisotropicos. Ancho de banda 100% (3:1) Ejes definidos fotolitograficamente.



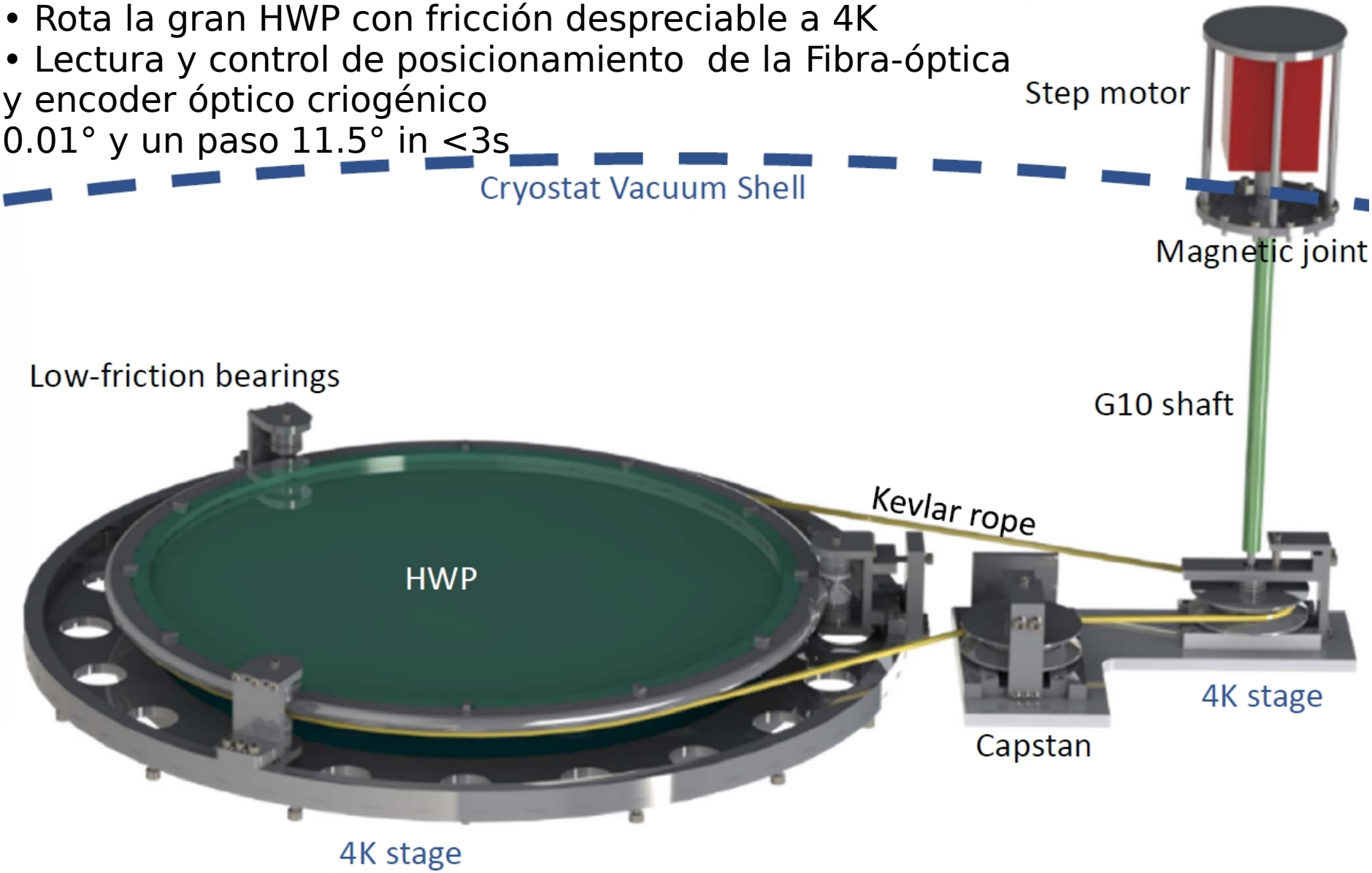


Modulador de polarización criogénico

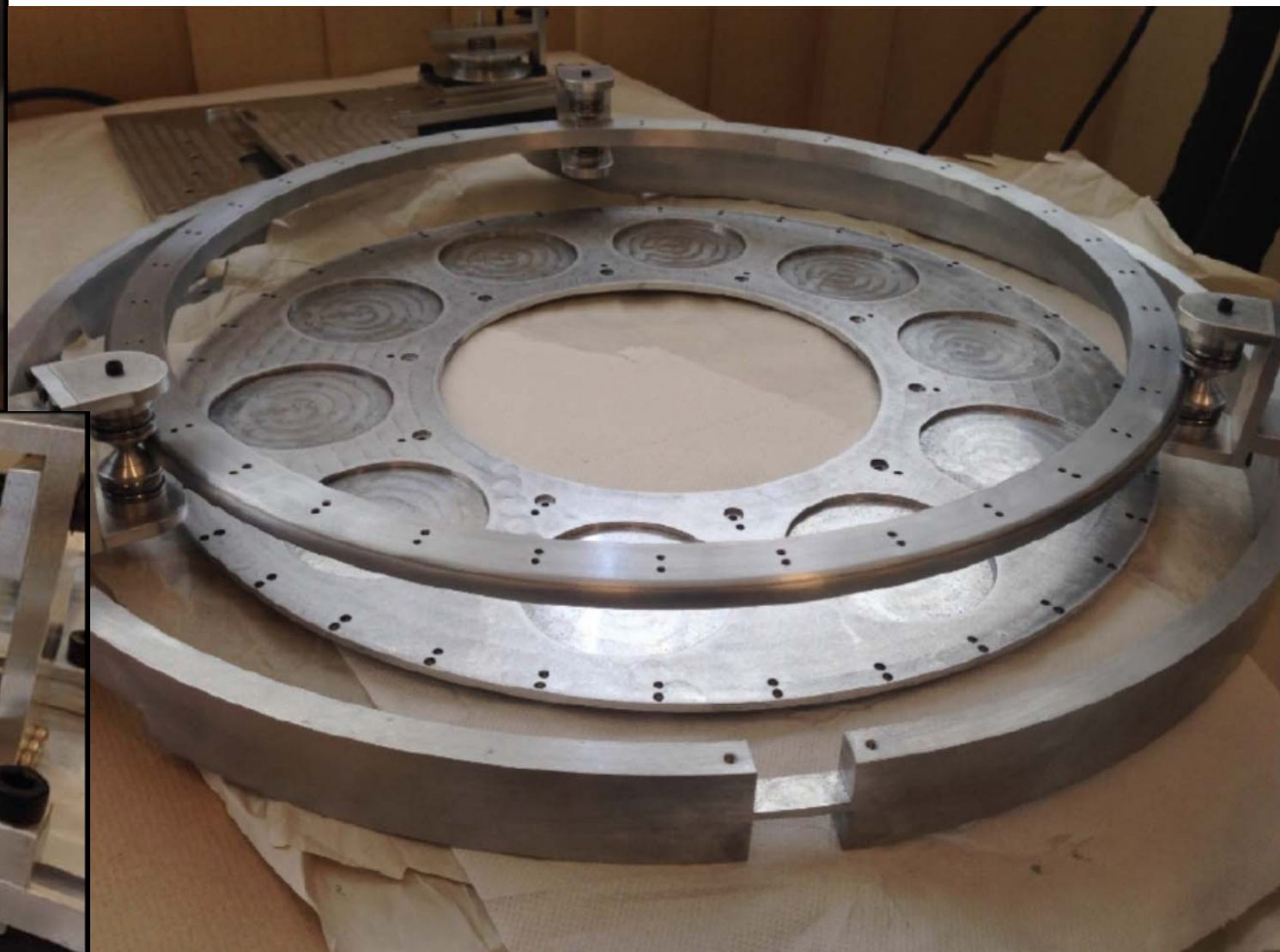
Construido en Roma

- Rota la gran HWP con fricción despreciable a 4K
- Lectura y control de posicionamiento de la Fibra-óptica y encoder óptico criogénico

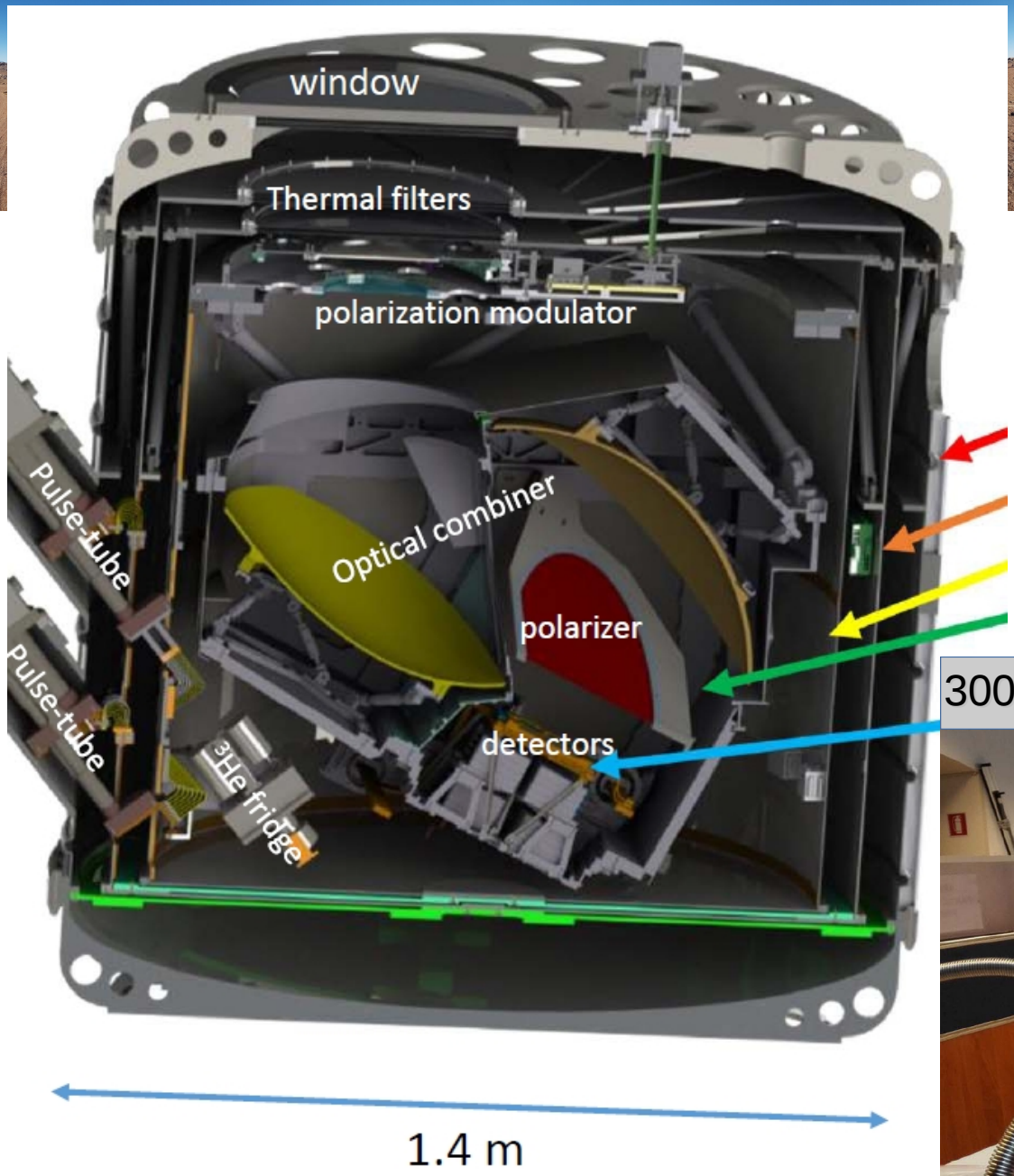
0.01° y un paso 11.5° in <3s



Modulador de polarización criogénico



Instrumento



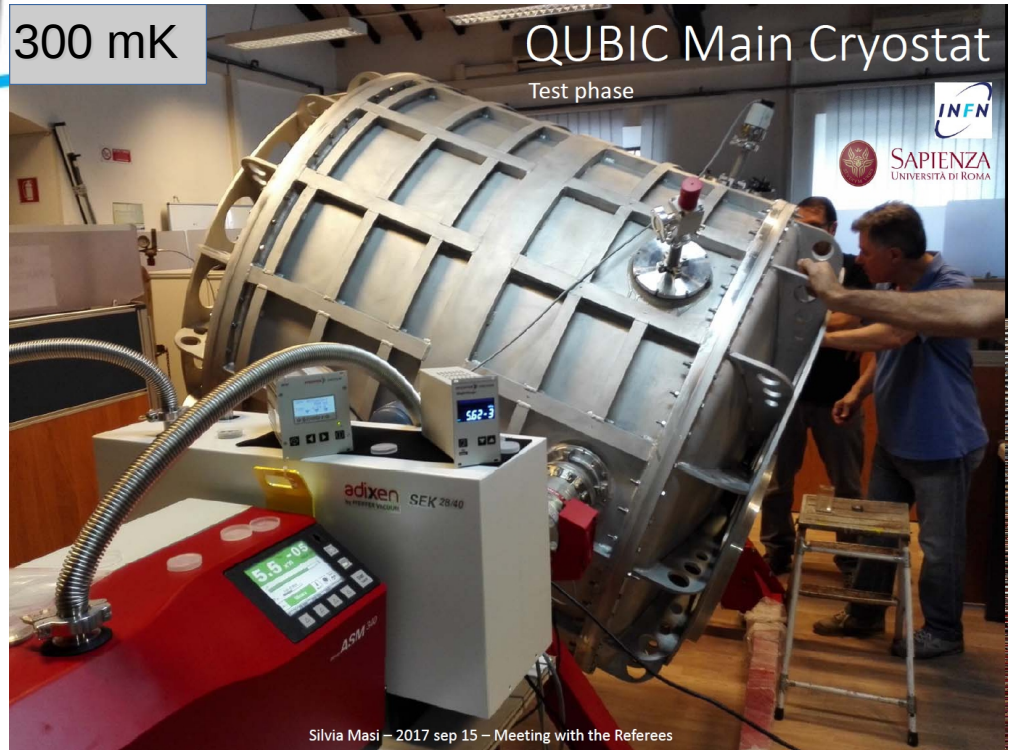
300 K

40 K

4 K

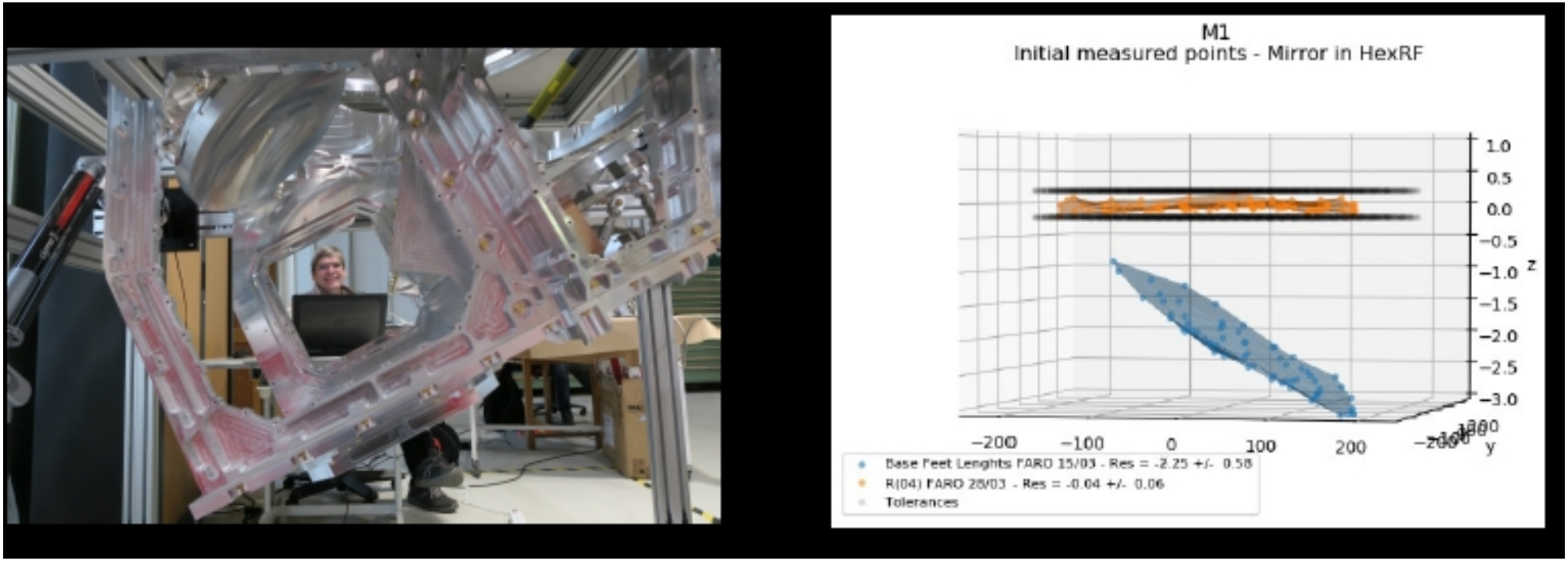
1 K

300 mK



Optic Box - 1K

Integración del TD - 2017-2018



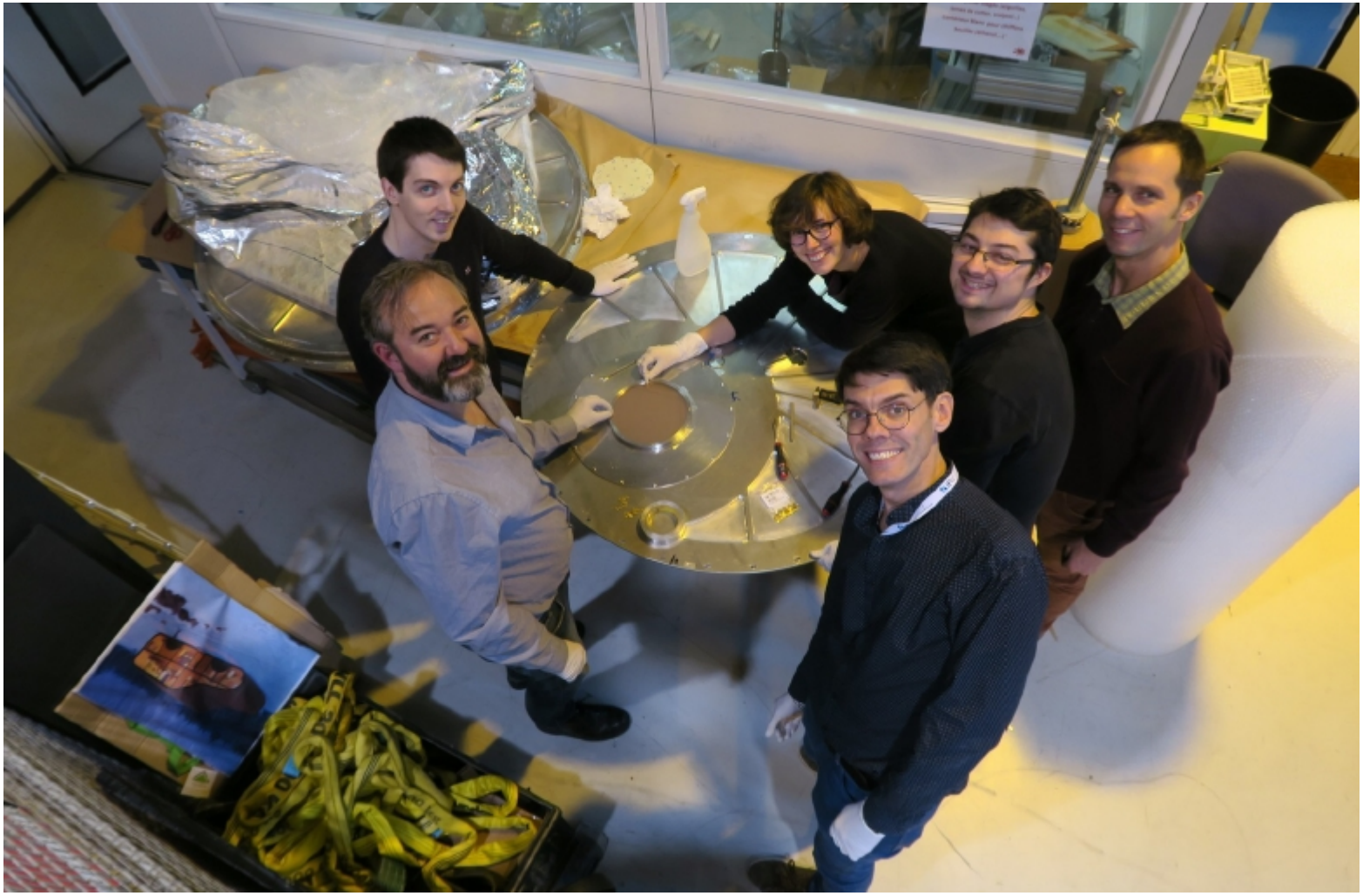
Estructura: APC
Espejos y alineación: Milan, Roma, APC

Sistema criogénico

- 1K, 300 mK. Refrigerado con ^{4}He (Manchester)

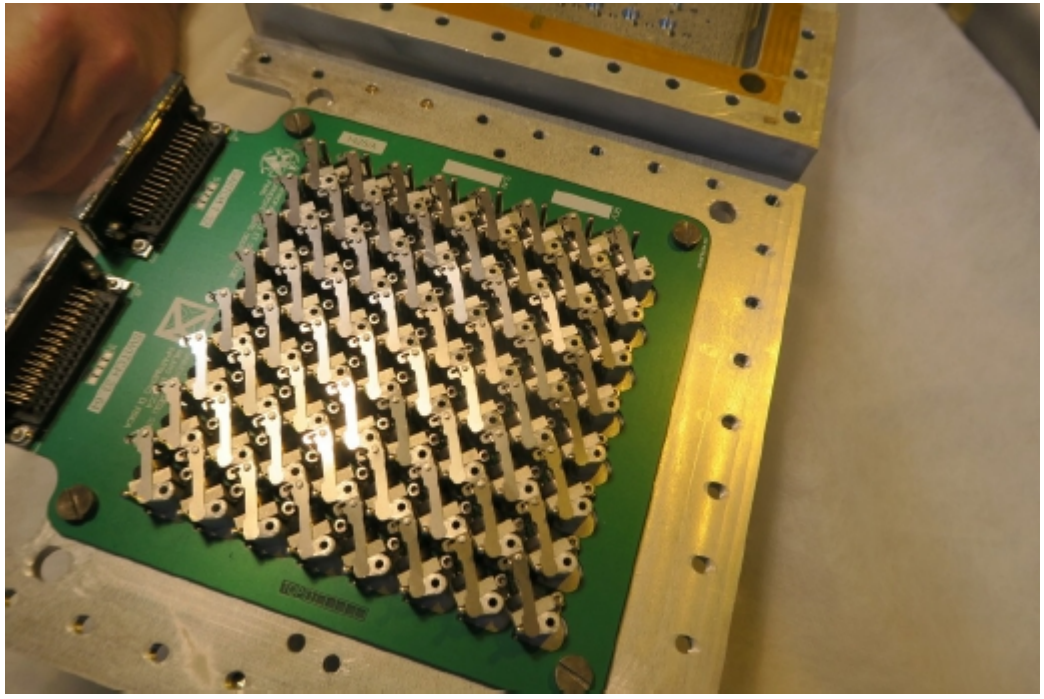
Componentes opticos del criostato

- Filtros, HWP, Polarizador (Cardiff)

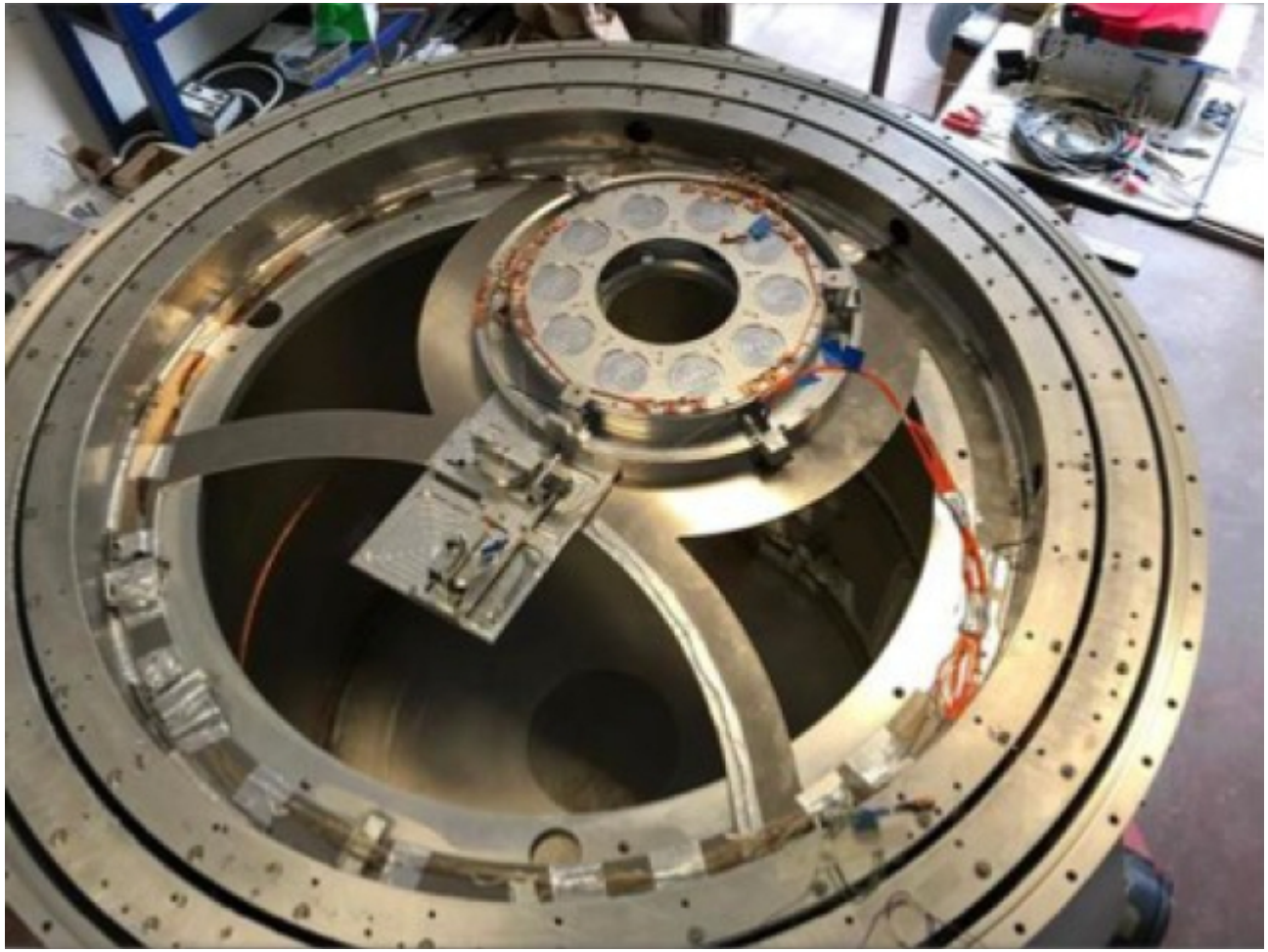


Arreglo de Back to Back Horns

- Plaquetas corrugadas BtoB- Univ. de Milán
- Switches y electrónica Milan- Biccoca -PC

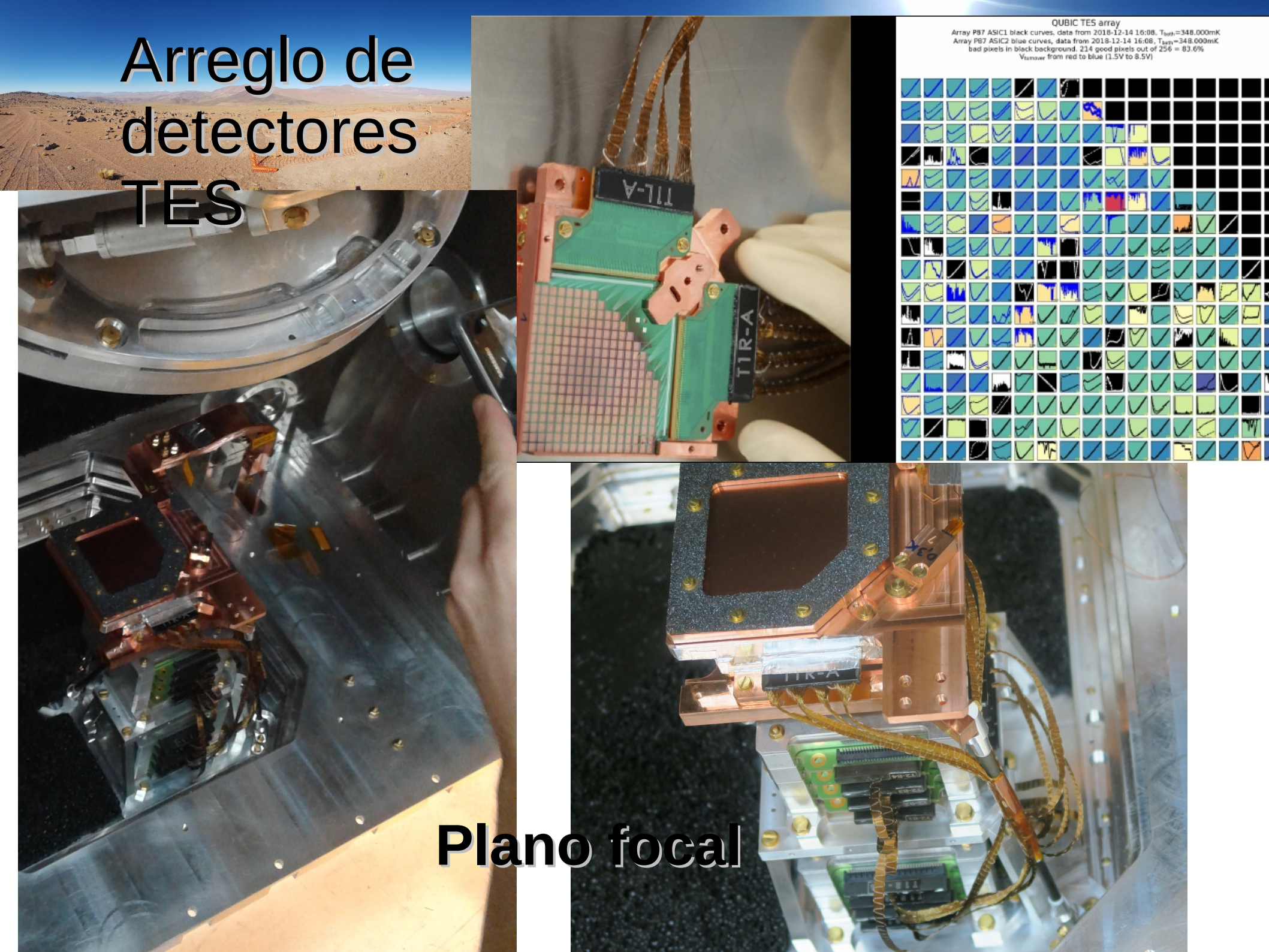


Sistema para rotaciónor de la HWP

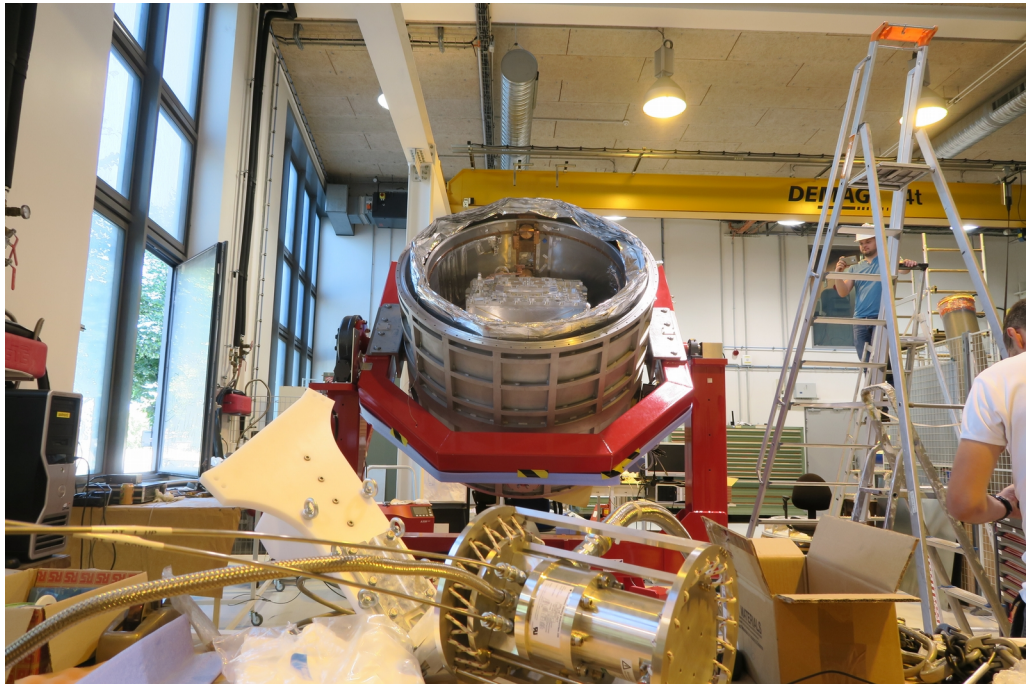


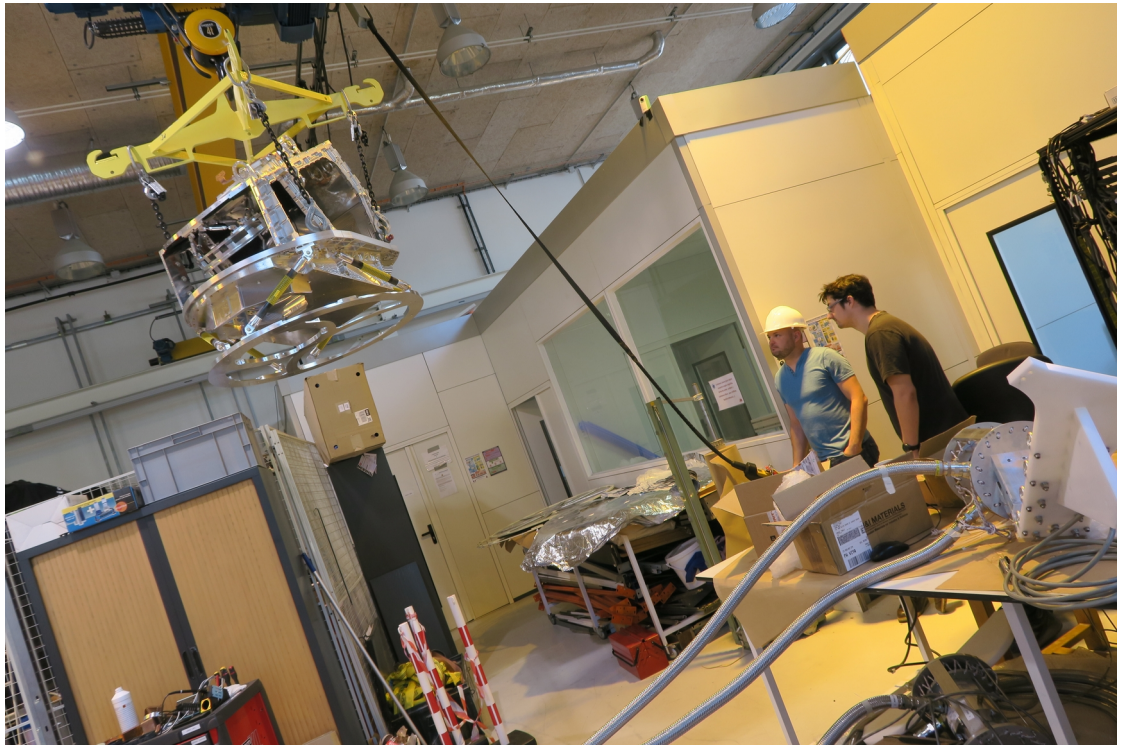
Roma, La Sapienza

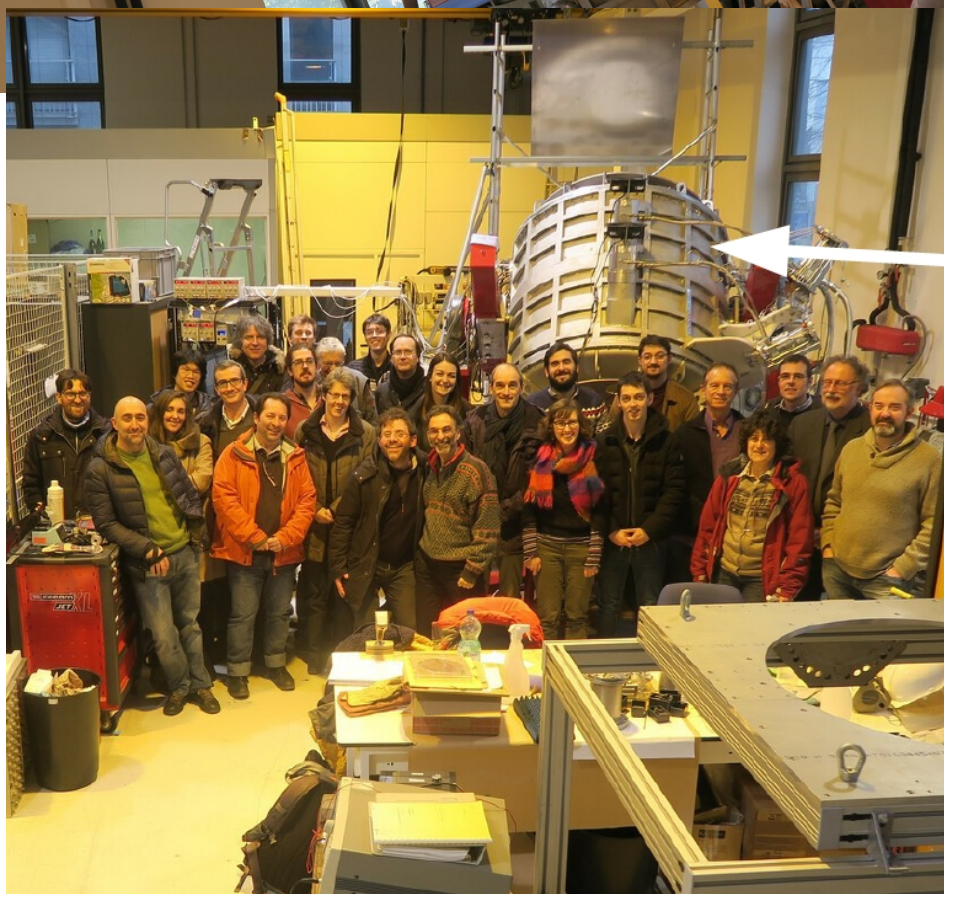
Arreglo de detectores TES



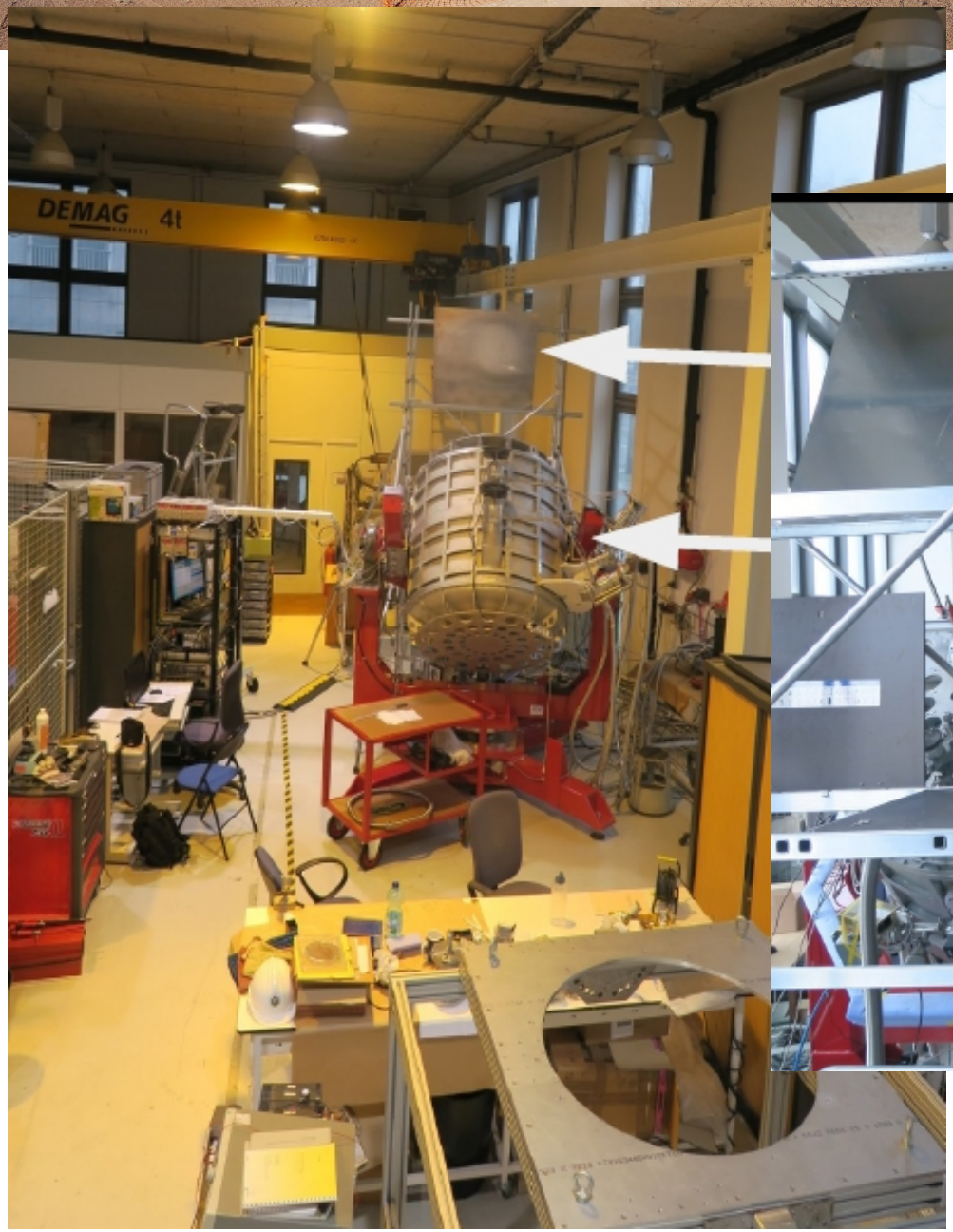
Plano focal

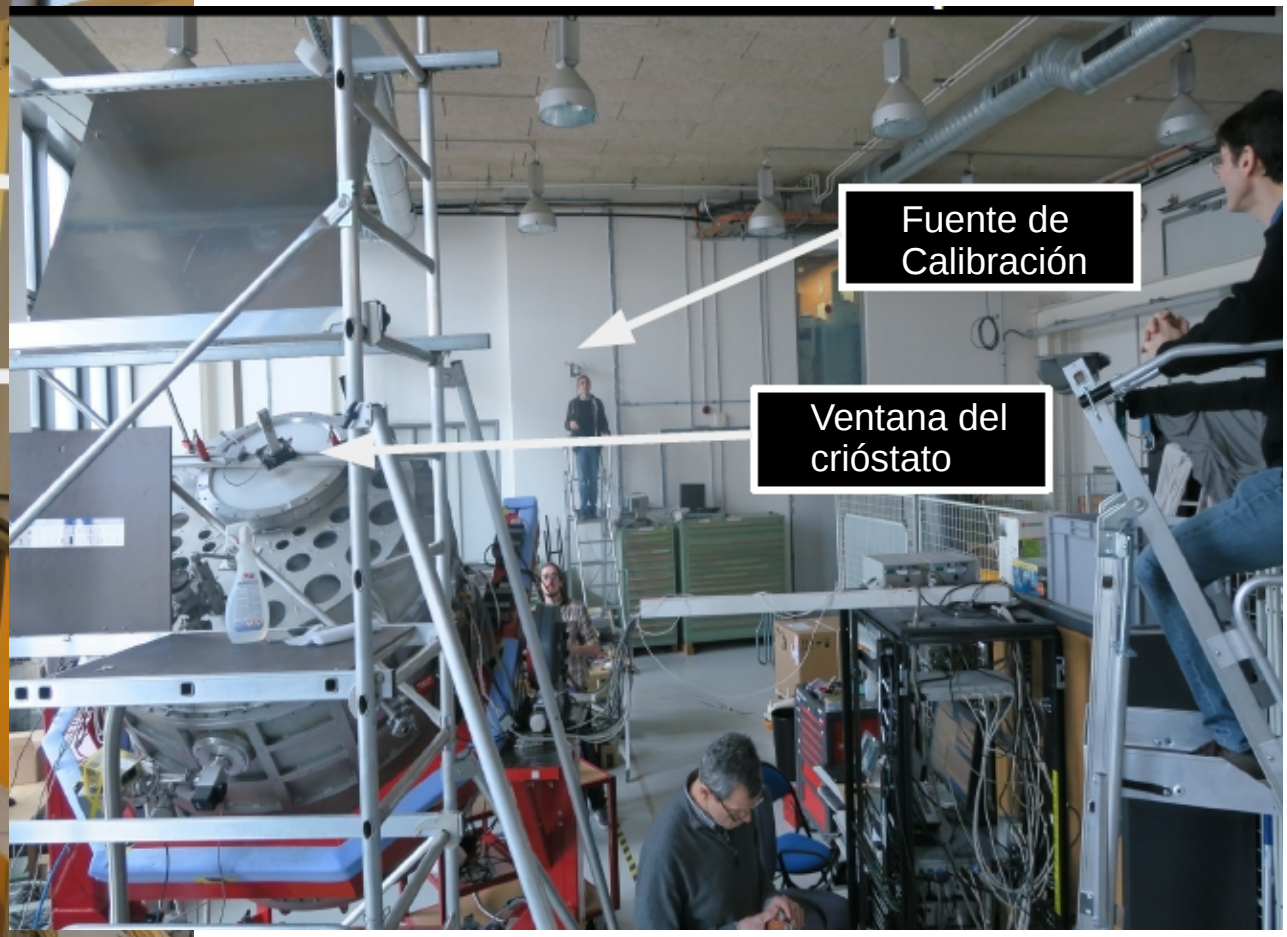

DEMAG

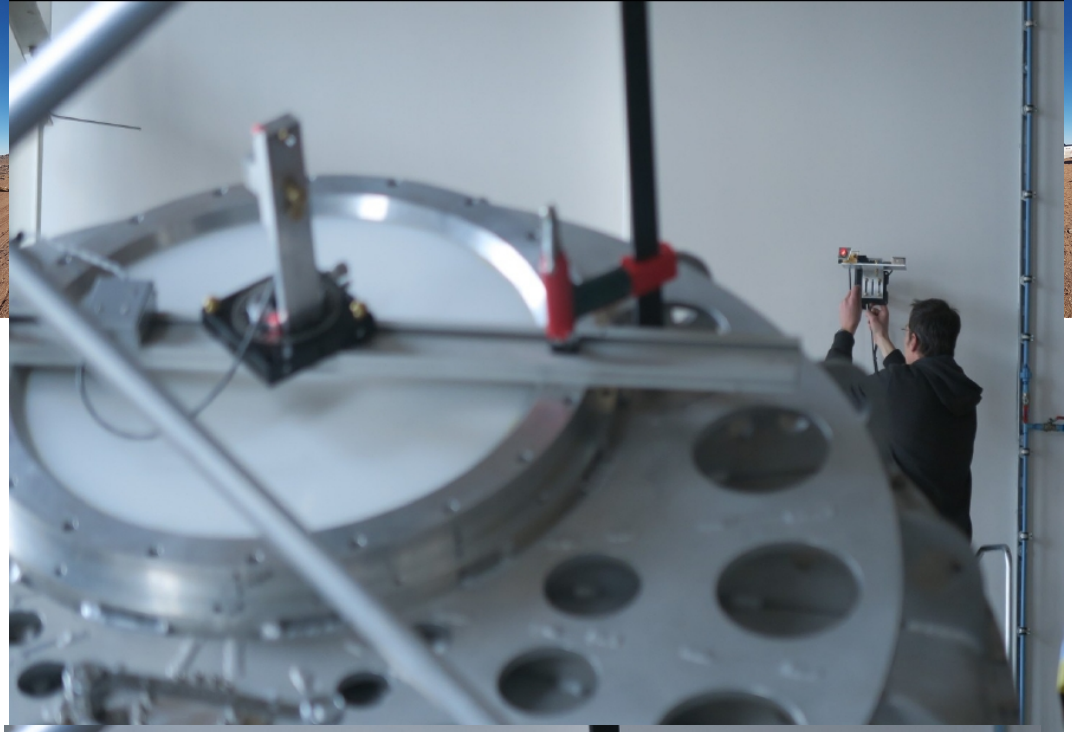


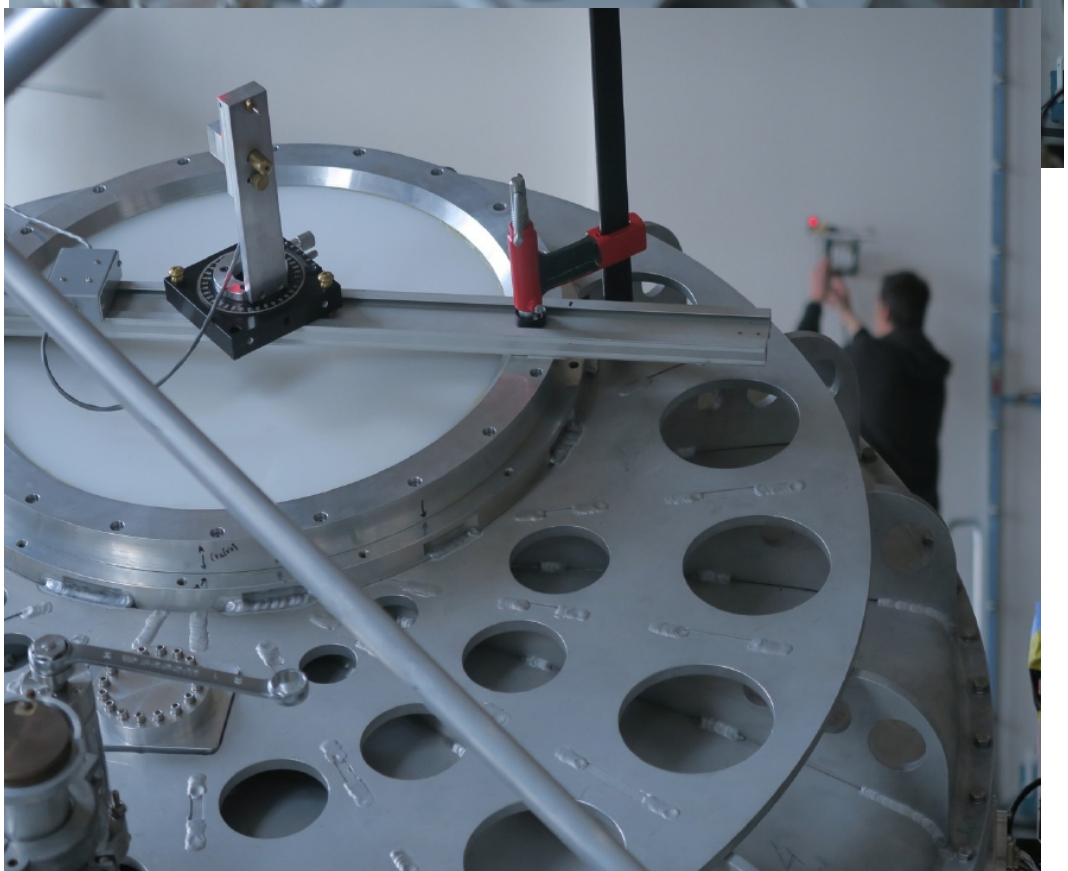


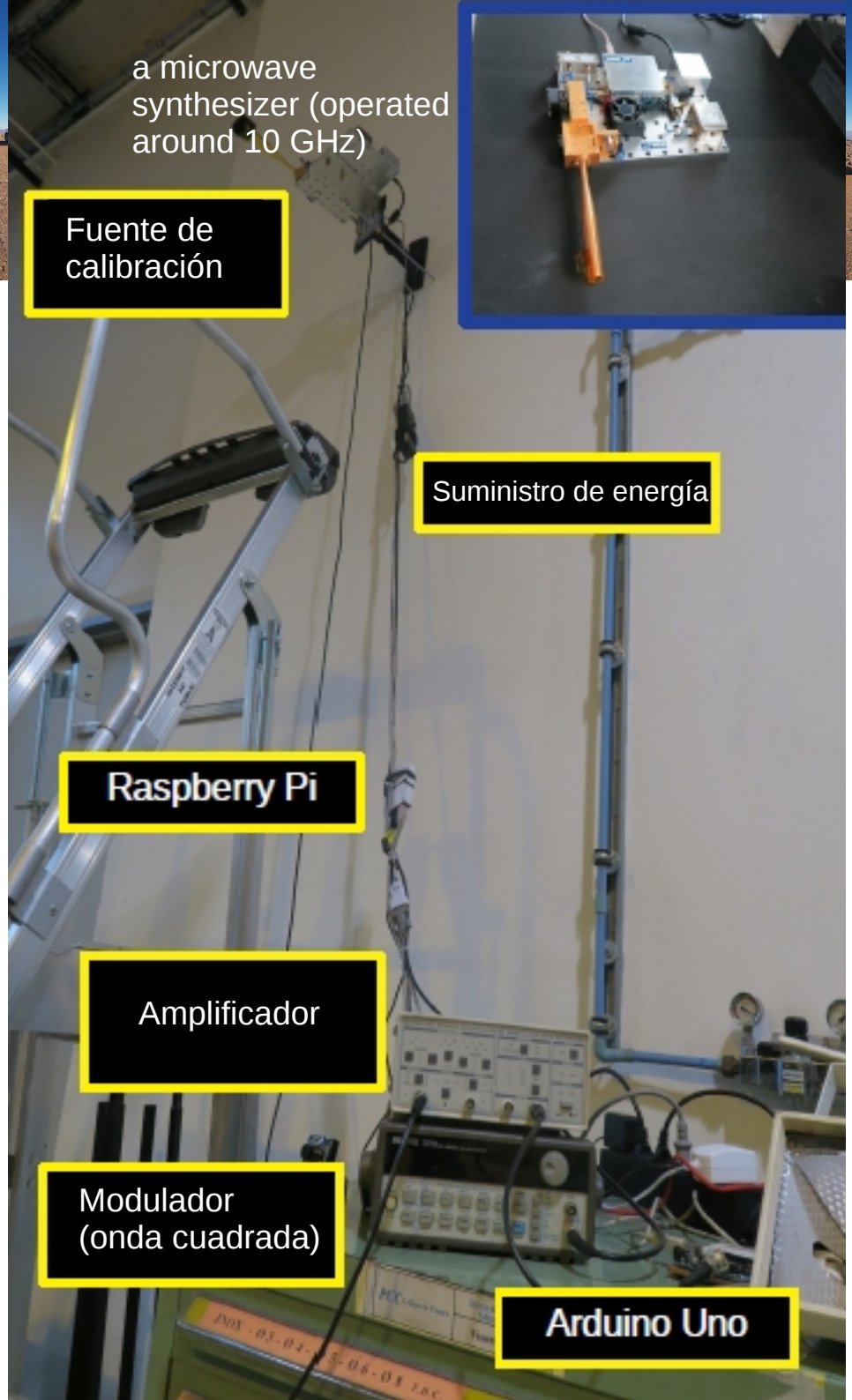
Setup de calibracion



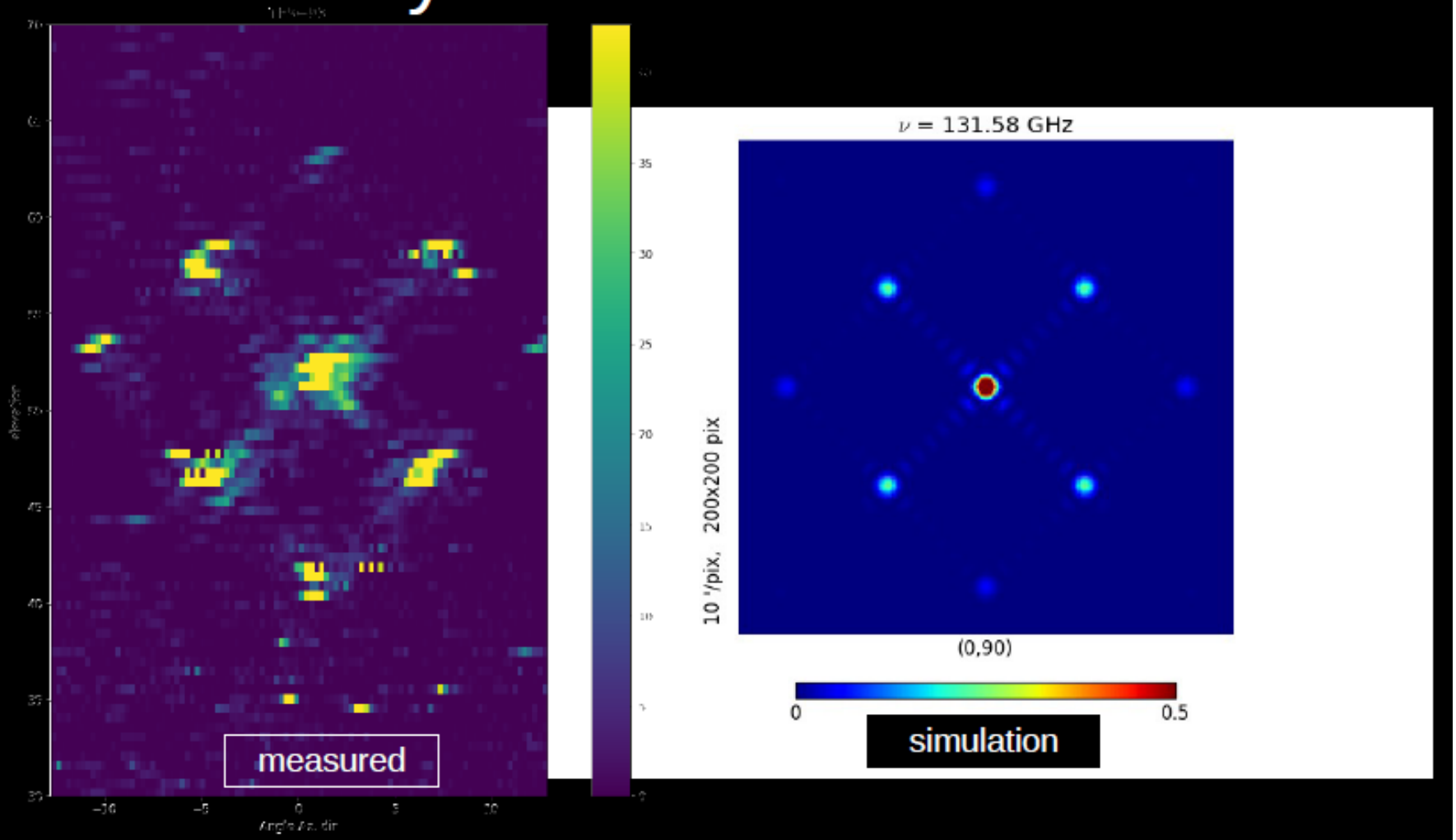







a microwave synthesizer (operated around 10 GHz)
Fuente de calibración
Suministro de energía
Raspberry Pi
Amplificador
Modulador (onda cuadrada)
Arduino Uno

Synthesized Beam



Simulaciones y análisis de datos

Extremadamente importante

- Standard analisis pipeline:

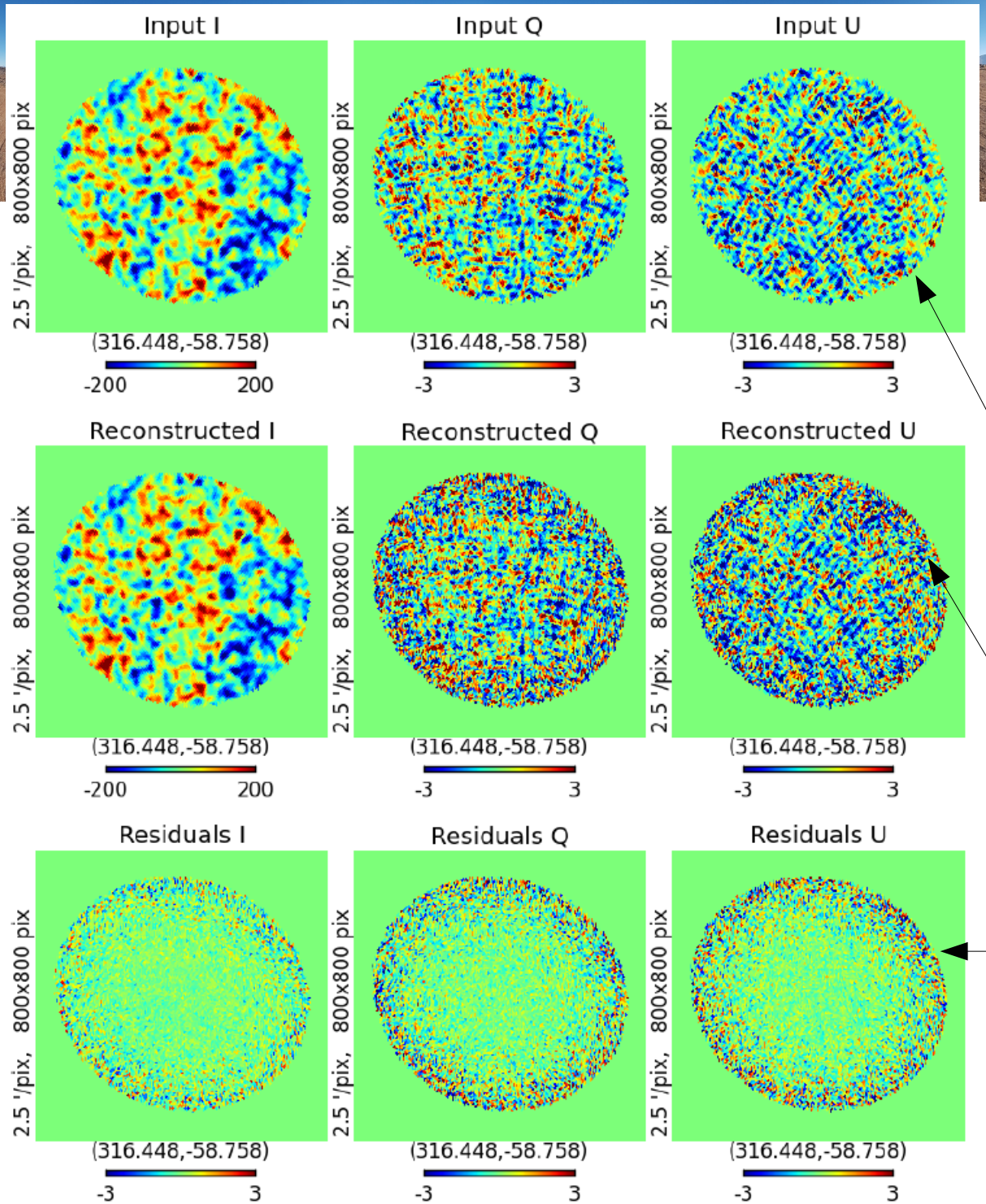
- Datos crudos limpios (rayos cósmicos, EMI, atmósfera)
- Estimación del ruido y del mapa óptimo (los mejores mapas I,Q,U compatibles con los datos y las propiedades del ruido)
- Separación de componentes (separar la señal del CMB en los mapas de la emisión local polarizada : syncrotron, polvo interestelar, fuentes), uso de datos auxiliares (Planck, radio, etc)
- Espectro óptimo (en el espacio del multipolo)
- Análisis cosmológico y determinación de parámetros

- QUBIC es especial porque:

el haz no es simple y es dependiente de la longitud de onda de una manera significativa

Un soft especial esta siendo desarrollado (APC-Paris, La Plata)

QUBIC- análisis de datos



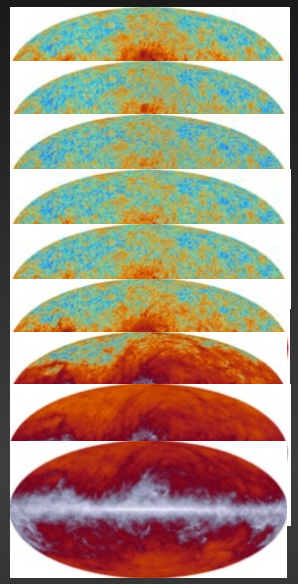
Resultados actuales de cartografía QUBIC bajo la hipótesis de picos gaussianos

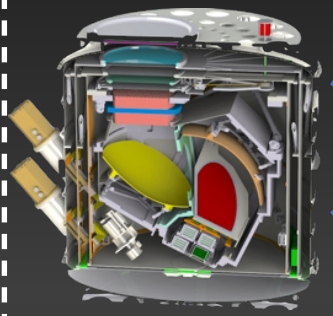
Mapas de I, Q y U en la región observada por QUBIC

Reconstrucción usando la pipeline completa de simulación

Residuos w.r.t. de los mapas de iniciales

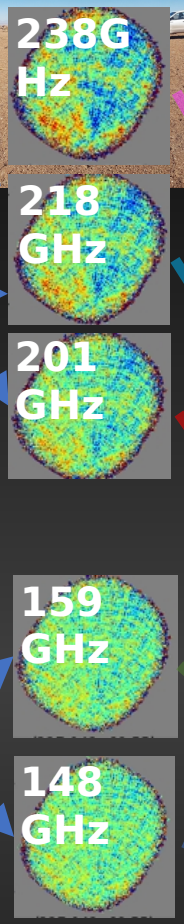
QUBIC Spectro-Imaging

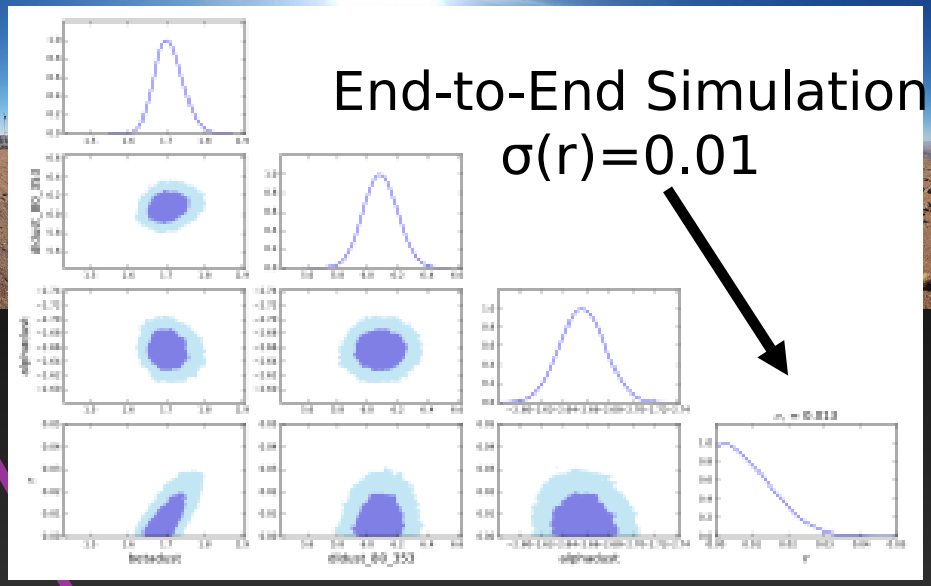


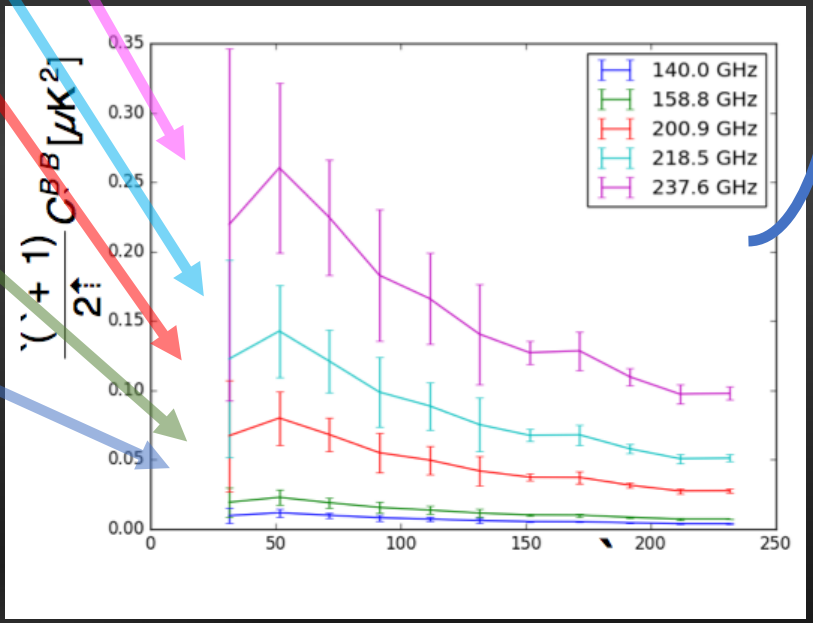


TOD(220 GHz)

TOD(150 GHz)







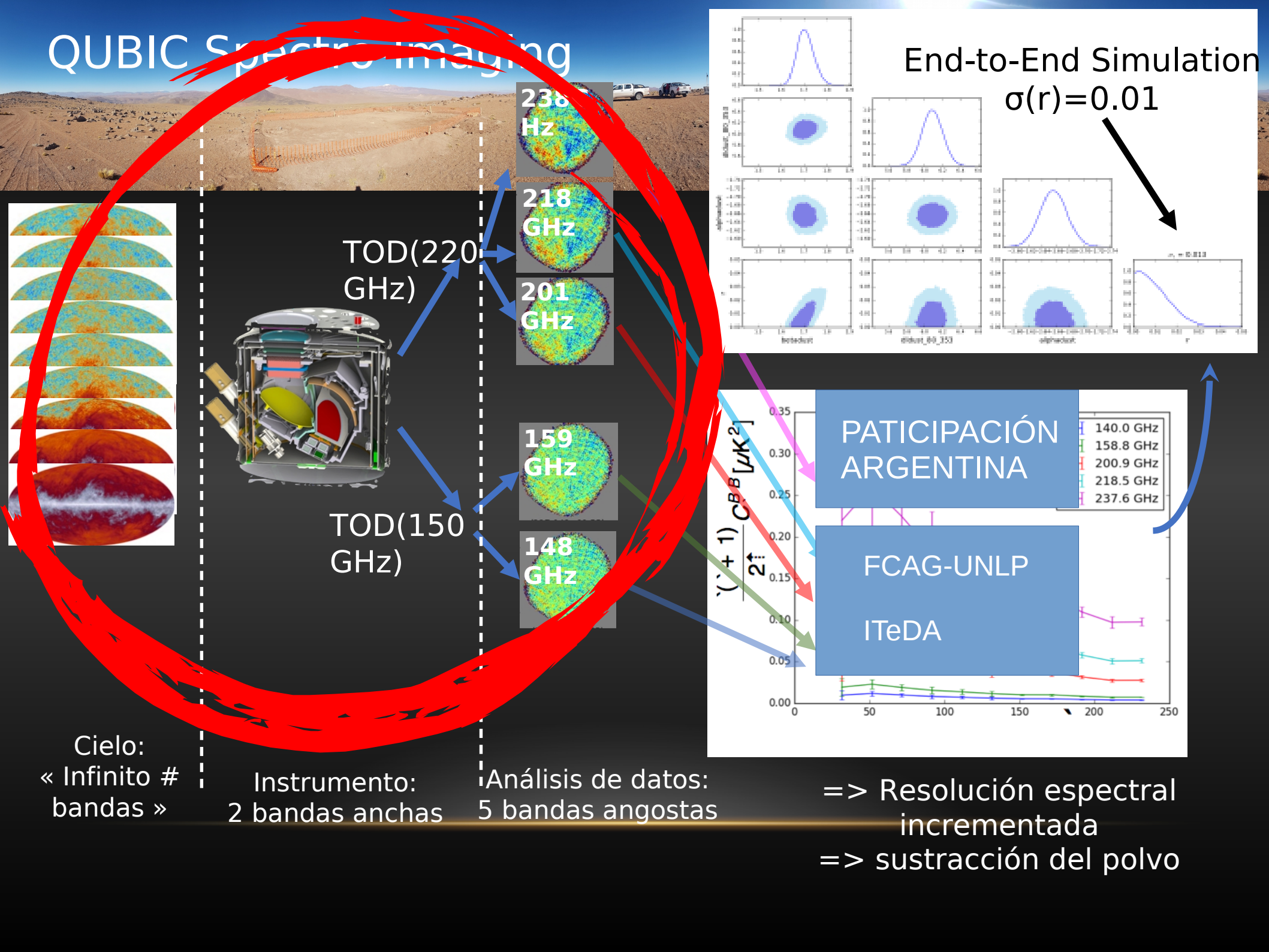
Cielo:
« Infinito # bandas »

Instrumento:
2 bandas anchas

Análisis de datos:
5 bandas angostas

=> Resolución espectral incrementada
=> sustracción del polvo

QUBIC Spectro-imaging



Calibración

Muy importante.
Varios pasos para lograrla

- **En el lab en París** (validación antes de envió):
- calibración standard:

Performance del detector, eficiencia polarimétrica, ejes principales

- **En el lab de integración** (Salta)

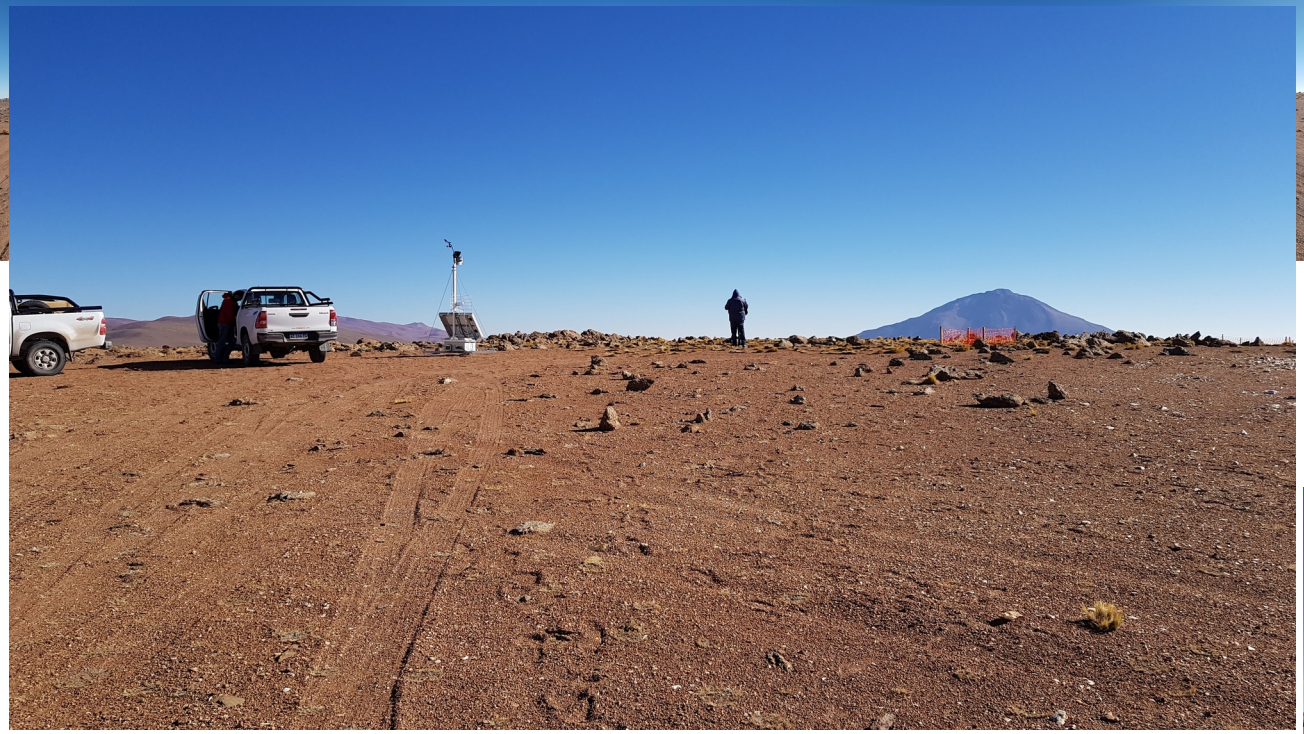
- **En el campo**:
- Simulador interno que ilumina el plano focal
- Torre de Calibración: fuente coherente en el campo lejano será observada durante una fracción de tiempo significativa del tiempo de auto-calibration, hecha en APC Paris
- Fuente en el cielo

Laboratorio de Integración – CNEA Salta

5 de mayo de 2019

Camino de acceso al sitio QUBIC

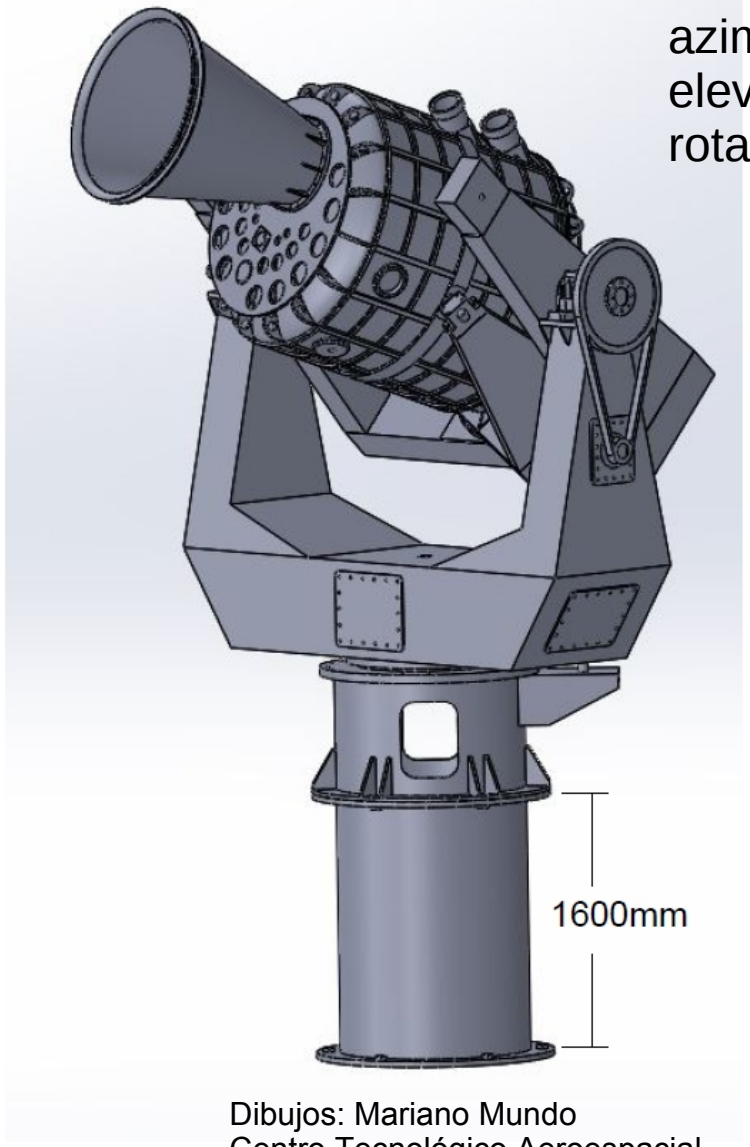
(diciembre de 2018)

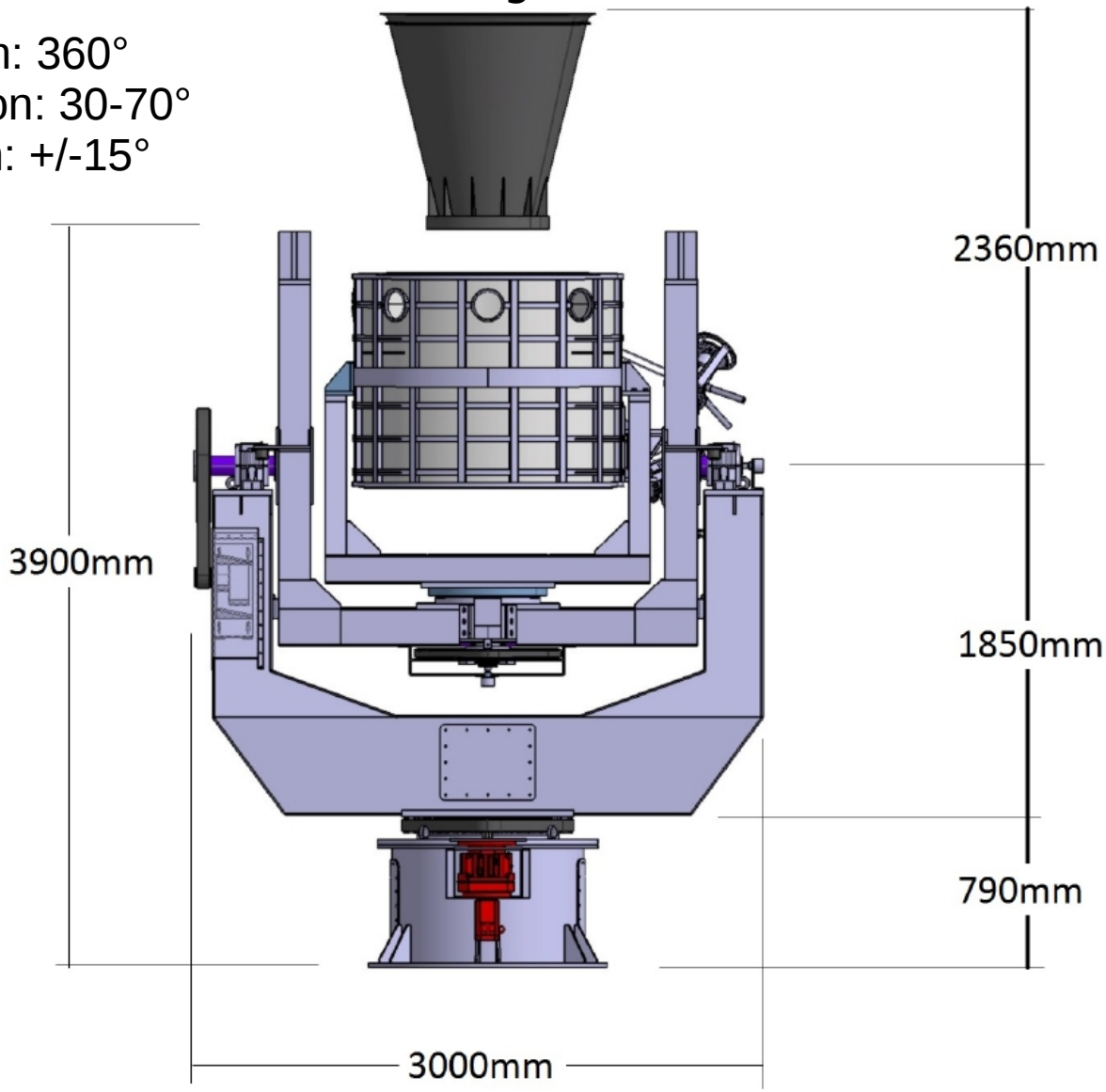


Montura

Montura Alt-Az con movimiento adicional de rotación en torno del eje óptico para tratar efectos sistemáticos. A ser fabricada en Argentina

azimuth: 360°
elevation: 30-70°
rotation: +/-15°

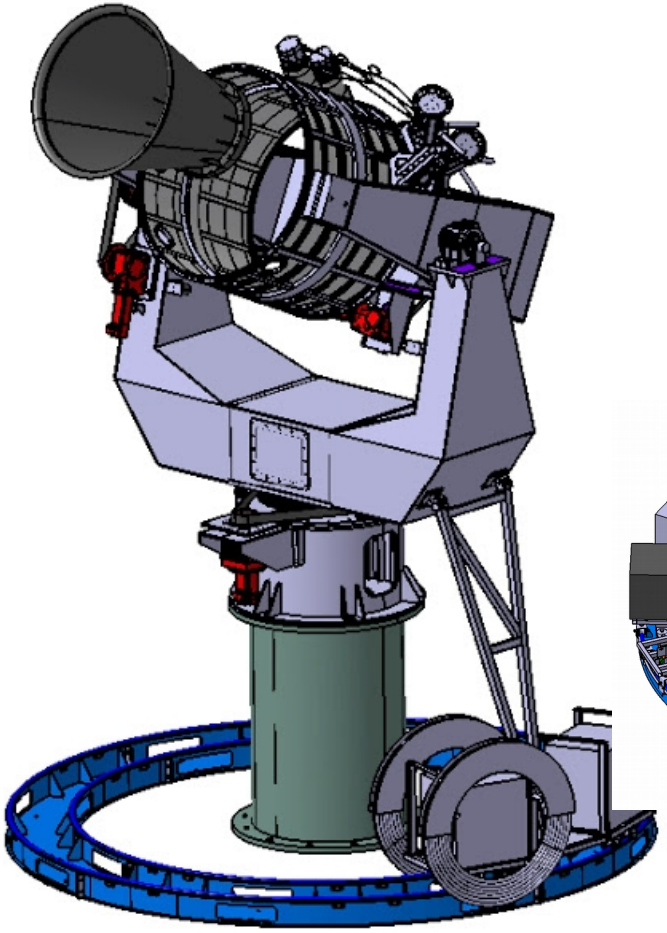


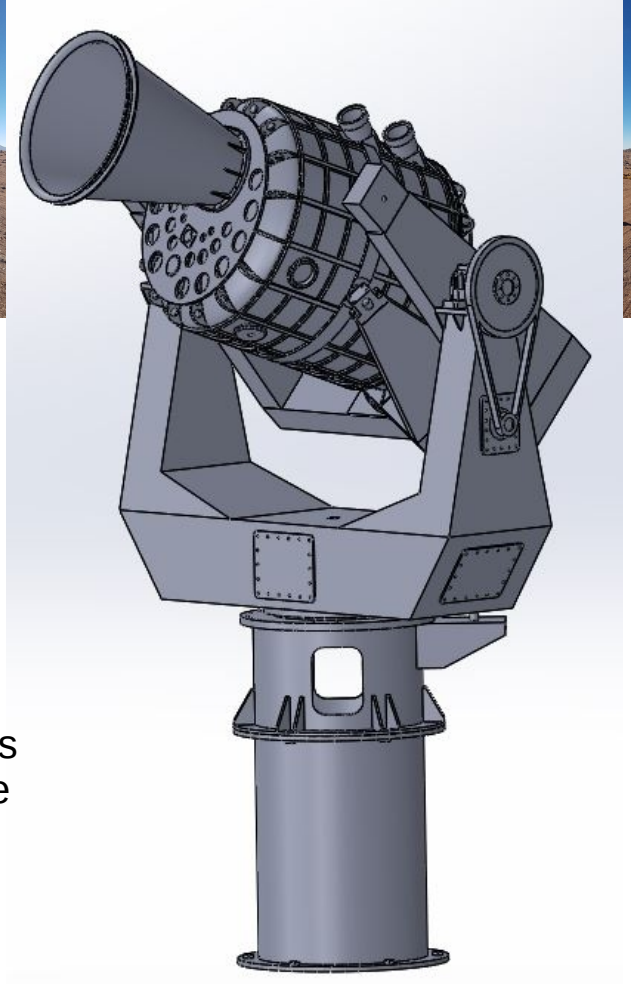


Dibujos: Mariano Mundo
Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados (UID-GEMA)

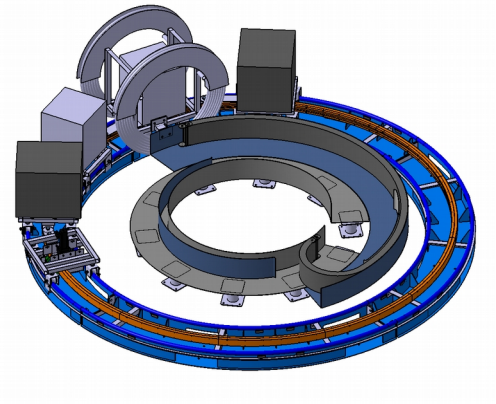
Montura

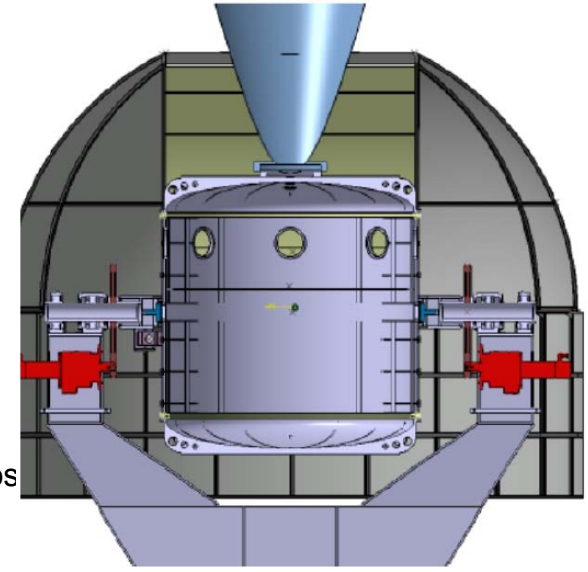
Montura Alt-Az con movimiento adicional de rotación en torno del eje óptico para tratar efectos sistemáticos.





Riel:
1 locomotora
2 para compresores
2 para rack 19" estándares para toda la electrónica de QUBIC que no esté directamente ligada al criostato

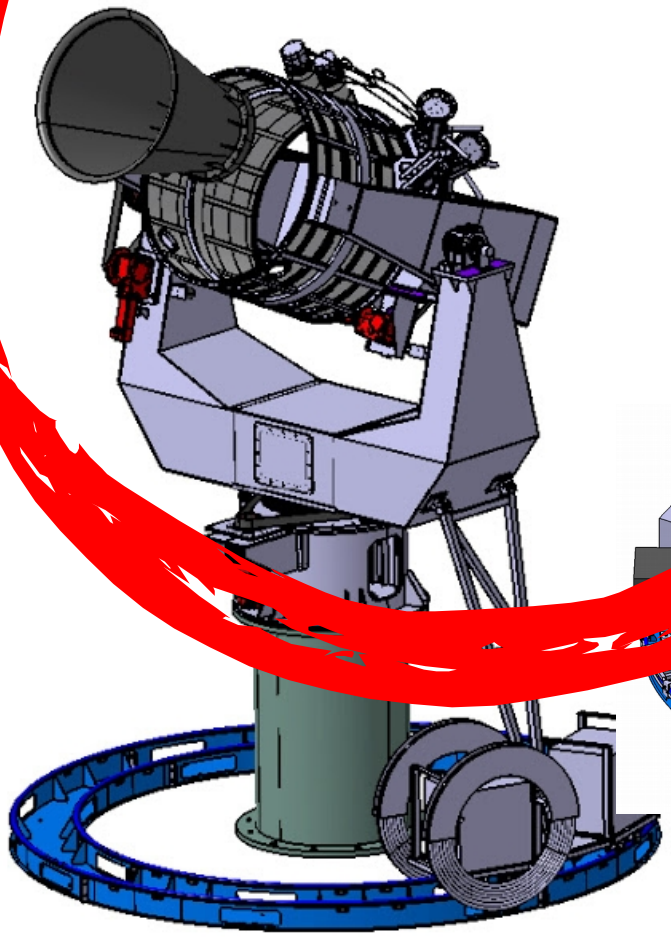




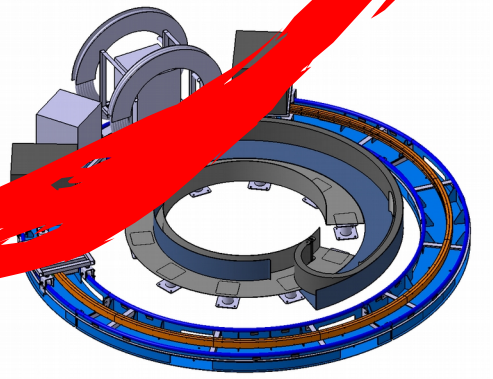
Dibujos: Mariano Mundo
Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados (UID-GEMA)

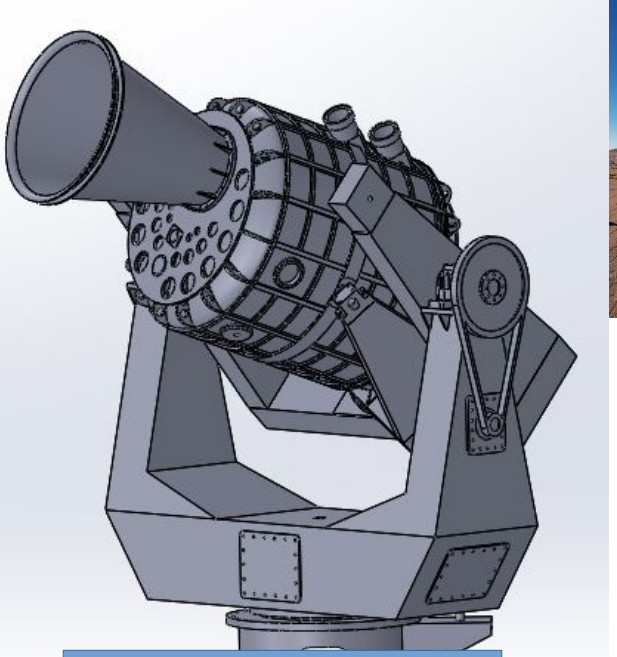
Montura

Montura Alt-Az con movimiento adicional de rotación en torno del eje óptico para tratar efectos sistemáticos.



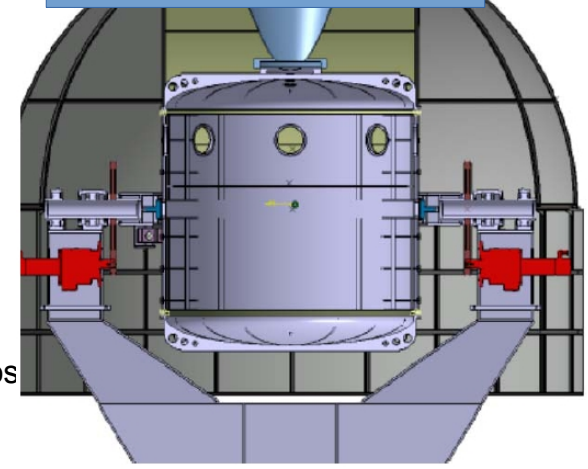
Riel:
1 locomotora
2 para compresores
2 para rack 19" estándares para toda la electrónica de QUBIC que no esté directamente linkeada al criostato





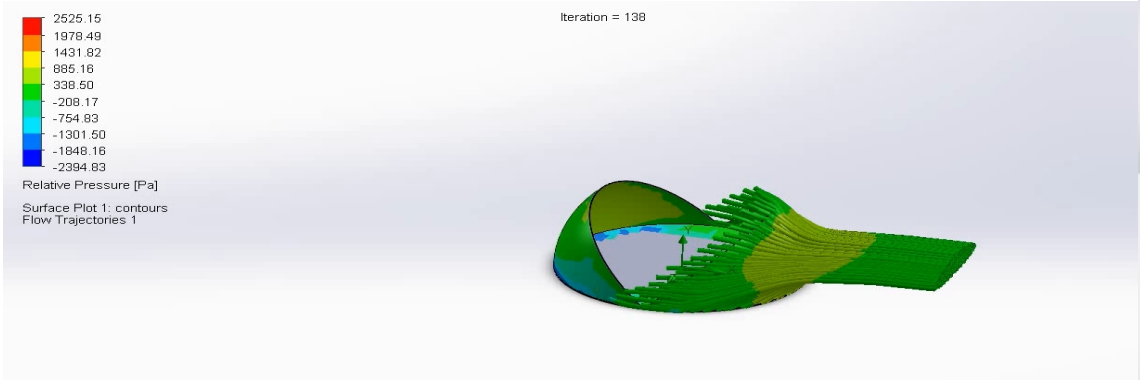
PATICIPACIÓN ARGENTINA

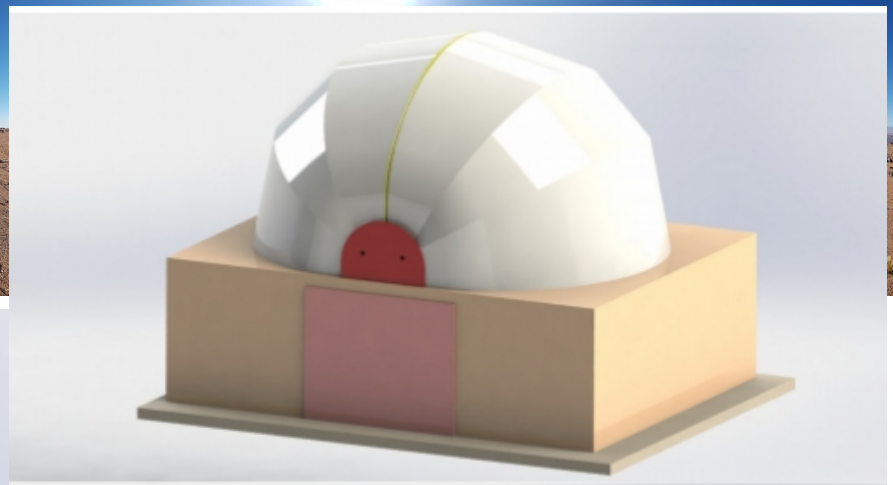
FACULTAD DE ING. UNLP ITeDA

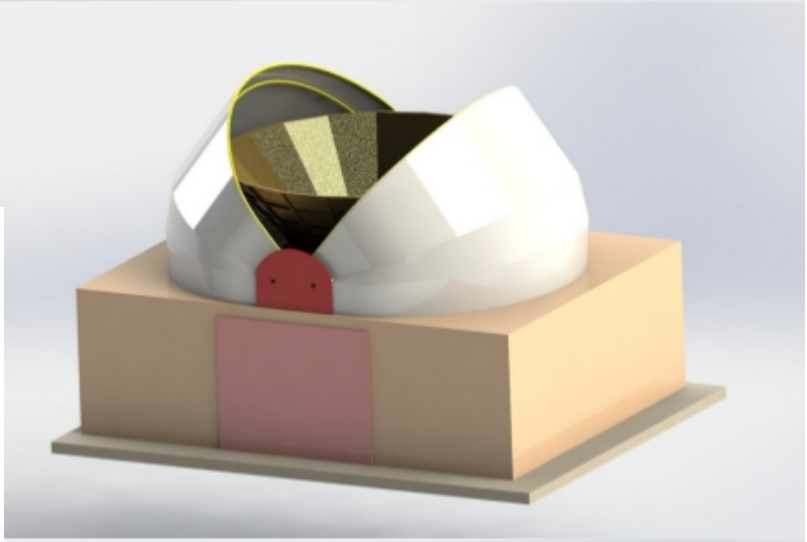


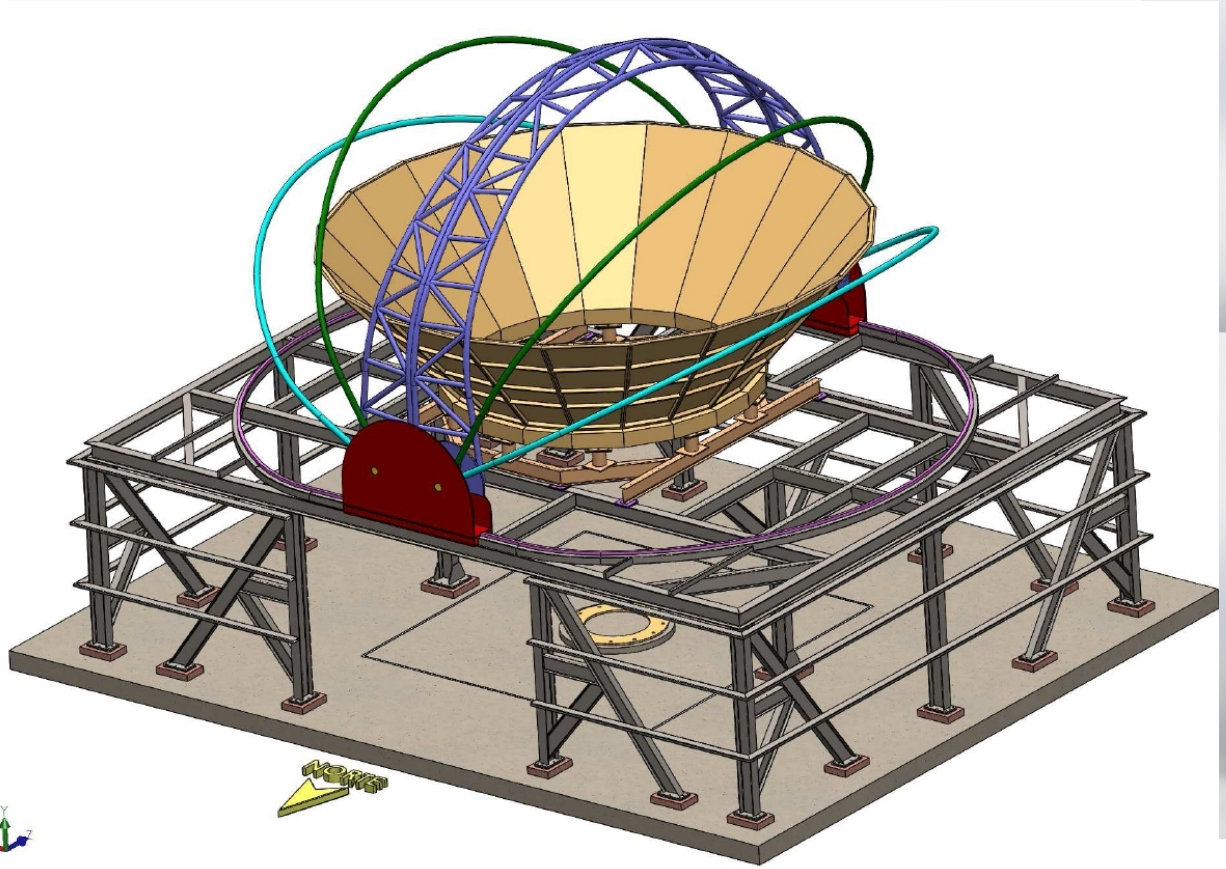
Dibujos: Mariano Mundo
Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados (UID-GEMA)

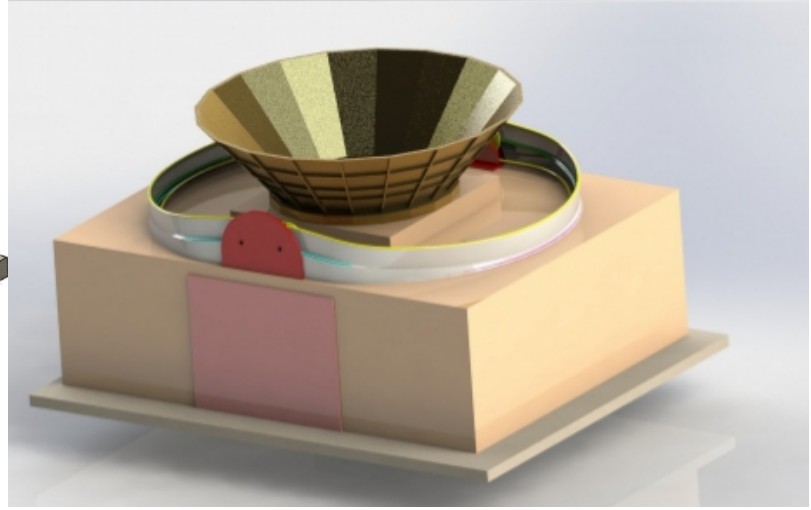
Shelter y domo

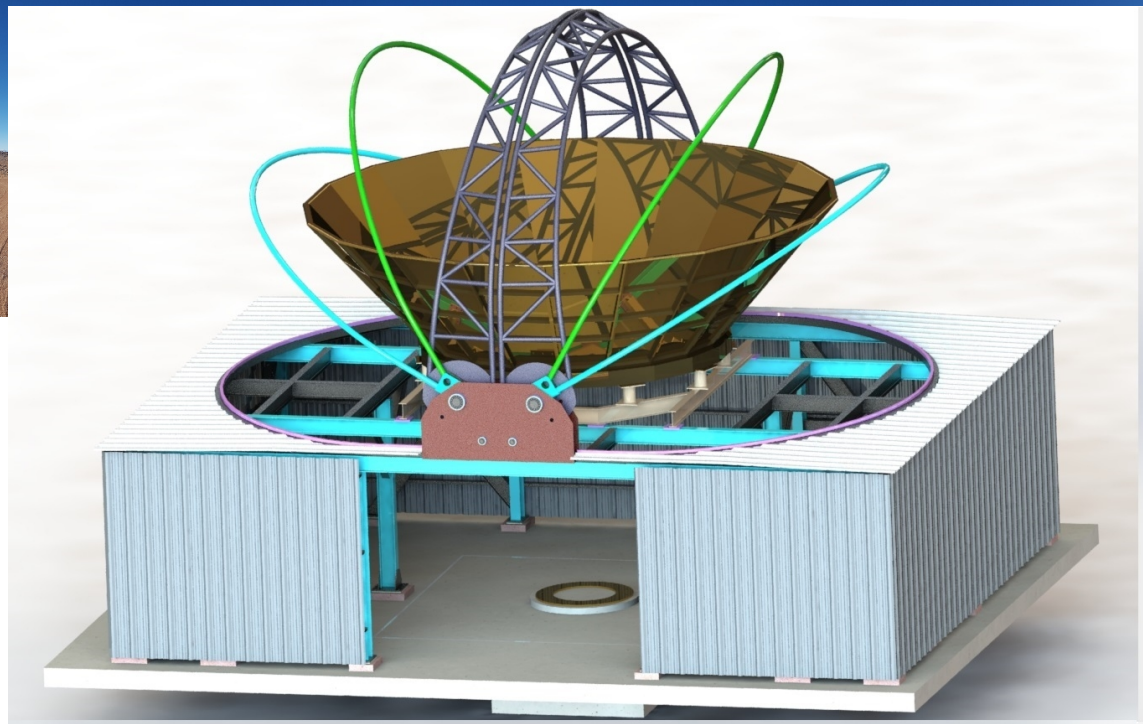


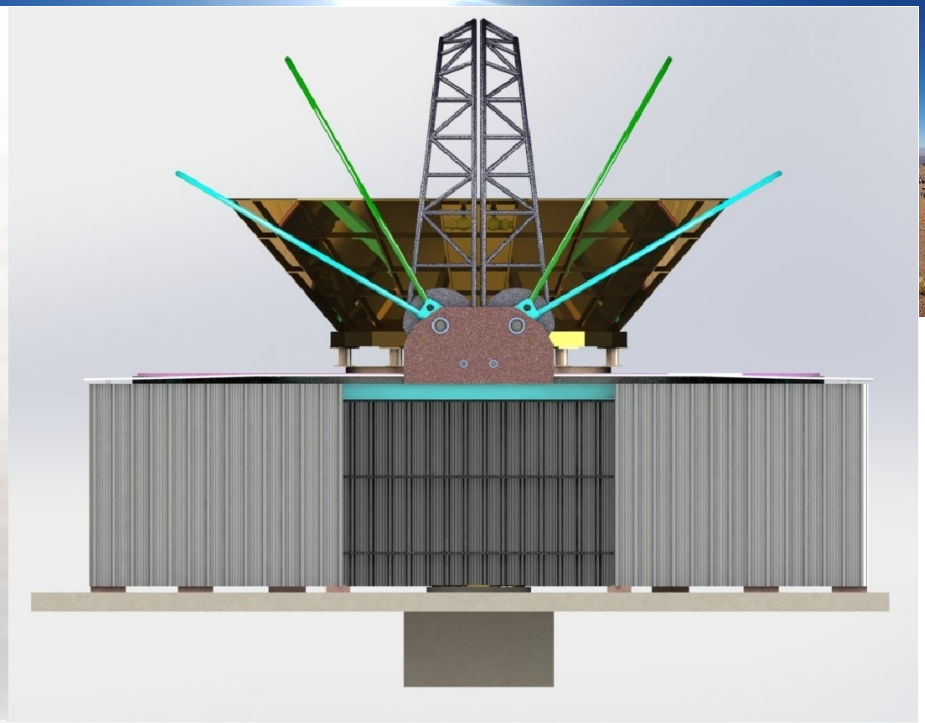


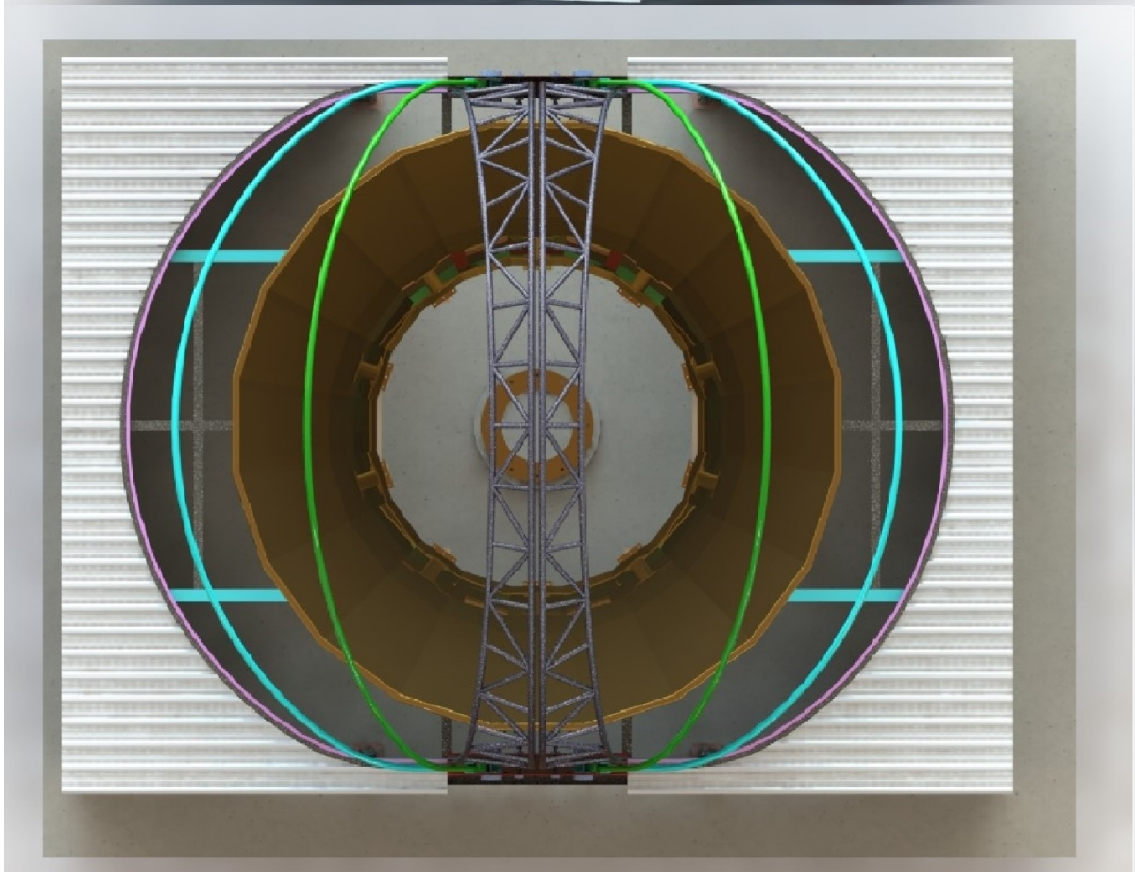


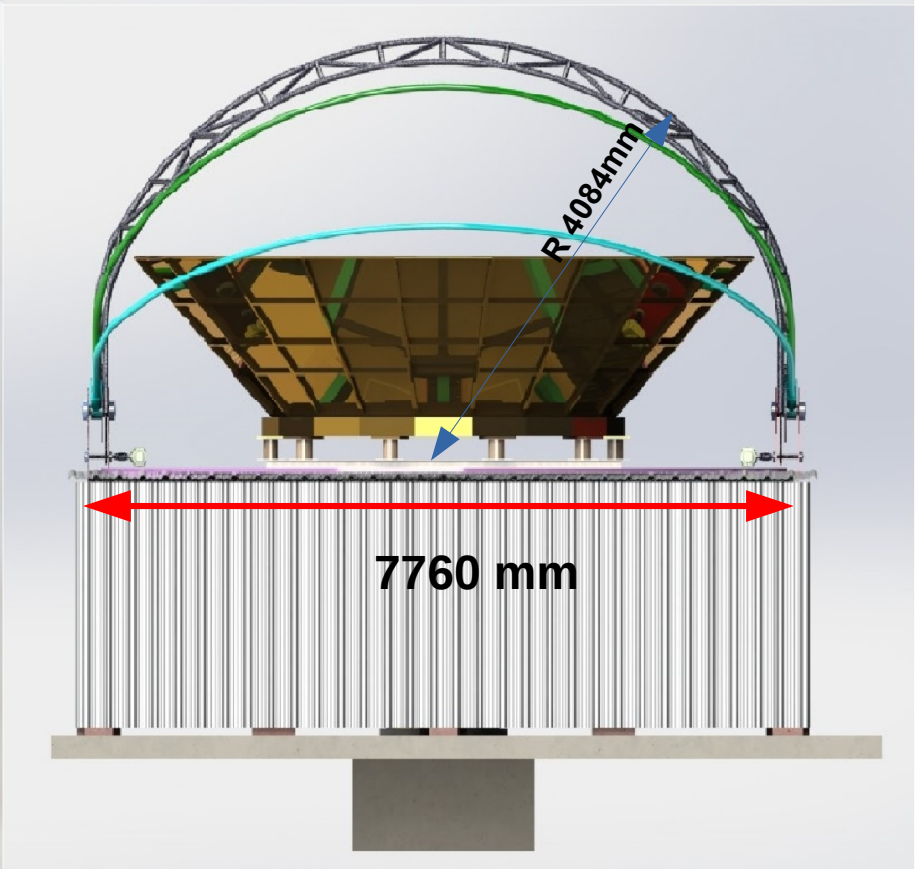


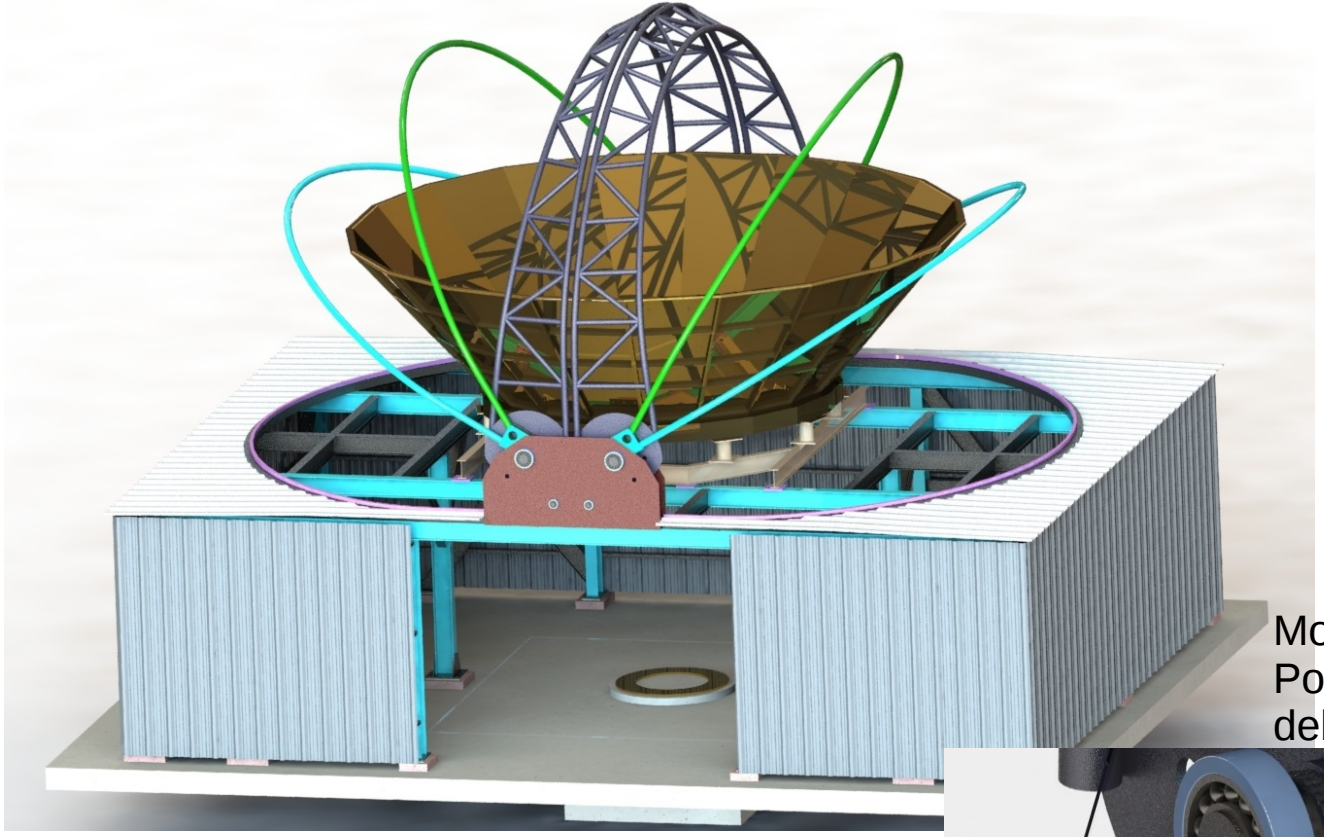






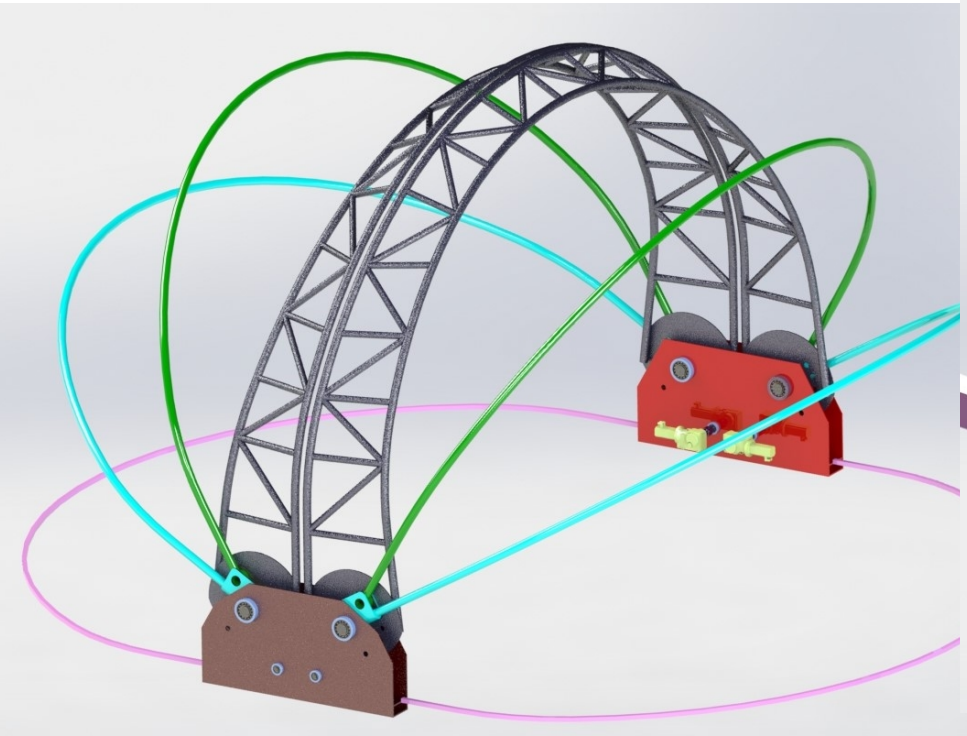


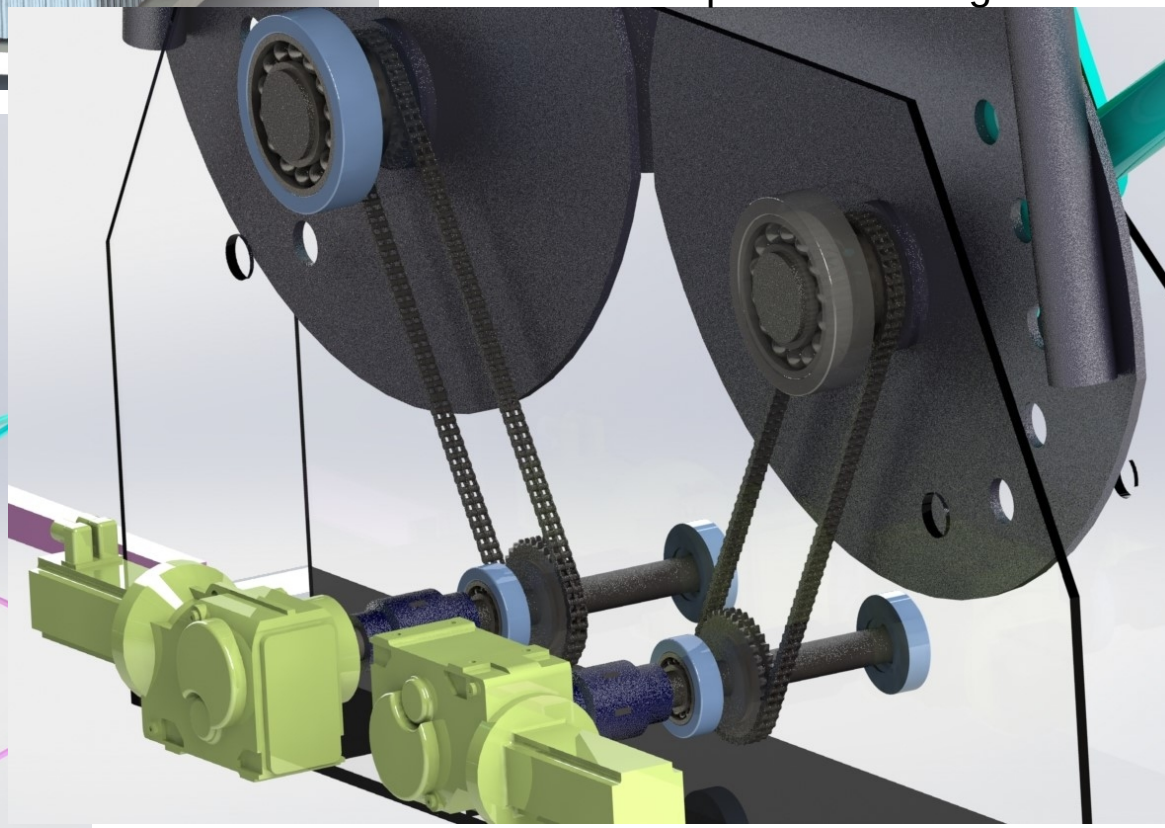

R 4084mm
7760 mm



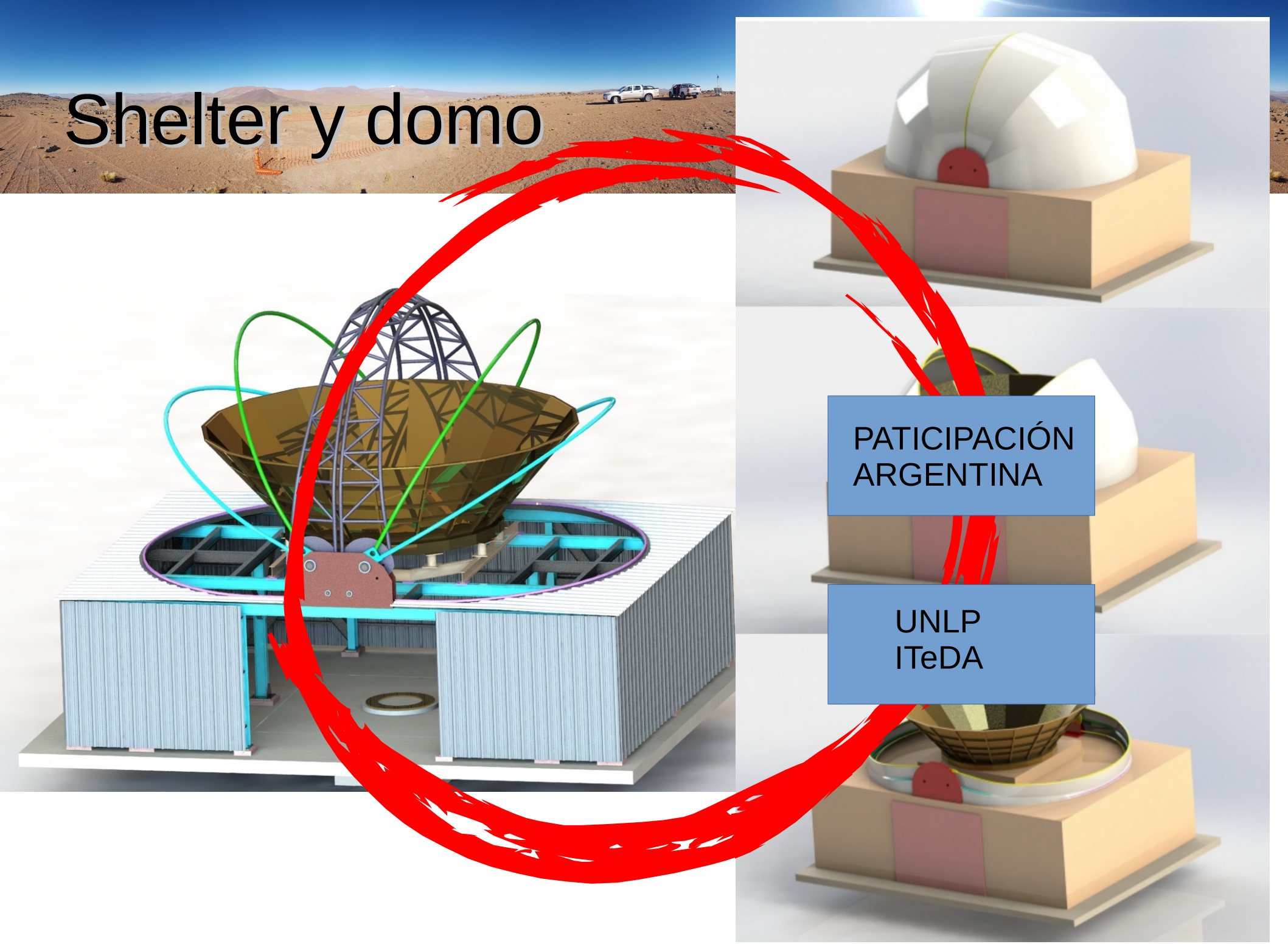
Shelter y Domo (detalles de movimiento)

Motorreductor: 0.5 rpm en el eje de salida
Potencia: 1,5 HP
debe vencer un torque de 2000 Kg.m



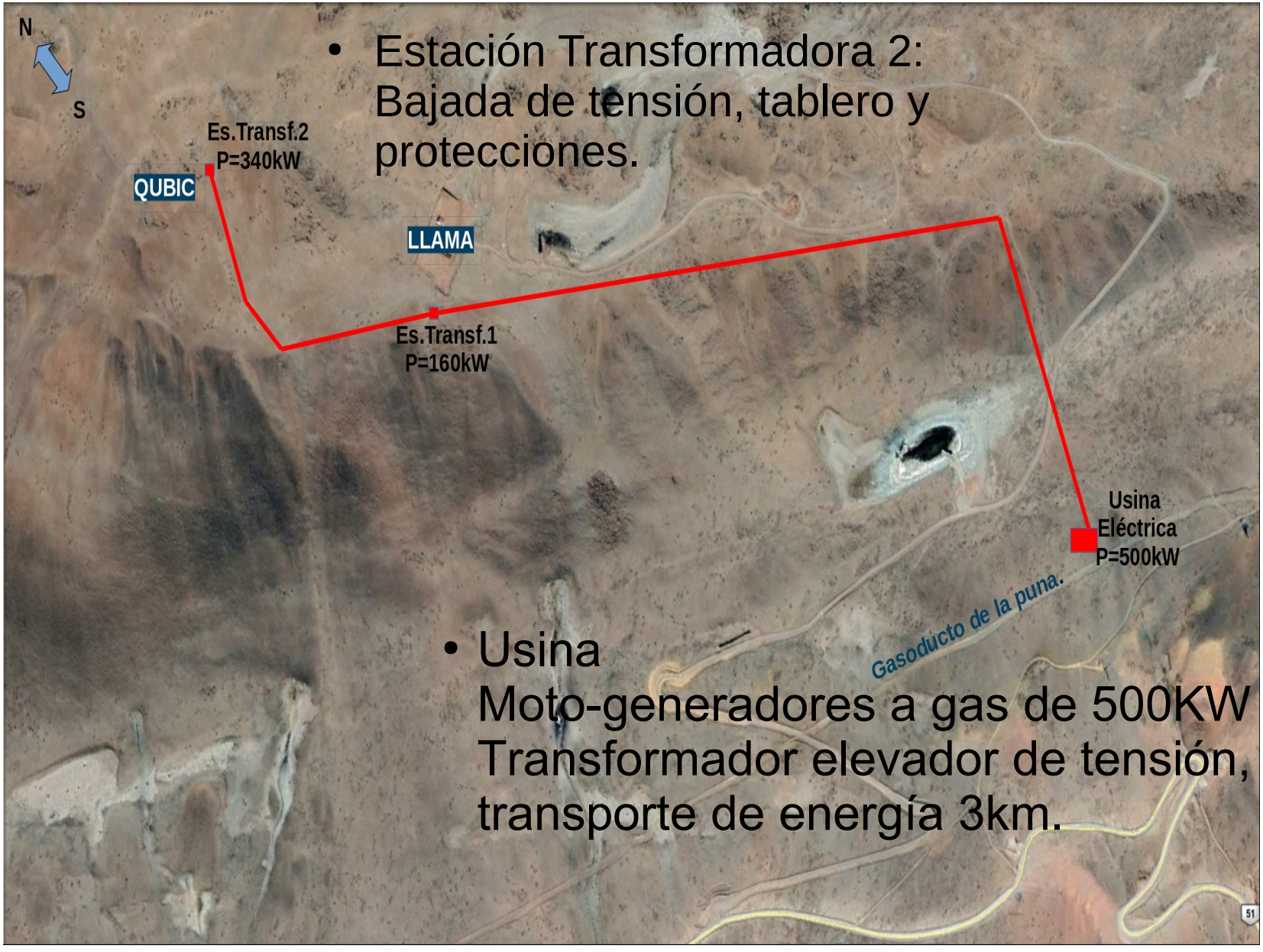


Shelter y domo



Sistema de Potencia QUBIC

Sistema de Generación Primaria

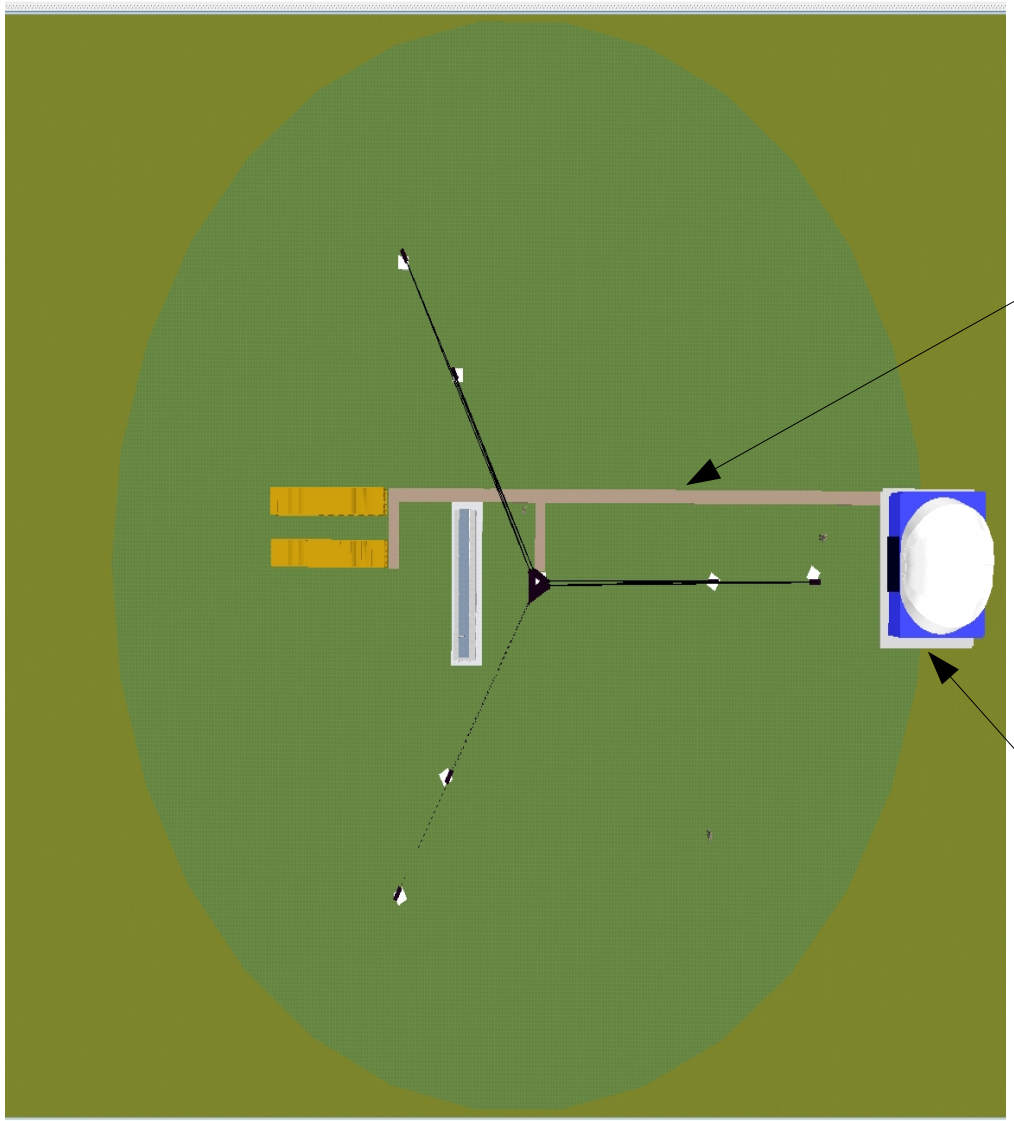


- Estación Transformadora 2: Bajada de tensión, tablero y protecciones.

- Usina
  Moto-generadores a gas de 500KW
  Transformador elevador de tensión, transporte de energía 3km.

Sistema de Potencia QUBIC

Distribución de energía en el sitio



-Tablero general, distribución de energía a edificios de telescopios por medio de cable subterráneo con protección mecánica.

-Tablero secundario en edificio, protecciones, UPSs, distribución de energía interna en el edificio de telescopio.

Comunicaciones QUBIC

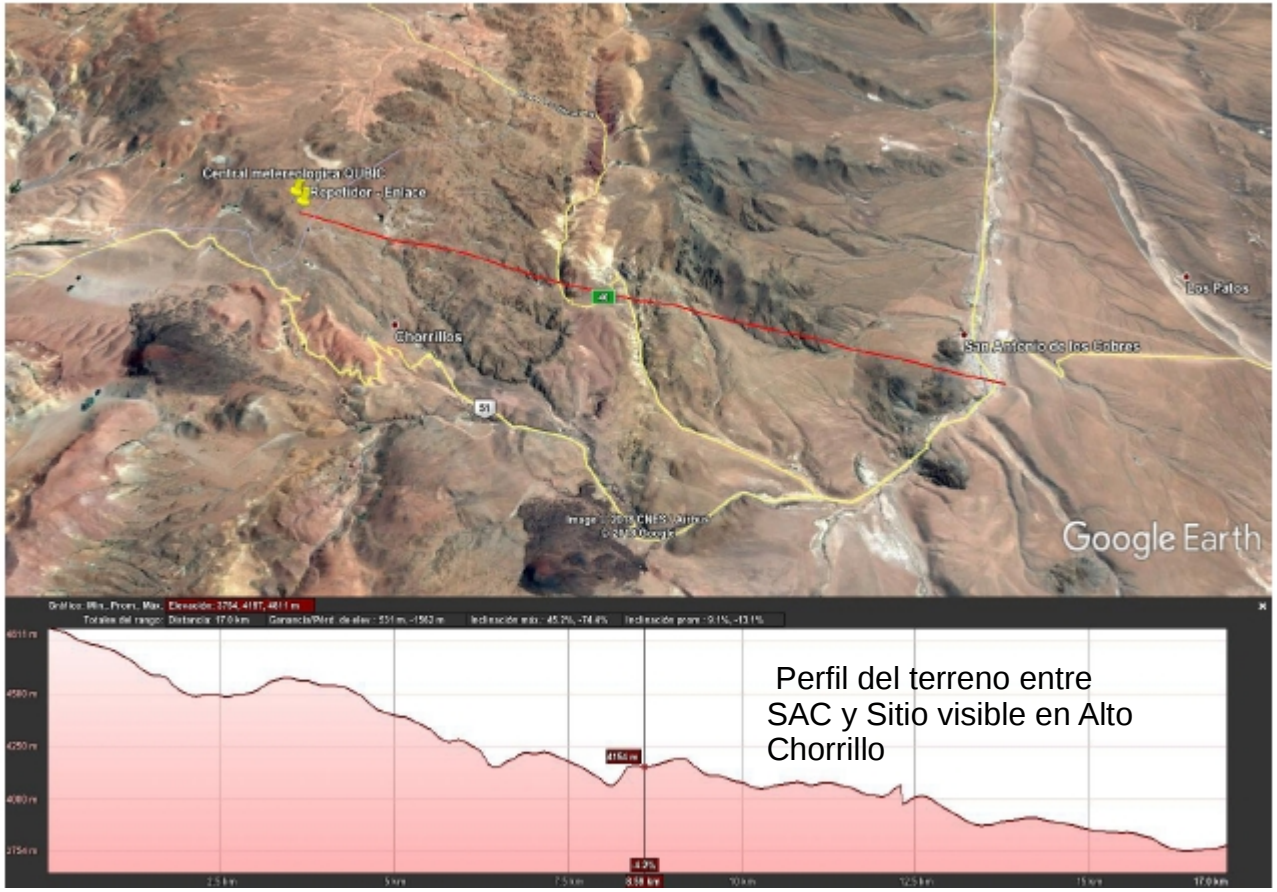
Se planteó como condición inicial contar una conexión de 5 Mbps simétricos dedicados. Se propusieron dos alternativas:

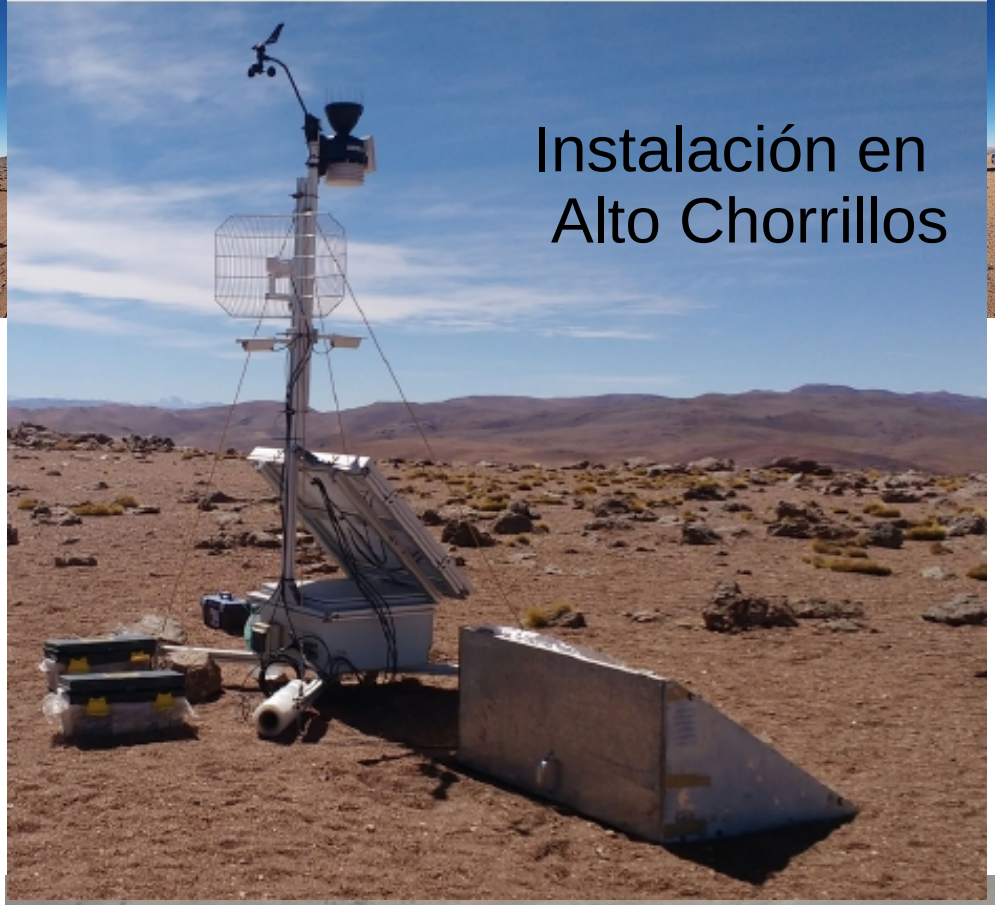
1. Utilizar la torre de calibración de 48m para ubicar equipos de un proveedor de la zona, hasta el momento es la opción más viable y estudiada.

2. Colocar el receptor del servicio en SAC y llevar la comunicación inalámbrica desde allí hasta el sitio.

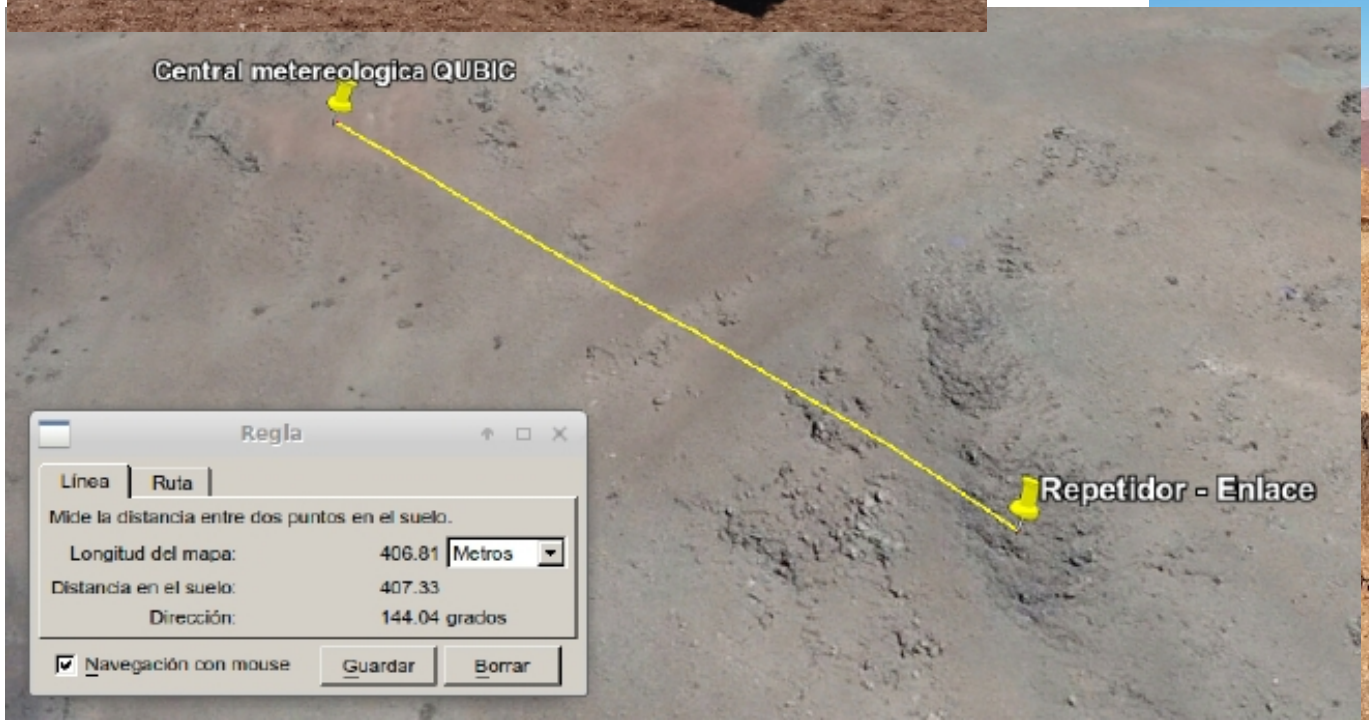
Distancia con el sitio: 16.8Km
Perfil SAC-Alto Chorrillo: apto.

Es necesario proyectar mayor infraestructura en San Antonio de los Cobres: una torre adicional y un shelter de comunicaciones en SAC.



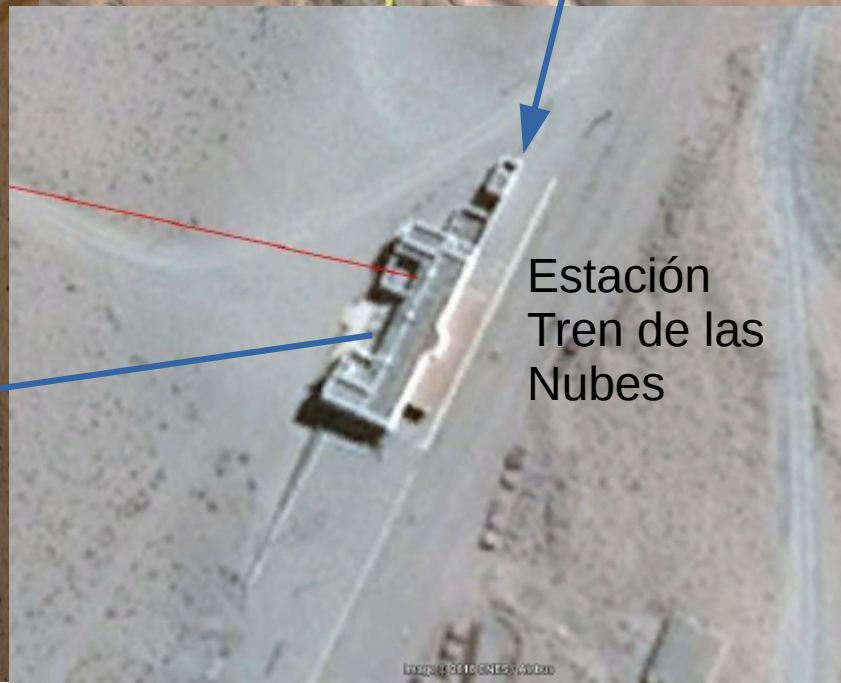


Pruebas con el enlace del comunicaciones de la estación meteorológica.



Enlace Secundario Sitio QUBIC - Estación SAC

La conección con SAC es a través de un proveedor local que brinda acceso a los datos.



Estación Tren de las Nubes

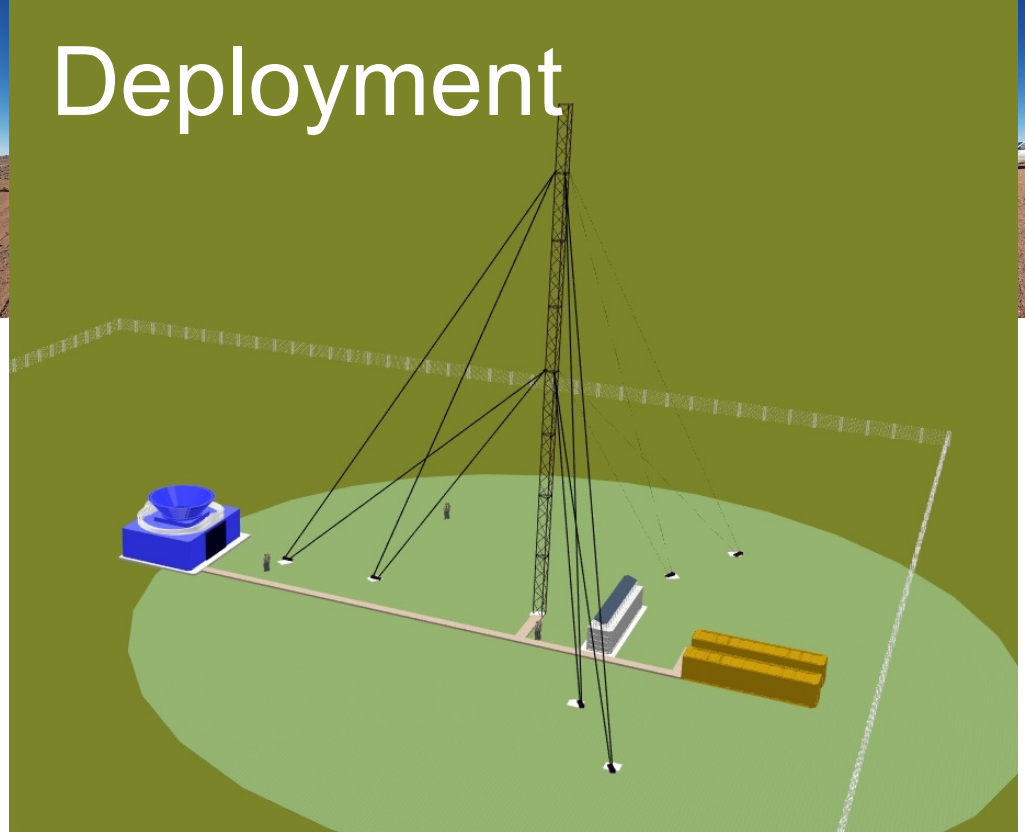
Webcam-Sur Alto Chorrillos

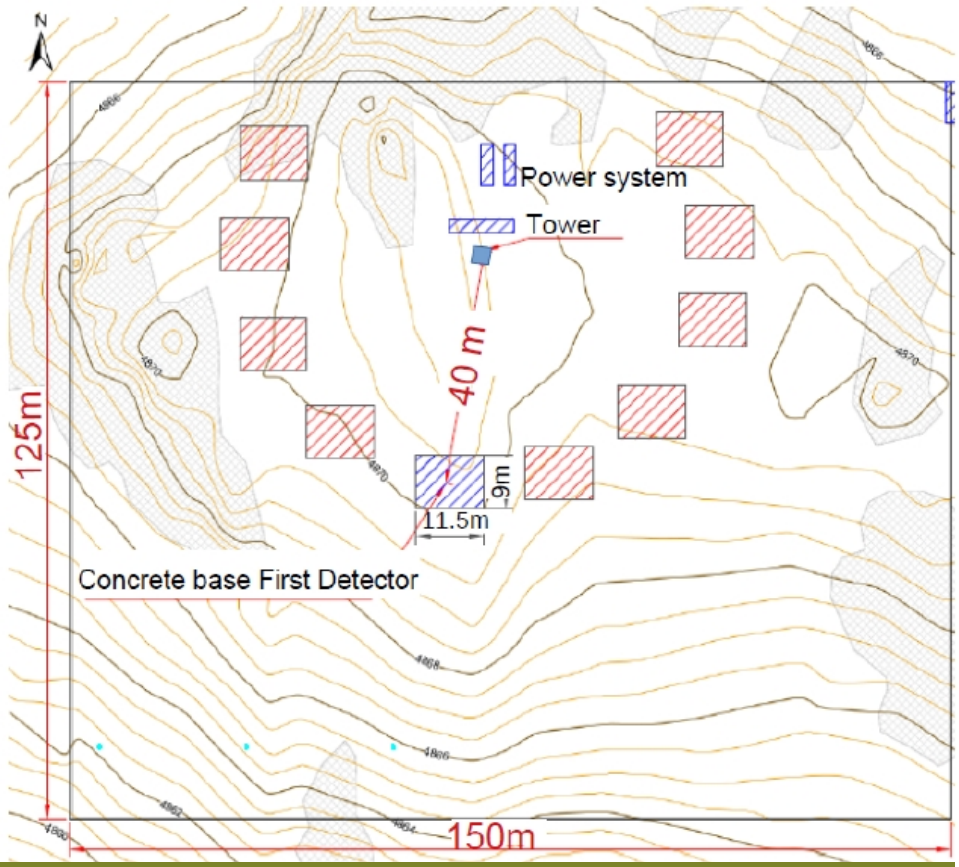
29 de noviembre de 2018

Webcam-Sur Alto Chorrillos

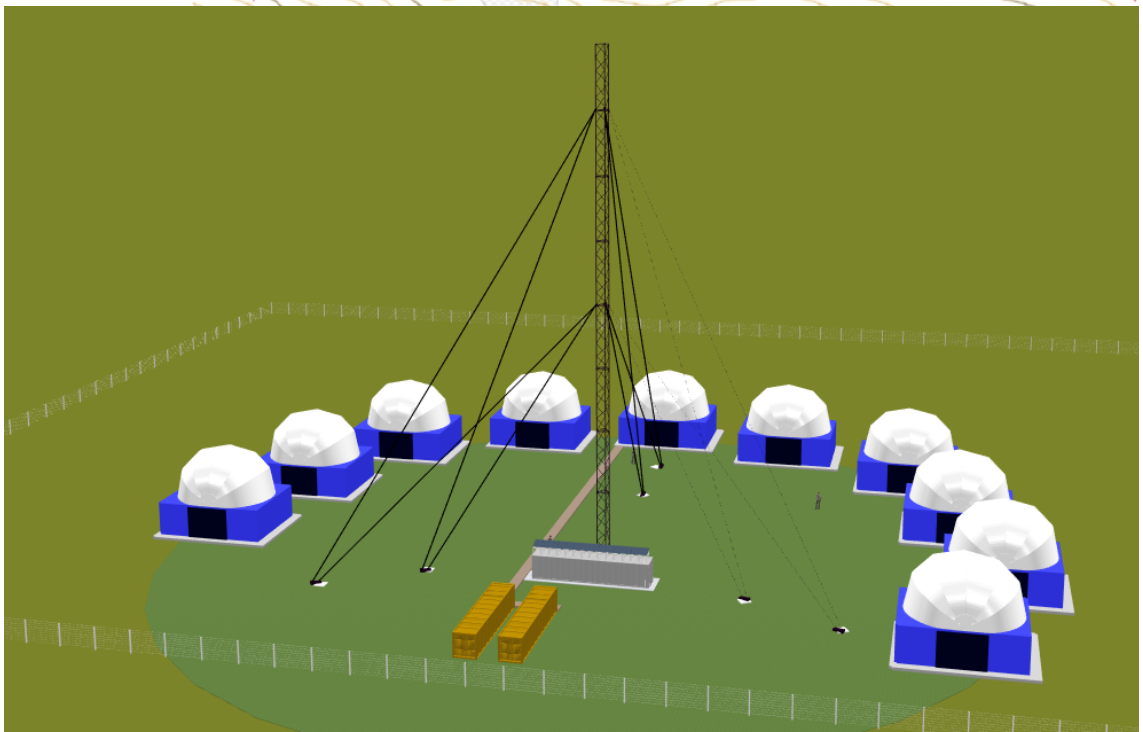
03 de
enero
de 2018

Deployment





Módulo	Frec (GHz)	Comienzo	Fin
1	150/220	2017	2025
2	150/220	2019	2025
3	90	2020	2025
4	120	2021	2025
5	220	2022	2025
6	90	2023	2025



Cronograma: 3 pasos

- Testeo del Plano focal: 2016
  - ★ 256 TES en Lab
  - ★ 128:1 Multiplexado

→ **Validación** de la Cadena de Detección ✔

- Demostrador Tecnológico: Fines 2018
  - ★ Criostato nominal
  - ★ Arreglo de 8x8 horns
  - ★ Espejos reducidos
  - ★ 256 TES / frecuencia
  - ★ Testeo en Laboratorio

→ Validación de la tecnología ✔

- QUBIC 1er Módulo: 2019
  - ★ Arreglo de 400 horns
  - ★ Espejos nominales
  - ★ 1024 TES / frecuencia
  - ★ Testeo en Lab
  - ★ Instalación en el sitio y operación

→ Búsqueda de modos B $\sigma(r) = 0.01$ en 2años ✔

QUBIC Argentina

Comité Directivo

Diego Harari (CAB)
Gustavo Romero (IAR)
Alberto Etchegoyen (ITeDA)
Beatriz García (ITeDA)

Site Project Manager: Christian Kristukat
(USAM, ITeDA

LLAMA

Juan Larrarte
(IAR, Coordinación
Con LLAMA)

43 miembros:
investigadores, ingenieros,
técnicos, estudiantes.

Working Groups

WP-A1: Sitio: B.Garcia, ITeDA.
WP-A2: Lab de Integración: Diego Fracchia CNEA/Salta, ITeDA.
WP-A3: Montura: Pablo Ringegni, GEMA, UNLP.
WP-A4 Transporte: Romina Campana, ITEDA.
WP-A5: Detectores: Juan Bonaparte, CAC, CAB, CNEA.
WP-A6: Data Analysis: Claudia Scóccola, FCAG-UNLP.

QUBIC-Argentina

- **Instalación en Argentina de un experimento de frontera en cosmología.**
  Interferometría bolométrica: técnica novedosa para controlar sistemáticos.
  Participación argentina (IAR, ITeDA, CAB, IB, IAFE, UNLP) en importante colaboración internacional (Francia, Italia, UK, USA).

- **Potenciación del sitio de Alto Chorrillo:**
  un paso adelante para consolidar nuevo polo científico/astronómico en el país e donde tambíen esta LLAMA.

- **Alta exposición internacional:**
  Medición de modos B primordiales tendría enorme repercusión pública internacional (como demostró el anuncio prematuro de 2014).

- **Formación de recursos humanos: novedosas tecnologías de detección y desarrollo de soft**
  Transition Edge Sensors, Microwave Kinetic Inductance Detectors, soft pipeline

5 Tesistas de doctorado

Conclusiones

QUBIC es un novedoso concepto instrumental

★ Un interferómetro bolométrico optimizado para manejar sistemáticos (auto-calibration)

- la interferometría ofrece un control mejorado de la sistemática instrumental a través de la observación de franjas de interferencia que se pueden calibrar individualmente

★ Dedicado a la polarimetría del CMB y a la física de la inflación

- Tópico de alto impacto en física fundamental: Universo temprano, origen de estructuras

★ Alta sensibilidad con ~2000 bolómetros TES

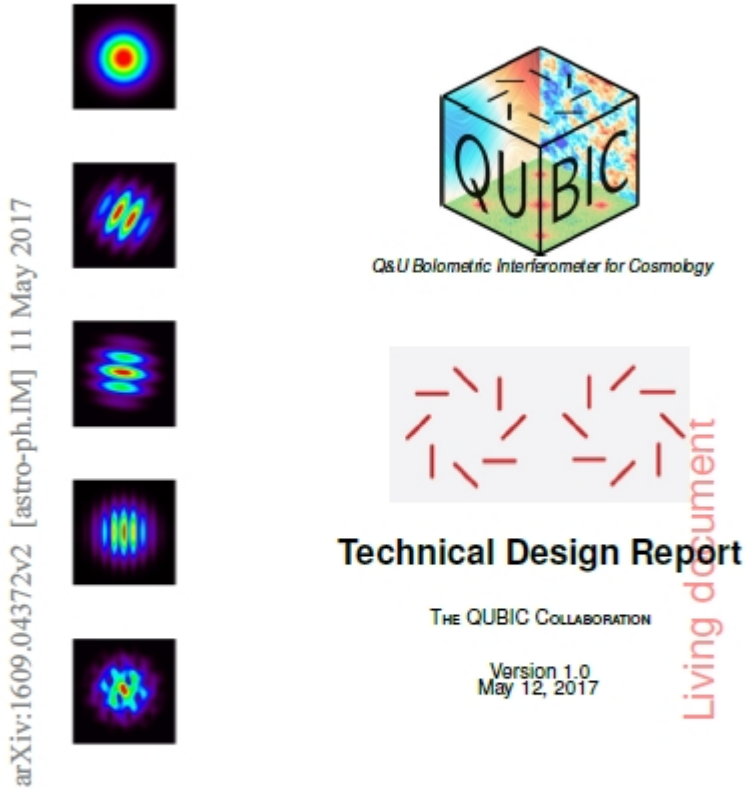
- Sensibilidad con el1er módulo: $\sigma(r) = 0.01$ (incl. polvo + eff.)

★ Banda Dual (150 / 220 GHz): ~ 5 sub-bandas en cada una

- Discriminación entre la emisión polarizada del polvo galáctico de aquella relacionada con el modo B primordial. (mejor resolución espectral)

★ Ubicación: San Antonio de los Cobres, instalación en 2019

- Logistica ya organizada y en marcha (sitio listo a fines de 2019)



Muchas Gracias

Presupuesto

		Cost	Available	Missing	Who ?
QUBIC Instrument	Instrument (no Mount)	1 820 000 €	1 550 000 €	270 000 € (Detection Chain + Source)	IN2P3 / INSU
	Mount	500 000 € (est. NIKHEF)	300 000 € (NIKHEF OK)	200 000 €	Argentina ?
	Total	**2 320 000 €**	**1 850 000 €**	**470 000 €**	**Netherlands / Other ?**
QUBIC Exploitation	Logistics (Dôme C)	~ 750 000 €		~750 000 €	IPEV / PNRA Other site (Argentina) ?
	Scientific Exploitation	450 000 €		450 000 €	ANR / Other ?
	Total	**1 200 000 €**		**1 200 000 €**	
Total	Total	3 520 000 €	1 850 000 €	1 670 000 €	