



Desarrollo de componentes criogénicos para receptores de radioastronomía en el Observatorio de Yebes

Isaac López-Fernández, Juan Daniel Gallego, Carmen Diez,
Inmaculada Malo, Ricardo I. Amils

Observatorio de Yebes (CDT-IGN), Spain

Grupo de Amplificadores del Observatorio de Yebes

- Involucrados en el desarrollo de amplificadores criogénicos desde hace más de 30 años
- Grupo de desarrollo, no somos un servicio como tal de la ICTS de Yebes...
- Grupo líder en Europa, cientos de unidades funcionando en los mejores instrumentos
- Más demanda de la que podemos (y queremos satisfacer) → transferencia a la industria de nuestros diseños
- Involucrados en el desarrollo de transistores y MMICs criogénicos (colaboración con las foundries existentes)
- Laboratorio de referencia para medidas de ruido criogénico
- Desarrollo de componentes pasivos criogénicos únicos con prestaciones en el estado del arte



Juan Daniel Gallego



Isaac López-Fernández



Carmen Díez



Inmaculada Malo



Ricardo I. Amils



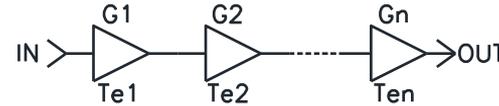
Alberto García

- + Rafael García (machining)
- + Gonzalo Martínez (assembly)
- + José Manuel Hernández (gold plating)

El amplificador criogénico de muy bajo ruido (CLNA)

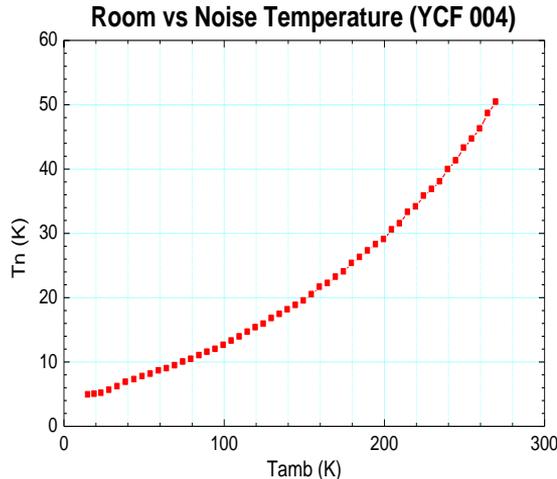
- El CLNA es el elemento crítico en la sensibilidad de un receptor heterodino
La contribución al ruido de una cadena receptora se divide por la ganancia del primer amplificador

$$T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1} + \dots + \frac{T_{en}}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$$

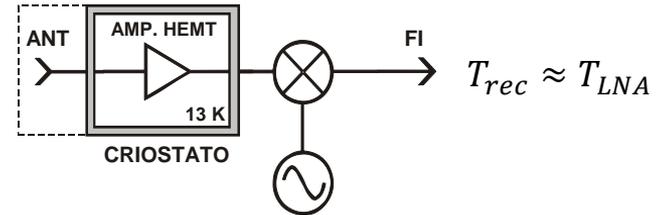


- La temperatura de ruido de un CLNA disminuye un orden de magnitud a 15 K

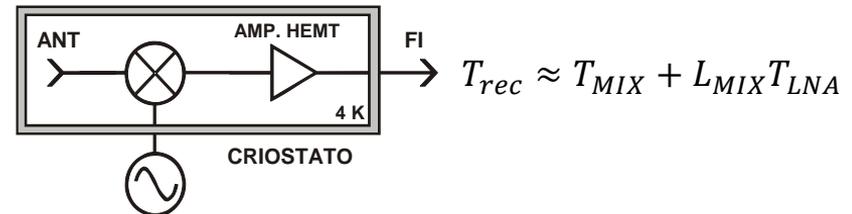
➡ **Esenciales en receptores radioastronómicos**



$f < 100$ GHz
Entrada por
amplificador HEMT



$f > 100$ GHz
Entrada por
mezclador SIS/HEB



Background

Background

Applications of Yebes CLNAs in Radio Astronomy

Herschel - HIFI



IRAM – PV



Arecibo +2020



ALMA - Atacama



SMA – Mauna Kea



IRAM - NOEMA



Other applications of Yebes CLNAs

- Investigación en física fundamental
 - Detectores de alta sensibilidad para física de altas energías
 - Computación cuántica (qbits)
- Deep Space Network (ESA)
- Estudios atmosféricos



Yebe amplifiers portfolio

Amplificadores más representativos 0.1-120 GHz (resultados hasta 2019)

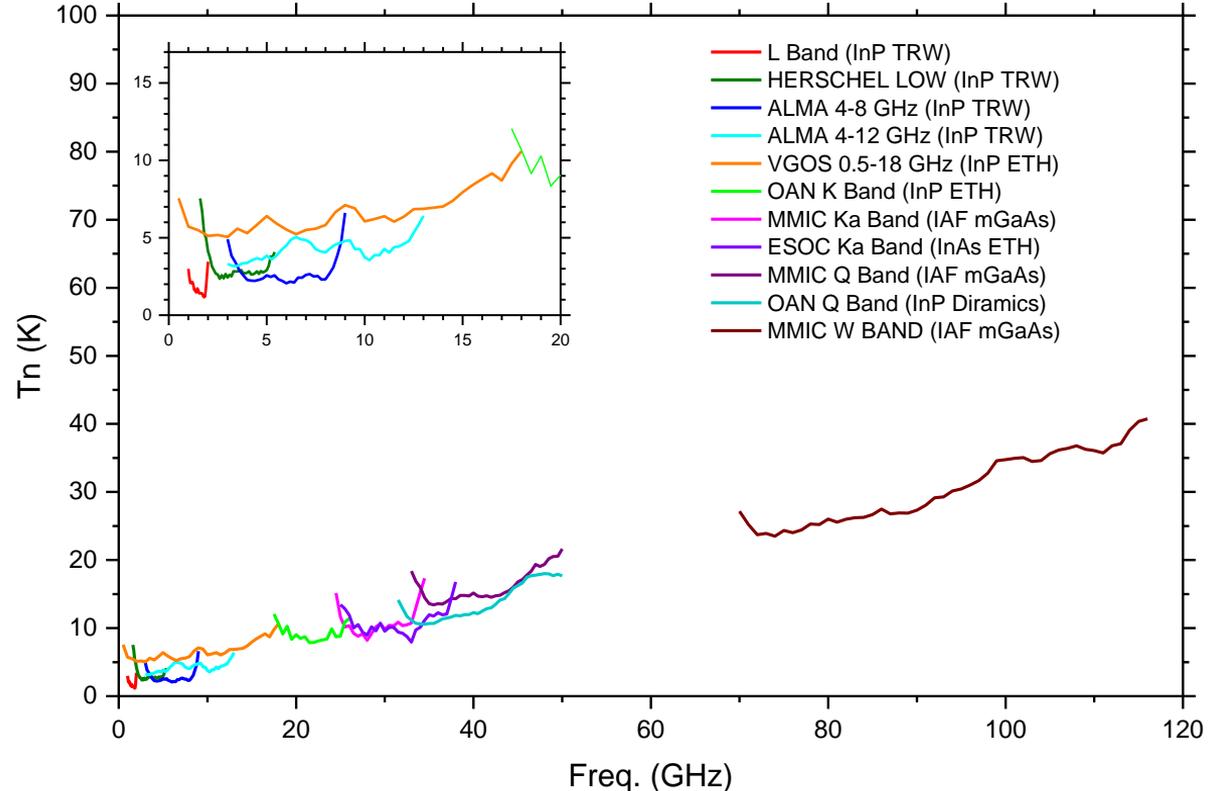
Estado del arte alrededor de 5 veces el límite cuántico:

$$T_{min} = \frac{h \nu}{k}$$

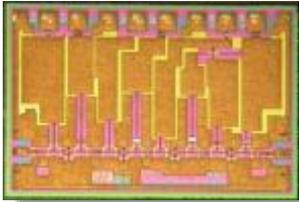
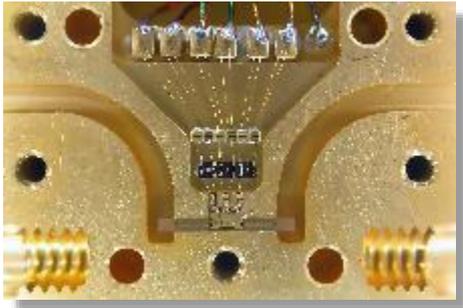
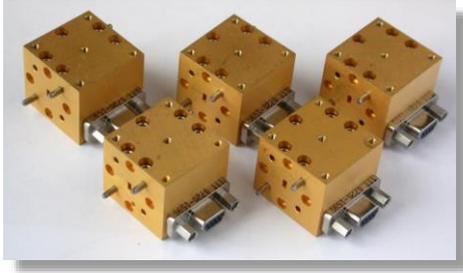
Dependencia ruido – frec.:

0.25 – 0.3 K/GHz

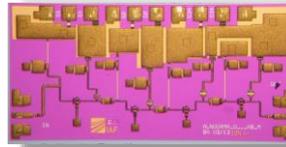
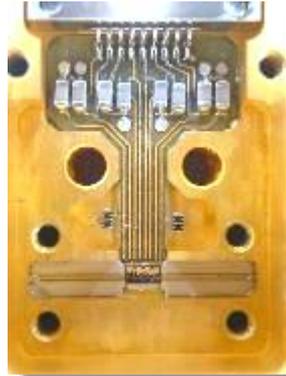
Noise Temperature of various YEBES amplifiers ($T_{amb}=15K$)



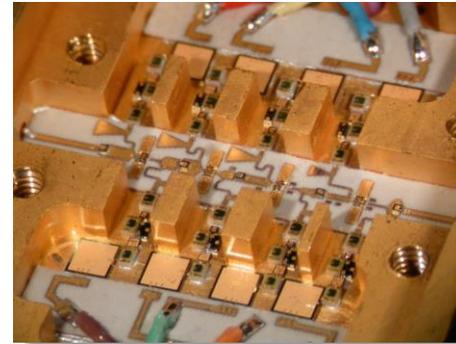
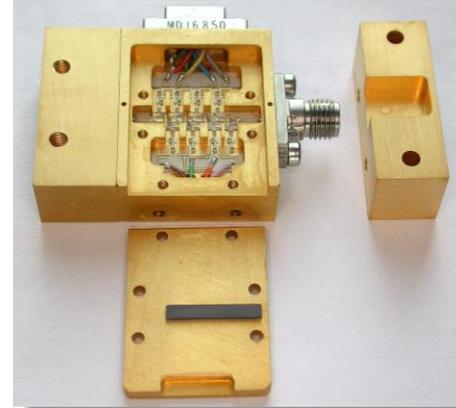
W Band



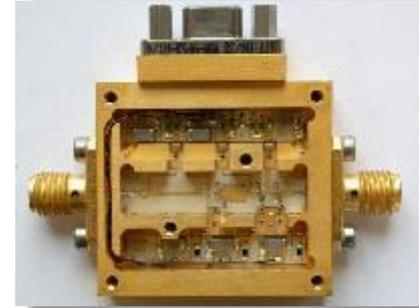
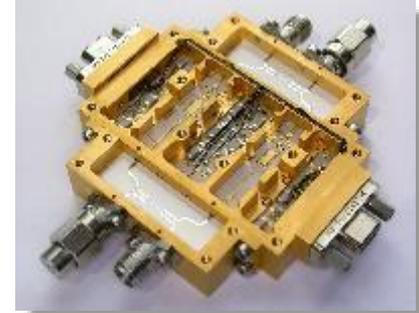
Q Band



Ka Band



C-X Band



Capacidades

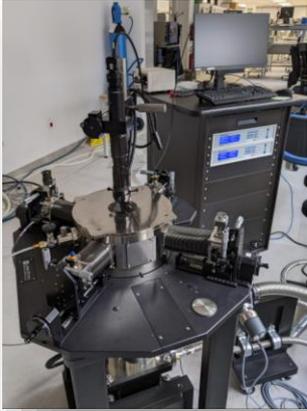
Autosuficiencia en el diseño y fabricación de CLNAs

- Taller mecánico de precisión (CNC 5 ejes, torno precisión)
- Laboratorio electroquímico (dorado)
- Estaciones láser UV e IR para procesamiento de sustratos
- Laboratorio de montaje de amplificadores (máquinas de bonding, welding, pull-test)
- Sala limpia clase 10000 en 2024

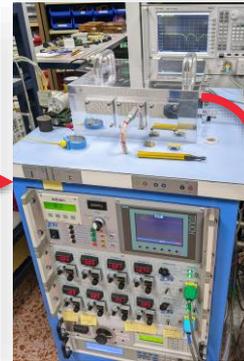
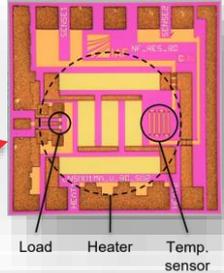
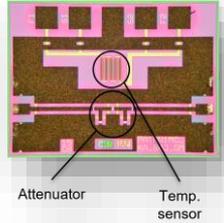


Capacidades en medidas criogénicas

Laboratorio de referencia en medidas de ruido

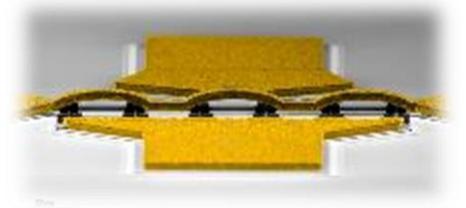
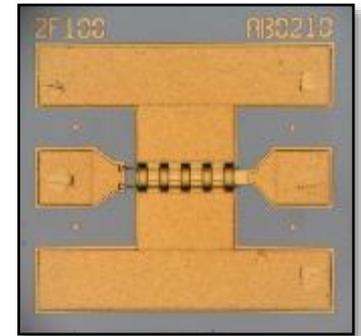
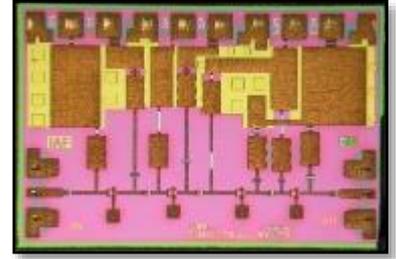


- Desarrollo de sistemas propios de caracterización criogénica
 - 4 criostatos de ciclo-cerrado
 - Medidas de ruido 0-116 GHz por distintos métodos
 - Desarrollo de componentes específicos para medidas de ruido criogénico
- Estaciones de puntas coplanares para medidas on-chip
 - Estación a temperatura ambiente 0-116 GHz
 - Nueva estación criogénica 0-60 GHz
- Laboratorio patrón de referencia en ALMA, APRICOT



Colaboraciones externas

- Elemento crítico en los amplificadores
- La tecnología necesaria para producir transistores criogénicos de bajo ruido existe en muy pocas *foundries* en el mundo
- Colaboraciones para desarrollar y probar dispositivos a temperatura criogénica:
 - TRW/NGS (Northrop Grumman, EEUU): InP – 1998-2004 (problemas ITAR)
 - IAF Fraunhofer (Alemania): mGaAs – 2008-2016 (problemas administrativos)
 - ETH-Diramics (Suiza): InP – Desde 1998 (Diramics spin-off en 2015)
- Alcanzado el objetivo con Diramics de establecer una fuente accesible, competitiva y fiable de dispositivos InP en Europa
 - Ingente esfuerzo en tiempo y financiación por ambas partes
 - Últimos resultados de ruido y estabilidad (2022) en el estado del arte
 - ¡Se ha invertido la dirección de importación de transistores! EEUU → ← EU
 - Financiación reciente de ESO y EU para impulsar el desarrollo de MMICs

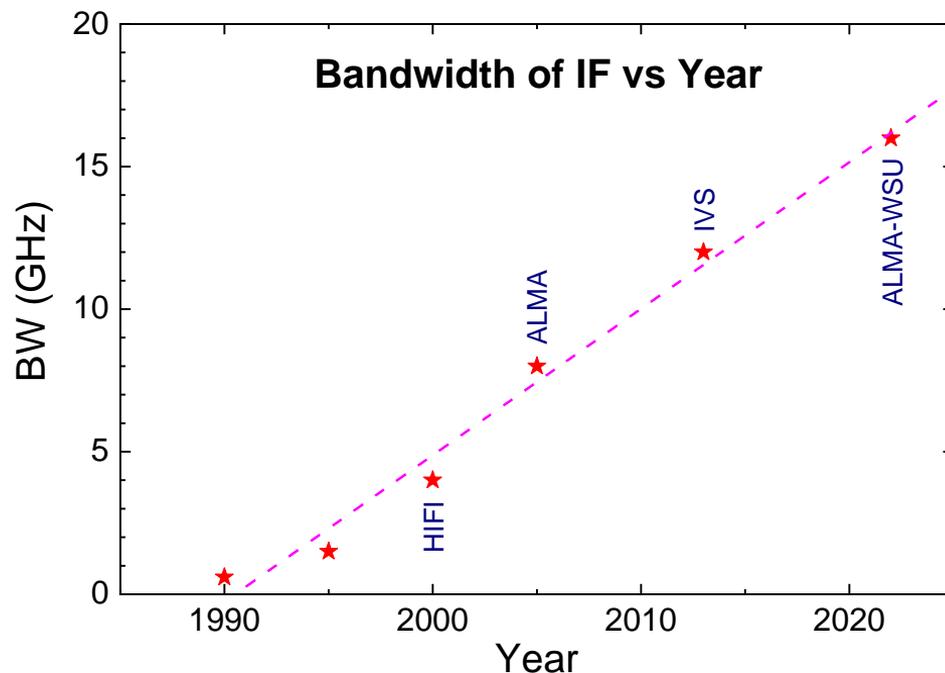


Ejemplos de proyectos actuales

Desarrollo de bandas ultra anchas

- Mayores anchos de banda instantáneos:
 - Observaciones en el continuo: Mayor sensibilidad y velocidad
 - Observaciones espectrales: Acceso a más líneas y transiciones de la misma especie simultáneamente; “blind redshift”
- Históricamente Yebes ha desarrollado los amplificadores para instrumentos que han fijado los estándares de ancho de banda.
- Dos proyectos financian actualmente estos esfuerzos:
 - ESO Dev. Programme (ALMA WSU): Desarrollo de MMICs 4-20 GHz – continuación de desarrollo de LNAs MIC también para ESO
 - EU Horizon-INFRA-2022 (Radioblocks): Bandas aún más anchas para receptores multibeam en frecuencias sub-mm

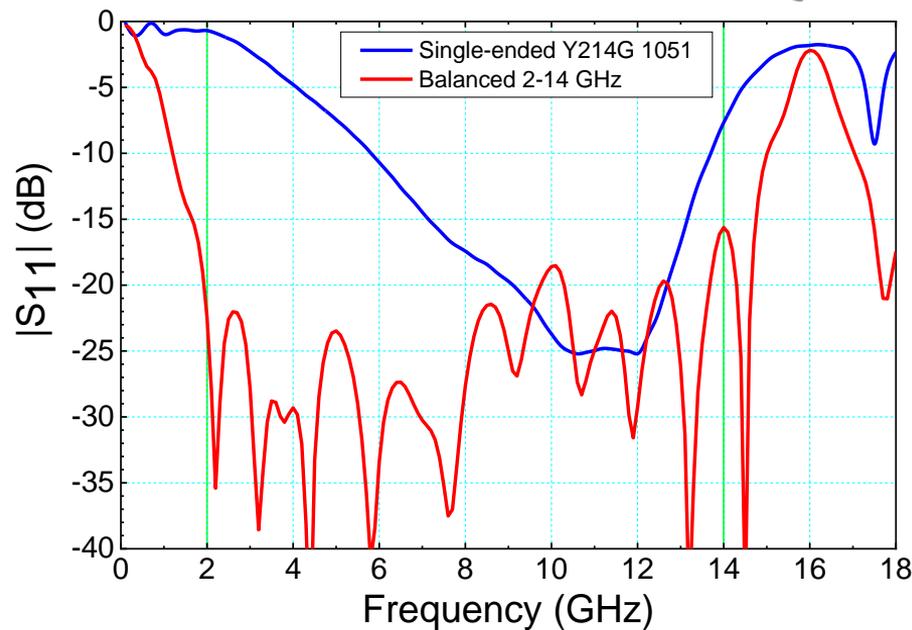
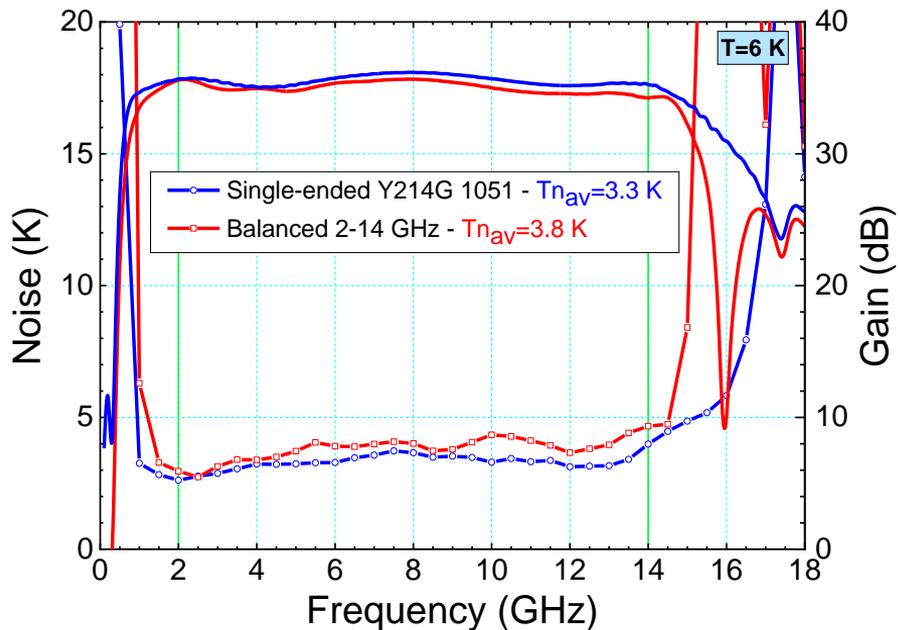
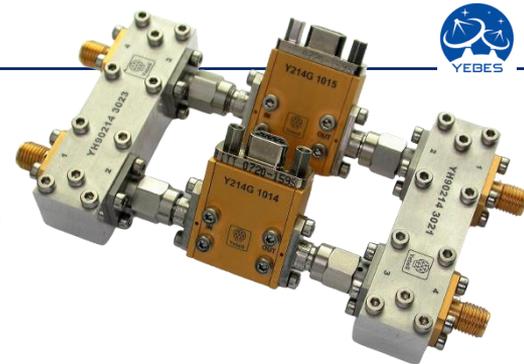
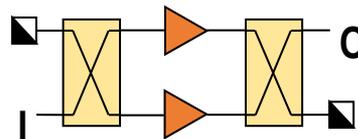
Yebes amplifiers in projects that set new standards for radio astronomy applications



Proyectos actuales destacados

Desarrollo de bandas ultra anchas: Balanceado 2-14 GHz

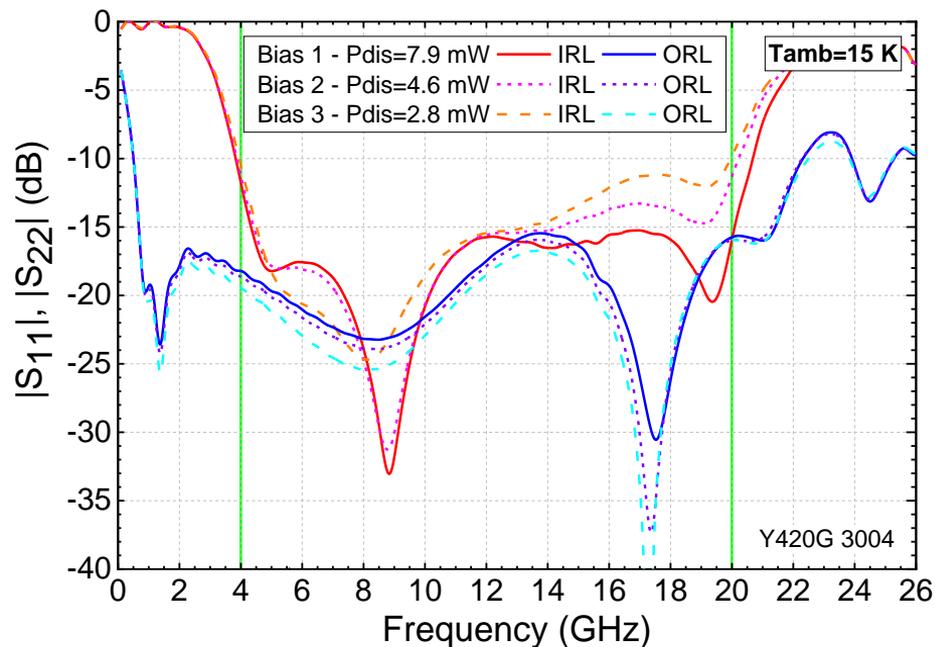
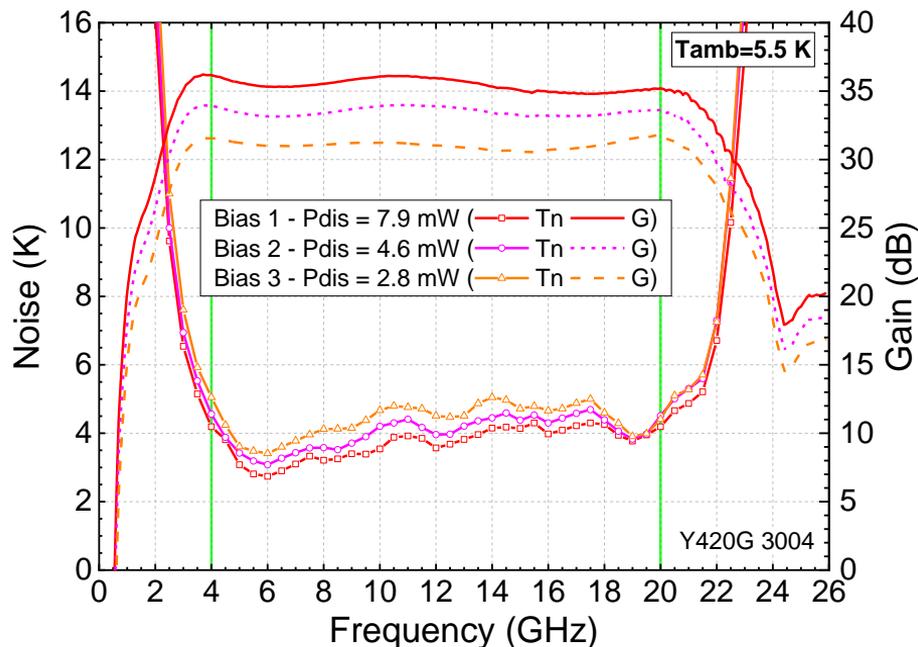
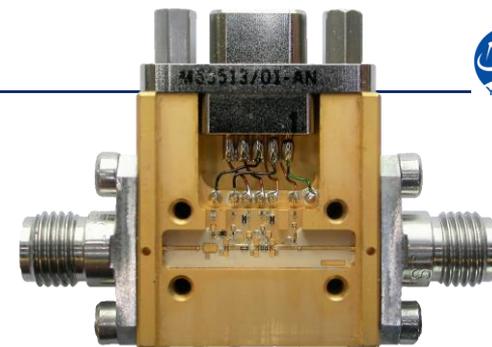
- Temperatura de ruido en el estado del arte
- Adaptación perfecta incluso a frecuencias bajas
- Utilizado como amplificador de entrada en VLBI



Proyectos actuales destacados

Desarrollo de bandas ultra anchas: Amplificador 4-20 GHz

- Comportamiento record en una banda de IF de 16 GHz
- Optimización simultánea de ruido, reflexión de entrada y disipación no conseguida nunca antes
- Destinado a la nueva generación de receptores de ALMA

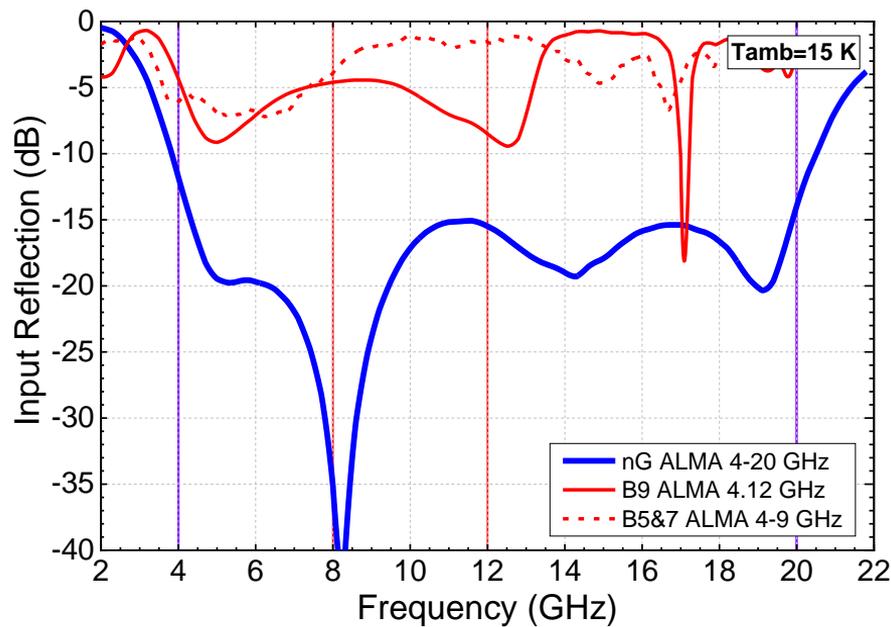
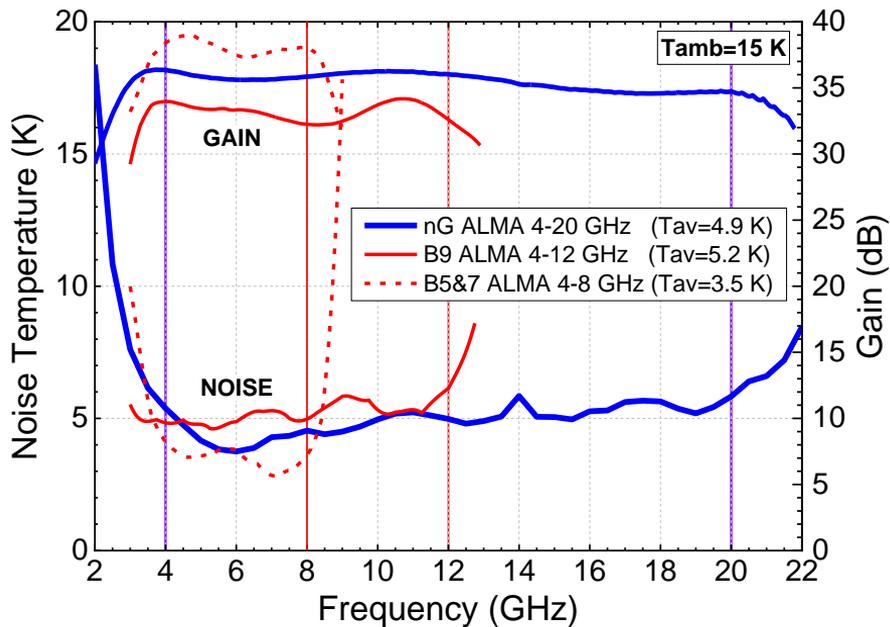


Proyectos actuales destacados

Desarrollo de bandas ultra anchas: Amplificador 4-20 GHz

Comparación con generaciones previas de ALMA

- ¡Mejores resultados duplicando el ancho de banda!
- Buena reflexión de entrada permite prescindir de aislador



Misión espacial de NASA “*Astrophysics Probe EXplorer*” APEX

Far infrared mission probe

Yeibes involved with the three candidates (decision 2024)

1. PRIMA “***Probe far-infrared Mission for Astrophysics***”

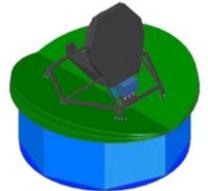
- Led by Goddard Space Flight Center/Jet Propulsion Lab. (GSFC/JPL)
- Spanish contribution to PRIMA Imager (PRIMAGER) instrument led by CAB
- ➔ Development of low frequency and ultra-low power LNAs for KIDs readout



Highest sensitivity

2. FIRSST “***Far-Infrared Spectroscopy Space Telescope***”

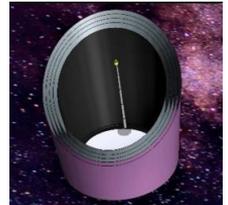
- Led by the University of California (UC)
- Heterodyne Spectroscopy Instrument (HIS) led by CNES/CfA
- ➔ Development of ultra low-power LNAs for the IF of HIS



Multibeam receiver

3. SALTUS “***Single Aperture Large Telescope for Universe Studies***”

- Led by the University of Arizona (UA)
- Two instruments: HiRx (SIS/HEB) led by UA and SAFARI-lite (KIDs) led by SRON
- ➔ Development of IF LNAs for SIS and KIDs readout

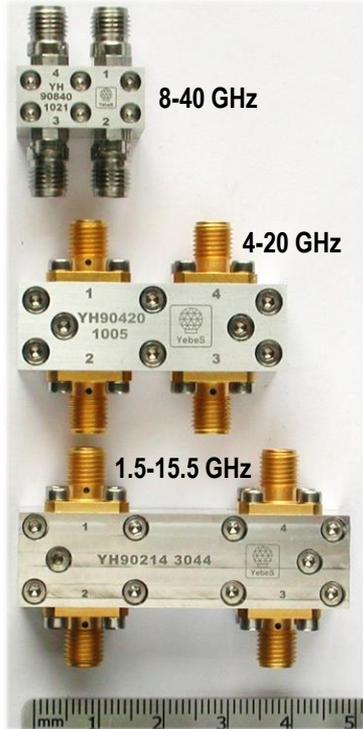


20 m inflatable dish

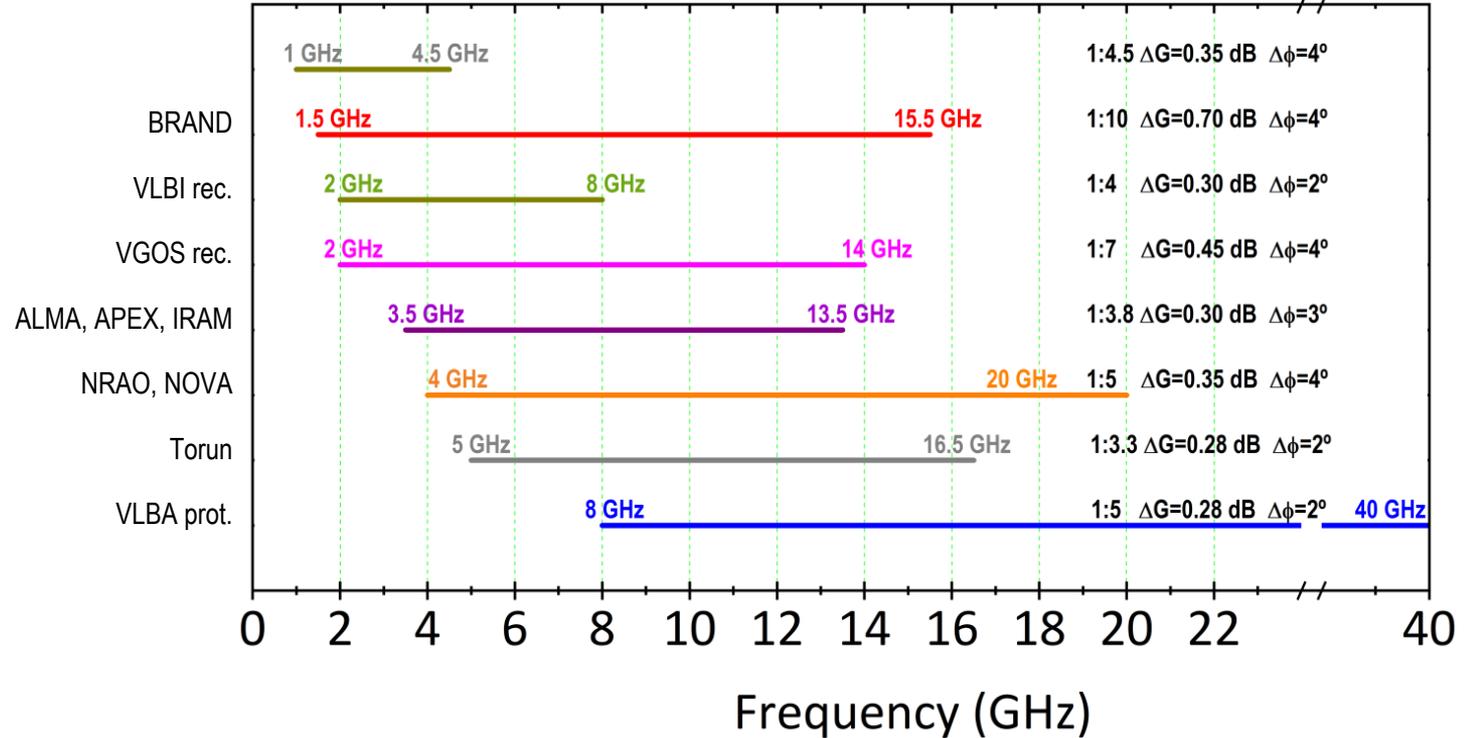
Componentes pasivos

Otros desarrollos de componentes criogénicos

Componentes pasivos: híbridos y acopladores



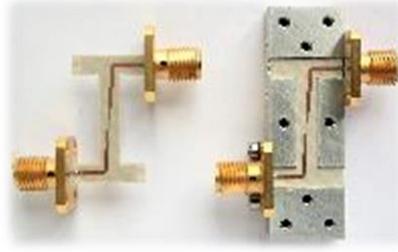
Cryogenic 3dB 90° Hybrids



Otros desarrollos de componentes criogénicos

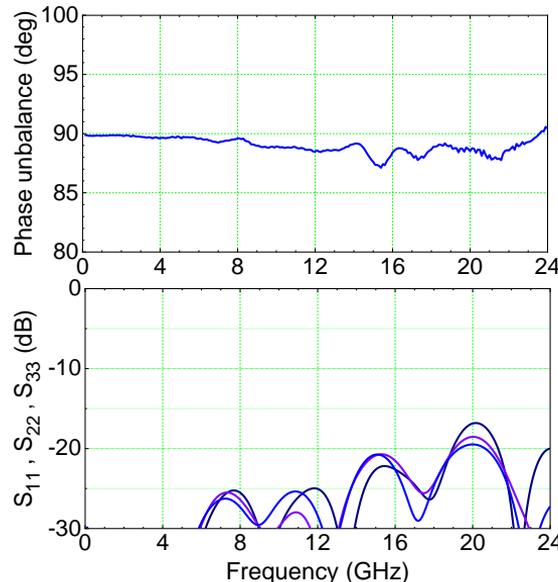
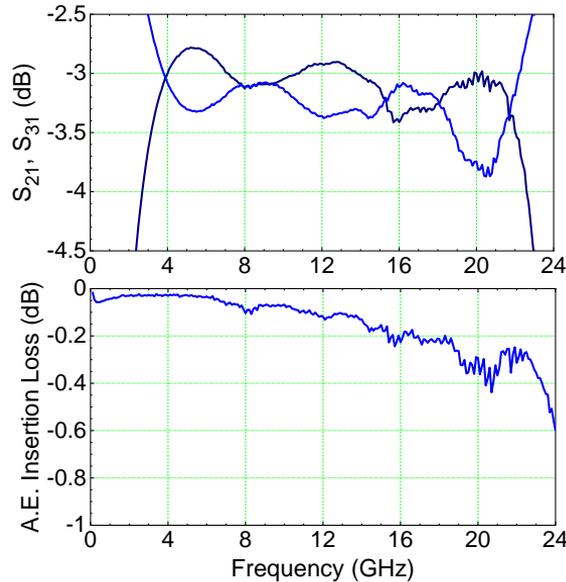


Resultados de híbridos en banda 4-20 GHz



Typical @ 4-20 GHz, 16 K

Amplitude unbalance	Maximum	± 0.3 dB
Phase unbalance	Maximum	$\pm 2^\circ$
Return loss	Maximum (90% band)	-18 dB (-20 dB)
Insertion loss	Maximum	0.3 dB



Aplicaciones

- Amplificadores balanceados
→ NRAO
- Conversión de polarización lineal a circular
- Híbridos de IF para mezcladores 2SB
→ NOVA, NAOJ

- Necesidades técnicas (colaboraciones)
 - Desarrollo de transistores HBTs de SiGe (Infineon, IHP, ST Microelectronics) para amplificadores a bajas frecuencias y con baja disipación de potencia
 - Líneas superconductoras para híbridos de bajas pérdidas, etc. (IMDEA/CAB, Chalmers)
- Carencias → Pertenencia al MITMA
 - Carrera profesional técnica
 - Falta de reconocimiento
 - Problemas en la equiparación con la carrera científica
 - Dificultad para atraer talento nuevo + fuga de personal
 - Administración y gestión
 - Dificultades burocráticas para la gestión de compras, proyectos, acuerdos de colaboración
 - Falta de personal administrativo cualificado
 - Organización concebida para que el personal científico-técnico esté al servicio de la administración y no al revés