Receptores en las estaciones de VLBI mundial. Estado actual y nueva generación de receptores VLBI en el CAY

J.M.Serna Puente, J.A.López Fernández

Informe Técnico IT-OAN 2005-10

ÍNDICE DE CONTENIDOS

_	res en las estaciones de VLBI mundial. Estado actual y nueva	
generación d	e receptores de VLBI en el CAY	1
1.1 Intr	oducción	1
1.1.1	VLBI: introducción teórica	
1.1.2	Flujo de la señal en VLBI.	
1.1.3	Parámetros fundamentales de un Receptor heterodino de VLBI	
1.1.4	Principales estaciones mundiales de VLBI	
1.1.1	Timelpuies estaciones mandiales de VDDI	
1.2 EV	N (Red europea de VLBI)	9
1.2.1	Max Planck Institut für Radioastronomie: Effelsberg 100m	9
1.2.2	Metsahövi radio observatory (Finlandia)	
1.2.3	Observatorio espacial de Onsala (Suecia)	
1.2.4	Shanghai astronomical observatory(China)	
1.2.5	Hartebeesthoek (Sudáfrica)	
1.2.6	Medicina (Italia)	49
1.2.7	Noto (Italia)	51
1.2.8	Sardinia (Italia). Radiotelescopio en construcción	53
1.2.9	Torun (Polonia)	57
1.2.10	Arecibo (Puerto Rico).	58
1.2.11	Wettzell (Alemania)	65
1.2.12	Deep Space Network (Robledo, España)	65
1.2.13	Westerbork (Holanda)	67
1.2.14	MERLIN (Jodrell Bank, Inglaterra).	70
1.2.15	Simeiz (Ucrania)	74
1.2 3/1	DA-(NIDAO NI'I DI' A-4	7.0
1.3 VL 1.3.1	BA:(NRAO,Nacional Radio Astronomy Observatory) Green Bank telescope.	
1.3.1	Green bank telescope.	01
1.4 AP	Γ (Asia Pacific Telescope) y LBA (Australian Long Baseline Array).	84
	VLBI (Japón)	
	RA: VLBI Exploration of Radio Astrometry.	
	IVA (Global mm-VLBI Array).	
	RMA: Combined Array for Research in Millimeter-wave Astronomy	
	OP2: (VLBI Space Observatory Programme)	
	lioastron (Space VLBI mission).	
	AM: Instituto de Radioastronomía Milimétrica.	
1.11.1	Observatorio de Pico Veleta (Granada, España)	
1.11.2	Interferómetro de Plateau de Bure (Alpes Franceses)	
1.12 KV	N (Korea VLBI Network)	
	N-CAY (Centro Astronómico de Yebes)	
5111		
Bibliografía y	páginas WWW de consulta	141
Apéndice 1: E	Especificaciones de las antenas de la EVN	143
Apéndice 2: F	Receptores existentes en cada estación VLBI	144

1 Receptores en las estaciones de VLBI mundial. Estado actual y nueva generación de receptores de VLBI en el CAY.

1.1 Introducción.

La técnica de interferometría de muy larga base (VLBI) consiste en la observación de un objeto celeste simultáneamente con un conjunto de radiotelescopios, que pueden estar situados en lugares muy distantes entre sí. La radiación de ese objeto es recibida en instantes ligeramente diferentes en cada telescopio, según su posición sobre la Tierra. La creación de un patrón de interferencia (denominado franjas) permite a esta red de telescopios comportarse como un único instrumento que tiene como tamaño equivalente (y por ello, poder de resolución) las distancias entre los radiotelescopios participantes en la observación.

En las campañas de observación con fines astronómicos se obtienen resoluciones angulares en el cielo del orden del milisegundo de arco (lo que permitiría distinguir un planeta gigante alrededor de una estrella cercana).

En el campo de la geodesia, la observación de cuásares puntuales permite un análisis inverso en que se extraen como solución las posiciones sobre la Tierra de los radiotelescopios que participan en la observación. Los planes de observación organizados a nivel mundial permiten un seguimiento de las variaciones de dichas posiciones, y con ello, son una herramienta incomparable en el estudio de los movimientos terrestres a pequeña y gran escala.

En el presente trabajo se van a estudiar con detenimiento las estaciones de VLBI existentes en el mundo, centrándonos en sus etapas receptoras. Analizaremos los diferentes parámetros involucrados de tal forma que se podrán comparar las prestaciones de unos radiotelescopios con respecto al resto. Una vez realizado dicho estudio, nos centraremos en el nuevo radiotelescopio de 40 metros del Centro Astronómico de Yebes. Se analizará cuáles deben ser los receptores instalados y sus prestaciones para que la herramienta sea competitiva a nivel mundial.

1.1.1 VLBI: introducción teórica

Las siglas VLBI significan en castellano "Interferometría de muy larga línea de base". Se puede considerar como una subtécnica de la interferometría en la que las antenas están muy alejadas entre sí y por lo tanto no están conectadas en tiempo real (con la técnica e-VLBI se puede considerar que prácticamente si están interconectadas, se emplea un ancho de banda de 1Gbps)..

Un interferómetro es un conjunto de 2 o más antenas conectadas entre sí que observan simultáneamente una fuente astronómica. La señal que se obtiene es proporcional a la función de coherencia mutua del campo emitido por la radiofuente en

cada antena, lo cual permite calcular la distribución de brillo de la fuente a partir de una transformada de Fourier inversa (teorema de Van Citter Zernicke).

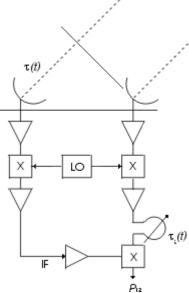


Figura 1:esquema general de un interferómetro de dos elementos

El objetivo que se pretende alcanzar mediante las técnicas de VLBI es conseguir mayor resolución angular que con los interferómetros conectados. La resolución angular de una antena simple es del orden de ?/D, donde D es la dimensión mayor de la antena. En un interferómetro, la resolución conseguida es ?/B, donde B es la distancia entre antenas. En VLBI se consigue que esa distancia sea de miles de kilómetros por lo que la resolución es muy alta.

Los principales inconvenientes que plantea esta técnica son los siguientes:

- Problemas de estabilidad de la fase de las señales, debido a que los osciladores locales no están conectados y son distintos. También influye el hecho de tener diferentes condiciones atmosféricas en cada estación.
- Existen problemas tecnológicos relacionados con el registro de los datos y su posterior correlación.

La solución a los problemas existentes con la fase de las señales consiste en emplear patrones de tiempo muy precisos (relojes atómicos), combinados con sistemas estabilizadores de la fase (PLL). Sin duda el patrón más empleado es el máser de Hidrógeno cuyo principio de funcionamiento se basa en la transición hiperfina del átomo de hidrógeno en un campo magnético débil (la frecuencia generada es 1.420405751,77 hz)

1.1.2 Flujo de la señal en VLBI.

Se indica en este apartado el proceso que sigue la señal procedente de la radiofuente desde que es captada por las antenas hasta que se realiza su correlación.

- En primer lugar, cada radiotelescopio dispone de un Receptor cuya misión es convertir la señal de radiofrecuencia captada hasta una determinada frecuencia intermedia. Esta etapa del sistema es el objeto de estudio del trabajo.

Una vez que la señal se ha convertido en frecuencia se procede a su tratamiento digital. Este paso se efectúa en unos sistemas denominados "backend" (MK3, VLBA, MK4, VLBA4 MK5). En primer lugar los datos son convertidos a banda base y posteriormente muestreados, adjuntando unas marcas temporales que permitirán efectuar su correlación. La información es almacenada (cintas magnéticas, discos...). Estas cintas se transportan hasta el correlador, y a partir de la correlación se obtiene la información deseada (brillo de la radiofuente, posición del radiotelescopio...).

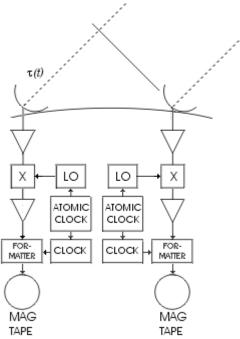


figura 2:esquema general de un sistema VLBI

1.1.3 Parámetros fundamentales de un Receptor heterodino de VLBI.

El objetivo fundamental de este trabajo es analizar las características de los receptores instalados en las estaciones de VLBI existentes en el planeta. Para centrar dicho estudio es necesario definir aquellos parámetros que nos van a servir para comparar unos sistemas de otros.

Se indican a continuación los parámetros principales que se emplearán en el estudio:

- Banda de frecuencia de RF (GHz).
- Frecuencias de oscilador local (GHz).
- Bandas de frecuencia intermedia (MHz).
- Temperatura de ruido del receptor (K).
- Temperatura de ruido del sistema (K).
- Polarización.

Será necesario analizar la estructura del receptor en cuanto a dispositivos empleados.

Se prestará también atención a la referencia empleada, tipos de criostatos, bocinas alimentadoras utilizadas y existencia de polarizadores.

El principal objetivo de un receptor de radioastronomía es captar de forma eficiente la señal astronómica que ha sido concentrada por la antena cerca de su punto focal, y amplificar dicha señal con una contribución mínima de ruido extra hasta un nivel adecuado para su posterior tratamiento. La señal captada por los radiotelescopios es una señal electromagnética de alta frecuencia y muy baja intensidad, de ahí la importancia de conseguir que la temperatura de ruido del receptor sea mínima para mo enmascarar la señal.

Se puede hablar de dos tipos de detección de señal: coherente e incoherente.

- <u>Detección incoherente</u>: se pierde en el proceso de detección la información sobre la fase.
- Detección coherente: se mantiene la información de fase. El receptor coherente más empleado en bandas milimétricas y submilimétricas es el receptor heterodino. Este receptor traslada la señal a una banda de frecuencias más baja (frecuencia intermedia) en la cual la detección y amplificación de la señal es más sencilla. La conversión en frecuencia suele efectuarse en varios pasos. El esquema del receptor depende fundamentalmente de la frecuencia de trabajo, siempre buscando conseguir la menor temperatura de ruido del sistema. De forma muy esquemática se puede indicar que para frecuencias inferiores a unos 100GHz el primer elemento del receptor suele ser un amplificador refrigerado de bajo ruido basado en transistores HEMT. Para frecuencias superiores se emplea como primer elemento del receptor un mezclador (Schottky, SIS). Para frecuencias extremadamente altas los mejores resultados se obtienen empleando "hot electron bolometers".

Se puede dividir el sistema de recepción en dos etapas claramente diferenciadas:

- **Front-end**: Es la parte del receptor adaptado a la señal que se pretende captar. A lo largo de este trabajo nos centraremos en esta etapa de los receptores.
- **Back-end**: Su objetivo es efectuar la detección y procesado posterior de la señal astronómica.

A continuación se indica de forma muy esquemática los diferentes elementos que con más frecuencia se encuentran en un receptor de radioastronomía, indicando alguna de sus principales funciones y características.

- Alimentador: Es el encargado de adaptar el sistema óptico (antena) con el sistema receptor. Debe tener una elevada eficiencia (iluminación, spillover, polarización...). El elemento más empleado en la actualidad suele ser un bocina cónica corrugada debido a diversos aspectos: simetría en los planos E y H, bajo nivel de contrapolar, gausicidad cercana al 98%, bajo nivel de lóbulos secundarios, elevada frecuencia de corte. A menudo suele empelarse junto con la bocina una lente correctora de fase. En función de la frecuencia de trabajo del receptor existen dos alternativas.

f<300GHz: bocina cónica corrugada.

f>300GHz: se suelen emplear estructuras abiertas (por la facilidad de integración de antenas impresas y elementos mezcladores).

- <u>Amplificador de microondas de bajo ruido:</u> existen multitud de dispositivos capaces de amplificar la señal captada por la antena:

<u>alta potencia</u>: tubos de vacío (klystron) y tubos de onda progresiva (TWT).

Media potencia y bajo ruido: dispositivos de estado sólido. Existen dos tipos (2 terminales: tunel, jun, impatt... y 3 terminales: transistores de silicio de unión, FET, MESFET, HEMT).

Los amplificadores más empleados son los paramétricos, máser y de estado sólido.

Actualmente los transistores HEMT (high electrón mobility transistor) sobre sustratos de GaAs y InP son los más empelados (el GaAs es un material perfectamente caracterizado, el InP es un material en pleno desarrollo con el que se consigue un mejor comportamiento de ruido y menor disipación de potencia).

A la hora de diseñar un amplificador de microondas es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros: estabilidad (factor K de Rollet), ganancia de transducción, temperatura de ruido, reflexión de entrada y salida, linealidad (punto de compresión a 1dB, punto de intermodulación de tercer orden),fluctuaciones de ganancia.

- <u>Mezclador:</u> es el dispositivo encargado de efectuar la conversión de frecuencia. La señal detectada en radioastronomía por los receptores coherentes puede tener frecuencias del orden de cientos de GHz. Tras la conversión de frecuencia el ancho de banda permanece inalterado. Los dos parámetros fundamentales que definen su comportamiento son la temperatura de ruido (SSB y DSB) y las pérdidas de conversión.

Los tres tipos de mezcladores más empleados en la actualidad son los siguientes:

- a) Schottky: Se basa en las propiedades no lineales de la unión metal-semiconductor (GaAs). Está limitado en frecuencia a algunos THz (debido a la capacidad asociada al vaciamiento de carga en un semiconductor). Las pérdidas de conversión son inferiores a 6dB y la temperatura equivalente de ruido depende del mecanismo de conducción (a temperaturas criogénicas de 20K la conducción es por efecto túnel y la temperatura de ruido depende del dopado del semiconductor y no de la temperatura física).
- b) <u>SIS</u> (superconductor aislante superconductor):es el mezclador empleado en los receptores más sensibles. Esta unión se caracteriza por la fuerte no linealidad de la curva FV que se da como resultado de la conducción por cuasipartículas entre los superconductores. En una unión SIS las cuasipartículas originadas al romperse los pares de Cooper pueden atravesar la barrera aislante hacia el otro superconductor por efecto túnel. Es un mezclador de muy bajas pérdidas de conversión e incluso ganancia. La potencia de oscilador local necesaria para el bombeo es muy baja (nw). Para conseguir el comportamiento de superconductor el dispositivo debe trabajar a temperaturas muy bajas (4K). La unión SIS presenta ciertos límites en su funcionamiento en frecuencia: frecuencia de gap (Niobio:700GHz, NbN: 1200GHz), frecuencia de drop-back, frecuencia de Josephson (200GHz, las corrientes de Josephson se eliminan aplicando un campo magnético perpendicular a la corriente de la unión). Los materiales más empleados son el plomo (uniones muy delicadas), el niobio y el nitruro de niobio. Las uniones suelen realizarse formando arrays de dos uniones en serie (reducir capacidad a la mitad, resistencia normal de la unión es el doble, mejor funcionamiento en RF, Vgap es el doble).
- c) <u>Hot electron bolometers</u>: cristales semiconductores no dopados de InSb a temperaturas de 1.7K. A esa temperatura la movilidad de los e libres varía con la

temperatura. La radiación recibida hace aumentar las temperatura del gas de electrones y se refleja de forma no lineal en la conductividad.

Oscilador local: es el tercer elemento clave en un receptor heterodino. La estabilidad del armónico inyectado va a marcar la estabilidad en frecuencia de la observación. La potencia que inyecta al mezclador es determinante en su temperatura de ruido. Esta inyección puede hacerse de dos formas diferentes en función de la frecuencia de trabajo:

- -f<150GHz: acoplo en guía mediante acopladores direccionales y T mágica.
- -f>150GHz: técnicas cuasi-ópticas de inyección (interferómetros Match-Zender, Fabry-Perot, Martín-Puplet).

En microondas, a frecuencia por debajo de 20GHz, se emplean osciladores de estado sólido tales como resonadores dieléctricos, resonadores coaxiales...Asociados a estos osciladores suelen emplearse multiplicadores de frecuencia. La señal generada por el OL debe ser perfectamente estable. La estabilidad en frecuencia de los osciladores Gunn o klystron es suficiente para observaciones en continuo pero no en observaciones de línea (en estos caso es necesario estabilizar mediante un PLL).

La potencia del oscilador local depende del mezclador empleado (100µw para Schottky, 1 µw para HEB y 10nw para uniones SIS).

Uno de los elementos fundamentales de un oscilador es el ruido de fase. En observaciones de VLBI se usan osciladores para obtener un patrón de tiempo que permita grabar los datos en un soporte magnético y efectuar su posterior correlación. La precisión necesaria para grabar las marcas de tiempo sólo puede conseguirse con determinados osciladores atómicos (máser H).

El máser de hidrógeno se basa en el cambio de spin del estado fundamental del hidrógeno, que genera una frecuencia de 1420.405 MHz. Otro relojes atómicos de interés son los de rubidio y Cesio.

Como ya se ha comentado con anterioridad, es necesario que la temperatura de ruido del receptor sea lo más baja posible ya que las señales que se están captando son extremadamente débiles. Para mejorar el comportamiento del receptor en este sentido se recurre al empleo de técnicas criogénicas. Se comentan a continuación las ideas fundamentales a tener en consideración al trabajar con **criostatos**.

Un criostato está formado por dos partes: el dewar y el refrigerador criogénico. Los componentes del sistema a enfriar se introducen en el dewar (recipiente en el que se hace el vacío) con lo que se anula totalmente la convección, se reduce la conducción a niveles muy bajos y elimina la condensación de gases sobre la superficie de los componentes electrónicos delicados. Existen tres tipos de criostatos en función del método para conseguir la temperatura criogénica:

- Ciclo cerrado: emplea ciclos térmicos por bombeo de gases (helio).20K
- Ciclo abierto: emplea helio líquido (4K) ó nitrógeno líquido (77K).
- Criostato híbrido: dispone de una etapa intermedia de ciclo cerrado y otra etapa fría de ciclo abierto.

En cualquiera de ellos puede existir una etapa ultra fría de He-3 que permite conseguir una temperatura de 0.35K.

A la hora de diseñar un criostato hay que tener en consideración dos aspectos fundamentales:

- Capacidad refrigeradora del criogenerador.

- Las cargas térmicas, que pueden ser de cuatro tipos: conducción gaseosa, conducción por radiación, conducción por sólidos y la carga térmica disipada en el criostato.

En cuanto al refrigerador criogénico el más utilizado es la cabeza refrigeradora "Cold Head". Consiste en dos etapas refrigeradoras en cascada que emplean el ciclo de McMahon (un fluido a una temperatura inicial es comprimido, el calor de compresión se extrae mediante intercambiadores de calor refrigerados por aire y posteriormente el fluido es expandido para producir frío por debajo de la temperatura inicial. El fluido empleado suele ser helio. Todos los sistemas criogénicos de este tipo necesitan un compresor refrigerado por aire o agua y lubricado con aceite. En la "Cold Head" se realizan los ciclos de compresión y expansión mientras que en el compresor están los intercambiadores. La capacidad refrigeradora se especifica en watios (ejemplo: el refrigerador CTI-350C genera 4w a 50K y 1.5w a 20K).

En criostatos del tipo híbrido existe un depósito para albergar el fluido criogénico. Debe existir una entrada en el recipiente para su rellenado. Debe también existir una salida para la expulsión de gases y una salida para efectuar el vaciado del criostato.

Tras el receptor la siguiente etapa del sistema es la denominada "<u>back-end</u>". Está formada por todos los sistemas que tratan la señal radio astronómica tras haber sido convertida a frecuencia intermedia. La clasificación más empleada de estos sistemas es en analógicos y digitales.

- Analógicos: banco de filtros, espectrómetro acusto-óptico.
- Digitales: autocorrelador digital.

Los dos parámetros que definen a estos sistemas son la sensibilidad y la resolución espectral.

El autocorrelador digital presenta importantes ventajas: permite realizar cambios de la resolución espectral de forma sencilla, su estabilidad en frecuencia es muy buena ya que el reloj puede engancharse a un patrón. Sin embargo su ancho de banda está limitado por la máxima frecuencia de muestreo que permita la tecnología disponible y la sensibilidad es pobre si se cuantifica con 1 bit.

En el caso particular de <u>sistemas VLBI</u>, los back-end están formados por dos bloques claramente diferenciados:

- Rack de adquisición de datos: es el encargado de tratar la señal IF y convertirla a banda base. Un formateador agrupa la señal de salida en bloques de un cierto formato y los envía al registrador.
- <u>Rack registrador</u>: es el encargado de almacenar los datos en un determinado soporte (cintas ó discos).
 - Los sistemas VLBI más comunes son los siguientes:
- Basados en equipos convencionales: mark I y mark II.
- Sistemas específicos: mark III, mark IIIA, VLBA, mark IV, VLBA4, K4, S2, mark 5.

Los parámetros que definen el comportamiento de estos sistemas son los siguientes:

- Ancho de banda.
- Frecuencia de muestreo.
- Número de bits de resolución.
- Número de headstacks y cabezas de grabación.
- Máxima velocidad de almacenamiento de datos.

1.1.4 Principales estaciones mundiales de VLBI.

Las dos organizaciones mundiales de VLBI más importantes son:

- EVN (European VLBI Network).
- VLBA (Very Long Baseline Array).

La EVN es un array interferométrico de radiotelescopios situados en Europa y alguno fuera de Europa tal y como puede apreciarse en la figura.



figura 3:Distribución de los radiotelescopios de la EVN

Los institutos y estaciones pertenecientes a la EVN son:

- Effelsberg (Alemania).
- Medicina (Italia).
- Noto (Italia).
- Robledo/DNS (España).
- Torun (Polonia).
- Westerbork (Holanda).
- OAN-Yebes (España).
- Arecibo (Puerto Rico).
- Jodrell Bank y Cambridge (Inglaterra).
- Metsahovi (Finlandia).
- Onsala (Suecia).
- Shanghai (China).
- Urumqi (China).
- Wettzell (Alemania).
- Hartebeesthoek (Sudáfrica).

VLBA es un sistema compuesto por diez radiotelescopios de 25 metros de diámetro. Se encuentran situadas en los siguientes puntos:

- Mauna Kea (Hawai).
- Owens Valley (California).
- Brewster (Washington).

- North Liberty (Iowa).
- Hancock (New Hampshire).
- Kitt Peak (Arizona).
- Pie Town (New Mexico).
- Fort Davis (Texas).
- Los Álamos (New Mexico).
- St. Croix (Virgin Islands).

1.2 EVN (Red europea de VLBI)

1.2.1 Max Planck Institut für Radioastronomie: Effelsberg 100m

Ya desde sus comienzos en 1932, la radioastronomía se ha convertido en uno de los métodos más relevantes en la investigación del Universo. Una muestra convincente de ello es el hecho de que todos los astrónomos observacionales galardonados hasta la fecha con el Premio Nobel eran radioastrónomos. Así ocurrió en los años 1974, 1978 y por última vez en 1993. La radiación electromagnética en longitudes de onda de radio (desde 0.35mm hasta 15m), que llega continuamente a la Tierra desde el Cosmos, puede registrarse con ayuda de antenas especiales, como el radiotelescopio de Effelsberg.

Por ello la gran superficie del radiotelescopio, de aproximadamente 7850m², es muy importante para la detección de las señales de radio extraordinariamente débiles. Además el gran diámetro de 100m proporciona una excelente resolución angular -- definida como la mínima separación en la esfera celeste para la cual dos objetos pueden detectarse por separado--. La resolución a la longitud de onda de 1.3cm es de 35 segundos de arco, aproximadamente dos veces mejor que la agudeza visual del ojo humano en longitudes de onda visibles.

Buena parte de las actividades realizadas por el Instituto de Radioastronomía Max-Planck (fundado en 1966) están ligadas a las observaciones del radiotelescopio de 100m de diámetro de Bad Münstereifel-Effelsberg. El telescopio lleva funcionando satisfactoriamente desde agosto de 1972. Con su diámetro de 100m es uno de los mayores radiotelescopios móviles del mundo, y además puede llevar a cabo observaciones a las pequeñas longitudes de onda de 3.5mm gracias a la gran precisión en su superficie parabólica. En los laboratorios del instituto se han desarrollado numerosos receptores de gran sensibilidad y bajo ruido para longitudes de onda desde 3.5mm hasta 74cm para ser utilizados en el radiotelescopio.

El radiotelescopio de 100m de Effelsberg puede observar en distintos modos de operación, que se corresponden con distintos grupos de investigación del M.P.I. Estos modos son:

- Observaciones de radio en continuo. Investigación de objetos galácticos y extragalácticos a distintas longitudes de onda. Este grupo de investigación observa también la línea de 21cm del hidrógeno neutro (HI).
- Investigaciones espectroscópicas de fuentes galácticas y extragalácticas.

- Investigación de la radiación de los púlsares en radiofrecuencia con gran resolución temporal.
- Interferometría de Muy Larga Línea de Base (Very Long Baseline Interferometry, VLBI). Este método proporciona una resolución angular sin precedentes en las imágenes de radiofuentes.

El instituto participa frecuentemente en observaciones conjuntas con otros radiotelescopios dentro de la red de VLBI. Desde 1978, un dispositivo especial permite procesar los datos de estas observaciones para obtener imágenes de radiofuentes con excepcional resolución angular. Este equipo, llamado correlador, ha sido actualizado convenientemente y en la actualidad es el Centro Europeo de análisis de datos de VLBI. Este equipamiento se complementa con varios ordenadores de control en el radiotelescopio de Effelsberg y una densa red de ordenadores en la sede del Instituto en Bonn que comprende numerosas estaciones de trabajo. Este instrumental informático se utiliza tanto para el procesamiento y análisis de datos como para llevar a cabo estudios teóricos.

El radiotelescopio rota sobre unos raíles circulares de 64m de diámetro asentados sobre cimientos de hormigón. El peso total de la estructura de acero es de 3200 toneladas métricas. El radiotelescopio puede efectuar una vuelta completa sobre sí mismo horizontalmente (giro de 360º en acimut) en un tiempo de 12 minutos y cambiar su inclinación (elevación) en 90º en 6 minutos. Gracias a ello puede observarse prácticamente todo el cielo sobre el horizonte.

Aunque entró en funcionamiento en 1972, con sus 100 metros de diámetro el telescopio de Effelsberg es uno de los mayores radiotelescopios moviles del mundo. Puede sintonizarse para recibir ondas de radio con longitudes de onda desde 90cm hasta 3.5mm. Las observaciones a pequeñas longitudes de onda son posibles a que, gracias a su diseño especial, las deformaciones elásticas de la superficie de acero no se alejan de una superficie parabólica ideal en más de 0.5mm. El desplazamiento de la posición del foco causada por las deformaciones debidas a la inclinación variable de la superficie parabólica se compensa electrónicamente.

Los receptores de la radiación colimada por el reflector principal están constituidos por bocinas conectadas a amplificadores de bajo ruido refrigerados y extremadamente sensibles. Estas bocinas están montadas en la parte inferior de la cabina del foco primario, que descansa sobre cuatro soportes por encima de la superficie parabólica. Un subreflector elíptico hace posible redirigir la radiación hacia el foco secundario situado en el centro de la superficie parabólica. Allí se encuentran otros receptores que pueden recoger la señal simultáneamente. La instrumentación para registrar, procesar y almacenar las señales, así como los ordenadores de control y tratamiento de datos del radiotelescopio se encuentran en el edificio anejo, situado en la falda de la colina próxima.



figura 4: Radiotelescopio de 100 metros de Effelsberg



figura 5: Superficie reflectora del radiotelescopio de 100 metros de Effelsberg

Datos técnicos del Radiotelescopio de Effelsberg

Diámetro del reflector	100m
Superficie	7850m ²
Número de elementos de la superficie (paneles)	2352
Precisión en la superficie	<0.5mm
Distancia focal (foco primario)	30m
Diámetro del subreflector (reflector gregoriano)	6.5m
Abertura	
- En el foco primario	f/0.3
- En el foco secundario	f/3.85
Resolución angular (anchura del haz) - a long. de onda de 21cm (frec. 1.4 GHz) - a 3.0cm (10 GHz) - a 3.5mm (86 GHz)	9.4' (minutos de arco) 1.15' (minutos de arco) 10" (segundos de arco)
Diámetro de los raíles acimutales	64m
Precisión en el ajuste de los raíles	0.25mm
Rango angular en acimut	$480^{\rm o}$
Velocidad máxima de giro	32°/minuto
Potencia de los 16 motores acimutales	20.2 kW cada uno
Radio del engranaje de elevación	28m
Rango angular en elevación	de 7° a 94°
Velocidad máxima de inclinación	16°/minuto
Potencia de los 4 motores de elevación	17.5 kW cada uno
Peso total	3200 toneladas métricas
Periodo de construcción	1968-1971
Compienzo de operaciones	1º de agosto de 1972
Constructores	Arbeitsgemeinschaft KRUPP/MAN

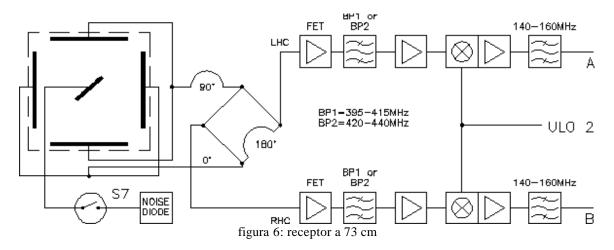
Se indican a continuación las especificaciones de los diversos receptores existentes en el radiotelescopio.

Receptores del Radiotelescopio de 100m

Receptor 408 MHz (73 cm).

Type	FET uncooled
Channels	2
System Temperature (Zenith)	100 K
Centre Frequency	408/430 MHz (*)
RF-Filter	395-415/420-440 MHz (*)

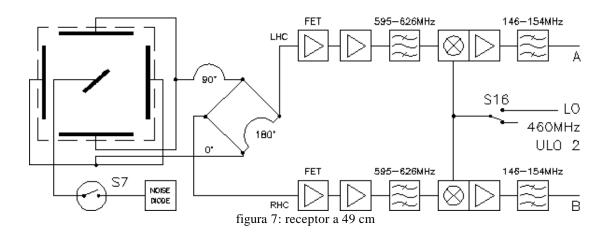
Polarization	LHC and RHC
Feed	Dipolsystem A085
Calibration	Noise Diode 65 K at 0 db
1. IF	150 MHz
1. Oscillator	ULO2



Se trata de un receptor de dos canales en el foco primario. Emplea preamplificadores FET no refrigerados construidos en el instituto. Fue construido y utilizado principalmente para experimentos VLBI a 408 MHz, pero posteriormente fue modificado para efectuar observaciones de líneas a 408 y 430 MHz.

Receptor 610 MHz (49 cm).

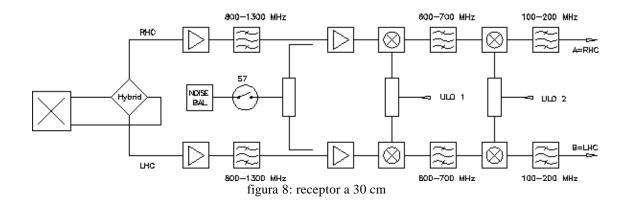
Туре	FET uncooled
Channels	2
System Temperature (Zenith)	130 K
Centre Frequency	610 MHz
Bandwidth (Amplifier)	10 MHz
RF-Filter	595 - 626 MHz
Polarization	LHC and RHC
Feed	Dipolsystem A 173
Calibration	Noise Diode
1. IF	146 - 154 MHz
1. Oscillator	ULO2 or LO



El receptor a 610 MHz está situado en el foco primario y emplea amplificadores FET no refrigerados. Se emplea en observaciones VLBI. El oscilador local es un sintetizador en la cabina del foco primario. El receptor no contiene ningún componente que permita observaciones de continuo. No existe ecualización de fase. Para evitar interferencias de señal de televisión existe una protección regional en un rango estrecho de frecuencias, que permite se puedan efectuar las observaciones VLBI.

Receptor 800-1300 MHz (UHF, 30 cm).

Туре	HEMT uncooled
Channels	2
Receiver Temperature (Zenit)	50 - 95 K (see table)
Frequency Range	0.8 - 1.3 GHz
RF-Filter (fixed)	0.8 - 1.3 GHz
Polarization	LHC and RHC
Feed	Dipole System
Calibration	Noise Diode after 1. Amplifier
1. IF	600-700 MHz
1. Oscillator	ULO1
2. IF	100 - 200 MHz
2. Oscillator	ULO2



Frequency (MHz)	T _{Rec,RHC} (K)	T _{Rec,LHC} (K)	T _{Cal,RHC} (K)	T _{Cal,LHC} (K)
863	65	63	15.0	13.7
1022	50	51	13.1	11.4
1135	57	57	12.9	11.3
1222	61	62	12.9	12.0
1300	95	94	16.1	15.3

Este receptor fue construido para VLBI, pero también ha sido usado para espectroscopia y observaciones en continuo y pulsar. El rango de frecuencias no está libre de interferencias.





figura 9: imágenes del receptor de 30 cm

Receptor 1.3 – 1.7 GHz (18-21 cm).

Type	HEMT, cooled
Channels	2
System Temperature (Zenith)	about 26K (frequency dependent)
Frequency Range	1.29 - 1.72 GHz
RF-Filter (fixed)	1.2 - 1.8 GHz

RF-Filter (selectable)	1.29 - 1.36 GHz 1.35 - 1.48 GHz 1.59 - 1.725 GHz 1.345 - 1.435 GHz
Polarization	LHC and RHC
Feed	MPIfR Prime Focus Horn
Calibration	Noise Diode
VTO	yes
1. IF	90 - 210 MHz
1. Oscillator	ULO1 or LO
Phaseshifter	in ULO-system

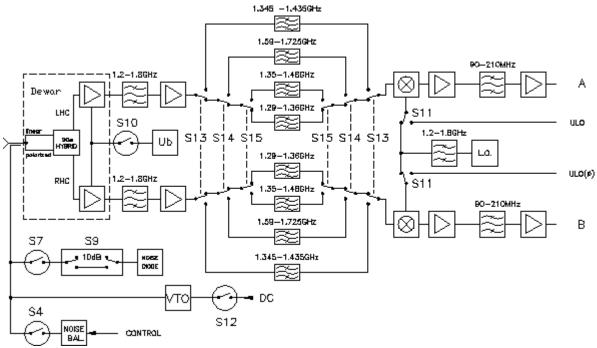


figura 10: receptor a 21 cm

Se trata de un receptor situado en el foco primario que emplea amplificadores HEMT refrigerados.

Receptor 2.3 GHz (13 cm).

Туре	FET uncooled
Channels	1
System Temperature (Zenith)	80 K
Centre Frequency	2.25 GHz
Bandwidth (Amplifier)	100 MHz
RF-Filter	2.2-2.3 GHz

Polarization	RHC
Feed	Offset Paraboloid
Calibration	Noise Diode
Phase Cal	yes
1. IF	100 - 200 MHz
1. Oscillator	ULO2 (x3) 2.1 GHz

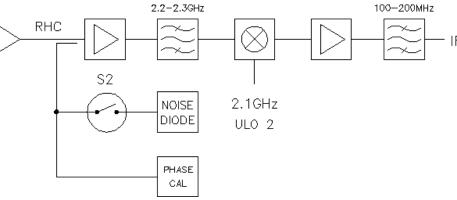
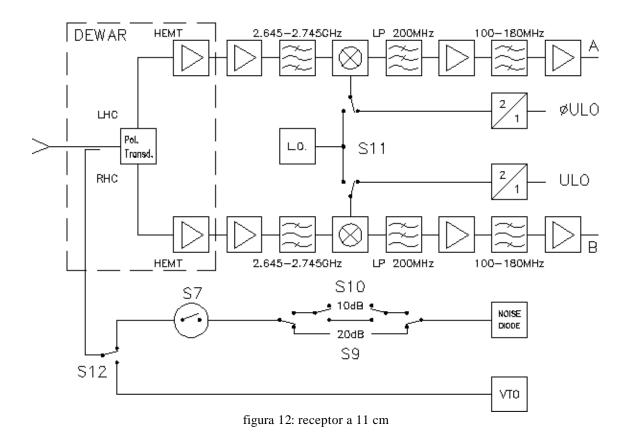


figura 11: receptor a 13 cm

Este receptor está destinado para observaciones VLBI en la banda S/X junto con el receptor de 8.6 GHz. El reflector gregoriano se ilumina con un alimentador offset paraboloide construido cerca del alimentador de 8.6 GHz. Dispone de sistema Phase Cal. El conmutador S2 trabaja de forma síncrona con el conmutador S2 del receptor de 8.6 GHz.

Receptor 2.7 GHz (11 cm).

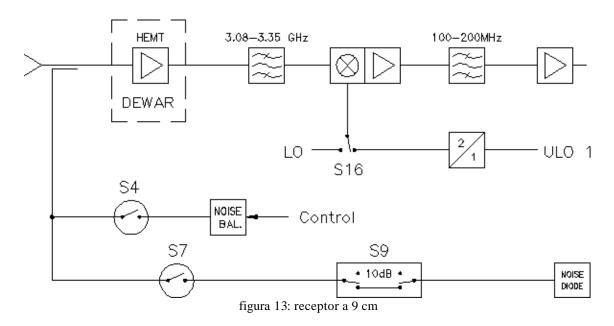
Type	HEMT, cooled
Channels	2
System Temperature (Zenith)	40 K
Centre Frequency	2.695 GHz
Bandwidth (Amplifier)	350 MHz
RF-Filter	2.645 - 2.745 GHz
Polarization	LHC and RHC
Feed	Hybridmodehorn MPI A 007
Calibration	Noise Diode
VTO	yes
1. IF	100 - 180 MHz
1. Oscillator	ULO1 (x2)



Esta banda de frecuencias está a menudo afectada por interferencias. En estos casos el ancho de banda útil es de sólo 40 MHz.

Receptor 3.2 GHz (9 cm).

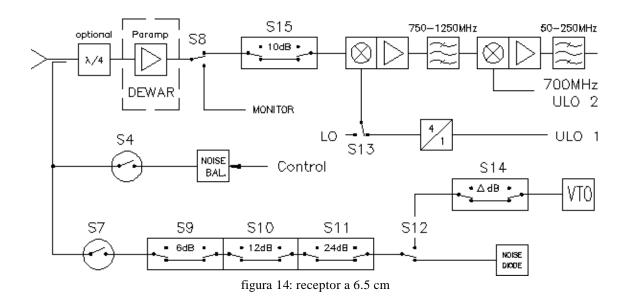
Type	HEMT, cooled
Channels	1
System Temperature (Zenith)	30 K
Centre Frequency	3.2 GHz
Bandwidth (Amplifier)	> 500 MHz
RF-Filter	3.08 - 3.35 GHz
Polarization	linear
Feed	Prime Focus Horn A 096
Calibration	Noise Diode
Noise Balancing	yes
1. IF	100 - 200 MHz
1. Oscillator	ULO1 (x2) or LO (ca. 3.1 GHz)



Este receptor se emplea para trabajar con líneas espectrales en configuración de potencia total.

Receptor 4.6 GHz (6.5 cm).

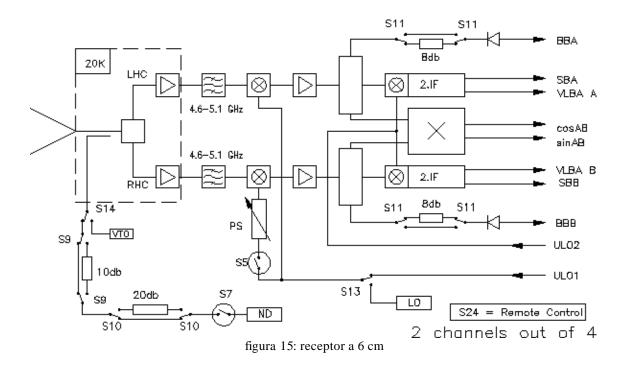
Type	Paramp, cooled
Channels	1
System Temperature (Zenith)	40 K
Centre Frequency	4.6 GHz
Bandwidth (Amplifier)	600 MHz
RF-Filter	no
Polarization	linear or circular
Feed	Prime Focus Horn MPI A 098
Calibration	Noise Diode
VTO	yes
1. IF	750 - 1250 MHz
1. Oscillator	ULO1 (x4) or LO (5.7 GHz)
2. IF	50 - 250 MHz
2. Oscillator	ULO2 700 MHz



Receptor en el foco primario con un preamplificador paramétrico refrigerado. Suele emplearse para polarización lineal pero el sistema puede cambiarse a polarización circular insertando un desfasador ?/4.

Receptor 4.85 GHz (6 cm).

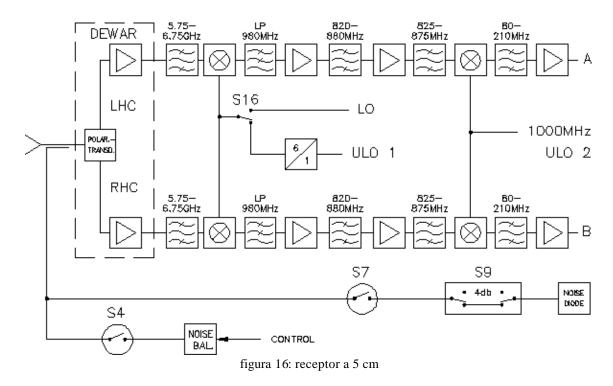
Type	HEMT, cooled
Channels	4
System Temperature (Zenith)	27 K
Receiver Noise Temperature	9 K
Centre Frequency	4.85 GHz
Bandwidth (Amplifier)	500 MHz
RF-Filter	4.6 - 5.1 GHz
Polarization	circular
Feed	2 x Horn A 009
Calibration	Noise Diode
VTO	yes
1. IF	2360 - 2860 MHz
1. Oscillator	ULO1 (x5) or LO (7.460 GHz)
2. IF	500 - 1000 MHz (VLBA) or 100 - 200 MHz (Narrowband, MKIII)
2. Oscillator	ULO2
Broadband-Polarimeter	2 Broadband Polarimeters
Phaseshifter	in channel B and D
Phasecal for VLBI	yes



Receptor permanentemente instalado en la cabina del foco secundario. El frontend dispone de dos dewars idénticos cada uno de los cuales contiene una bocina, un acoplador direccional refrigerado, un polarizador y dos amplificadores HEMT.

Receptor 6.25 GHz (5 cm).

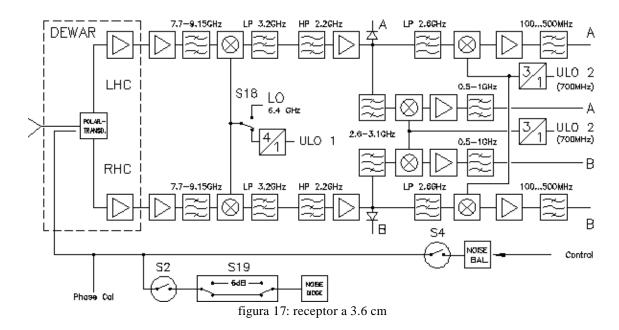
Type	HEMT, cooled
Channels	2
System Temperature (Zenith)	50 K
Centre Frequency	6.25 GHz
Bandwidth	1000 MHz
RF-Filter	5.75 - 6.75 GHz
Polarization	LHC and RHC
Feed	Prime Focus Horn
Calibration	Noise Diode
Noise Balance	yes
1. IF	825 - 875 MHz
1. Oscillator	ULO1 (x4) or LO (ca. 5 GHz)
2. IF	125 - 175 MHz
2. Oscillator	ULO2 1000 MHz



Receptor de dos canales con amplificadores HEMT. Empleado para VLBI y espectroscopia.

Receptor 8.6 GHz (3.6 cm).

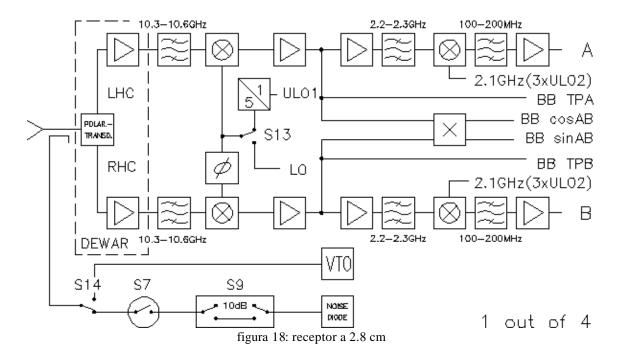
Type	HEMT, cooled
Channels	2
System Temperature (Zenith)	23-25 K
Receiver Noise Temperature	4 K
Centre Frequency	8.6 GHz
Bandwidth (Amplifier)	1.2 GHz
RF-Filter	7.95 - 9.15 GHz
Polarization	LHC and RHC
Feed	Secondary Focus Feed
Calibration	Noise Diode
Noise Balance	yes
Phase Cal	yes
1. IF	2.2 - 3.2 GHz
1. Oscillator	ULO1 (x4) or LO (ca. 5.9 GHz)
2. IF (VLBI)	a. 100 - 500 MHz (MK III) b. 0.5 - 1 GHz (VLBA)
2. IF (Spectroscopy)	100 - 200 MHz
2. Oscillator	ULO2 (x3) 2.1 GHz



Receptor situado en el foco secundario. Emplea amplificadores HEMT refrigerados y un transductor de polarización también refrigerado. Junto con el receptor a 2.3 GHz forma el receptor S/X.

Receptor 10.7 GHz (2.8 cm).

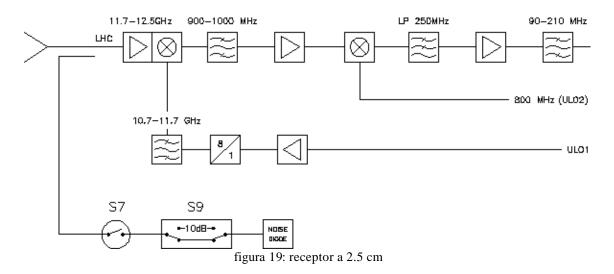
Type	HEMT; cooled
Channels	8
System Temperature (Zenith)	50 K
Centre Frequency	10.45 GHz
Bandwidth (Amplifier)	300 MHz
RF-Filter	10.3 - 10.6 GHz
Polarization	LHC and RHC
Feed	Secondary Focus Feed
Calibration	Noise Diode
VTO	yes
1. Oscillator	ULO1 (x5)
2. Oscillator	ULO2 (x3) 2.1 GHz
2. IF	100 - 200 MHz
Broadband-Polarimeter	yes



Este sistema está compuesto por 4 alimentadores, 8 canales y 4 polarímetros de banda ancha. El filtrado en RF es esencial para proteger de las interferencias de satélite-TV.

Receptor 12.1 GHz (2.5 cm).

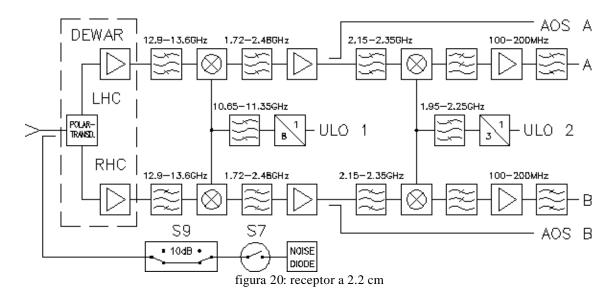
Туре	HEMT, uncooled
Channels	1
System Temperature (Zenith)	170 K
Centre Frequency	12.1 GHz
Bandwidth (Amplifier)	800 MHz
RF-Filter (integrated)	11.7 - 12.5 GHz
Polarization	LHC
Feed	Prime Focus Horn
Calibration	Noise Diode
1. IF	900 - 1000 MHz
1. Oscillator	ULO1 (x8)
2. IF	100 - 200 MHz
2. Oscillator	ULO2 800 MHz



Receptor situado en el foco primario. Empleado en VLBI en configuración de potencia total.

Receptor 13.25 GHz (2.2 cm).

Туре		HE	EMT, cooled
Channels		2	
System Tempera	ture (Zenith)	40-	-50 K
Centre Frequency	y	13.	25 GHz
Bandwidth (Amp	olifier)	20	Hz
RF-Filter		12.	9 - 13.6 GHz
Polarization		LH	IC and RHC
Feed		Pri	me Focus Horn
Calibration		No	ise Diode
1. IF		1.7	2 - 2.48 GHz
1. Oscillator		UL	.O1 (x8)
2. IF		100	0 - 200 MHz
2. Oscillator		UL	.O2 (x3) 2.1 GHz
Sky Frequency	Tcal Channel	lΑ	Tcal Channel B
13.04GHz	21.0K / 1.8K		22.7K / 1.9K
13.25GHz	20.8K / 12.1	K	22.3K / 2.1K
13.45GHz 17.7K / 1.4k			20.1K / 1.9K



Receptor de potencia total empleado principalmente para medidas espectroscópicas. No dispone de polarímetro.

Receptor 16.1 GHz (1.9 cm).

Туре	InP-HEMT, cooled
Chanels	1
Receiver Temperature	see Table below
Center Frequency	16,1 GHz
RF-Filters	13,5-18,7 GHz
Polarisation	linear
Speisehorn	MPI Primary Focus Horn
Calibration	Noise Diode, Tab. see below
1. IF	3,85- 4,65 GHz 6,55-7,35 GHz
1. Oscillator	Multiplier (7 x ULO1)
2. IF	1050-1650 MHz
2. Oscillator	5,6 GHz (8 x ULO2)
3. IF	500-1000 MHz 100-200 MHz
3. Oscillator	2,1 GHz (3 x ULO2) 1,4 GHz (2 x ULO2)

Receptor 15, 23, 43 GHz (2, 1.3, 0.7 cm).

Type	HEMT, cooled
Channels	6
Receiver Temperature (Zenith)	

15/23/43 GHz	30/30/100 K
Centre Frequency	14.6/23/43 GHz
Bandwidth (RF-Filter)	2/2.7/2.8 GHz
Polarization	LHC/RHC
Feed	Secondary Focus Feeds
Calibration	Noise Diodes
1. IF	1.95-4.05 GHz
1. Oscillator	ULO1
2. IF	3.4 -4.1 GHz
2. Oscillator	ULO2
3. IF	100-200 MHz and 500-1000 MHz

Receptor montado permanentemente en el foco secundario. Los tres alimentadores están situados en una fila en el eje de elevación. Los receptores de 15 y 23 GHz comparten un mismo dewar. El receptor de 43 GHz dispone de un dewar propio.

Sólo se puede observa con un único receptor debido a que comparten elementos del sistema de OL y de IF. La conmutación entre receptores se realiza en segundos mediante control remoto. El sistema está especialmente construido para permitir rápidos cambios de frecuencia durante las observaciones de VLBI.

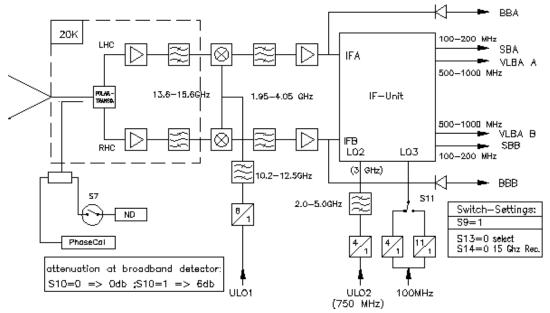


figura 21: receptor a 15 Ghz - 2cm

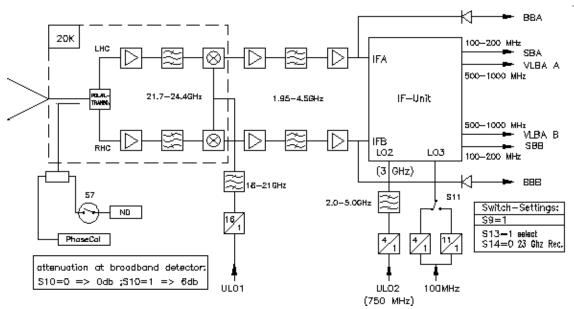


figura 22: receptor a 23 GHz - 1.3cm

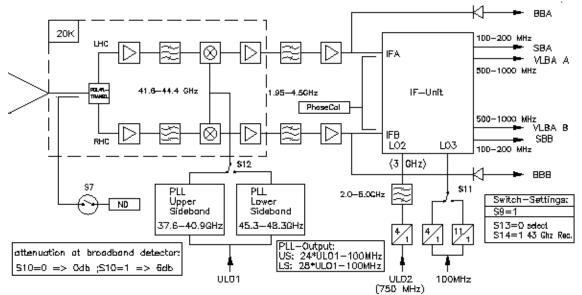


figura 23: receptor a 43 GHz - 0.7cm

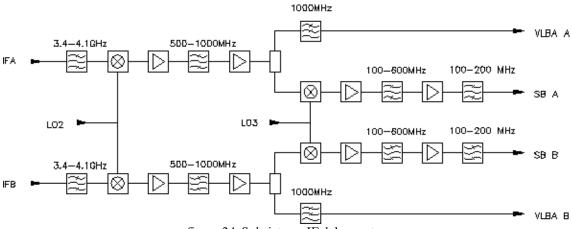


figura 24: Subsistema IF del receptor

Receptor 18 – 26 GHz (1.3 cm).

Type	HEMT, cooled
Channels	2
System Temperature (Zenith)	30 K
Centre Frequency	18-26 GHz
RF-Filters	yes, see below
Polarization	2 linear (OMT)
Feed	Rotating Prime Focus Horn
Calibration	Noise Diode
1. IF	2-4 GHz (Broadband)
1. Oscillator	Multiplier (16xULO ₁)
2. IF	500 - 1000 MHz
2. Oscillator	ULO ₂ (x4) 3.750 GHz

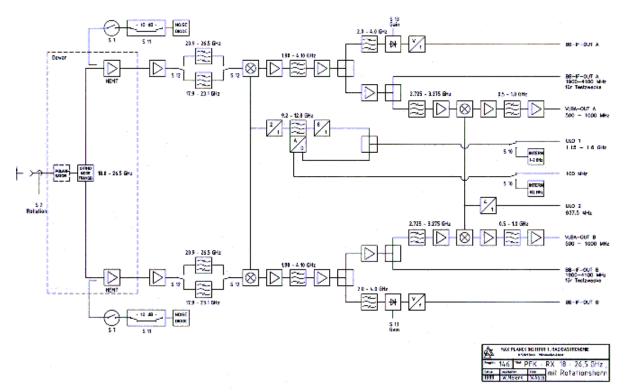


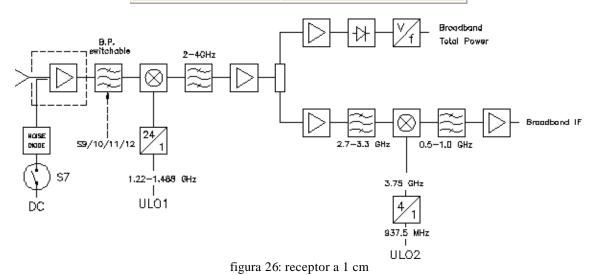
figura 25: receptor a 1.3 cm

Se trata de un sistema ajustable para observaciones de líneas espectrales. El rango total de frecuencias se divide mediante filtros pasobanda conmutados. Es necesario emplear correctamente combinaciones de filtros de RF y configuraciones del sistema ULO (osciladores locales).

RF-Range (GHz)	RF-Band	BP (GHz)	S12	ULO ₁ (GHz)		
17.9 - 23.0	lower	17.9 - 23.1	0	1.36875 - 1.5625		
20.96 - 26.24	upper	20.9 - 26.5	1	1.185 - 1.39		

Receptor 27 – 36 GHz (1 cm).

Type	HEMT, cooled
Channels	1
Receiver Temperature	70 - 40 K)
Centre Frequency	27 - 36.7 GHz
RF-Filters	yes, see below
Polarization	linear
Feed	Prime Focus Horn
Calibration	Noise Diode
1. IF	2 - 4 GHz (Broadband)
1. Oscillator	Multipier (24*ULO1)
1. IF	2.7 - 3.3 Ghz (Narrowband)
2. Oscillator	ULO2 (x4)
2. IF	500 - 1000 MHz



En este receptor el margen de frecuencias se divide en 3 partes empleando filtros paso banda conmutados.

RF-Range (GHz)	Sideband	BP (GHz)	S09	S10	S11	S12	ULO ₁
27-29.1	lower	26.4-29.1	0	0	0	0	1.25-1.338
28.5-32.4	lower	24.8-33.7	1	0	1	0	1.313-1.488
32.3-36.7	upper	32.3-36.7	1	1	1	1	1.220-1.404

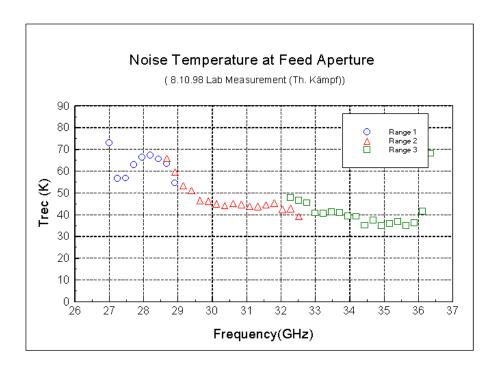
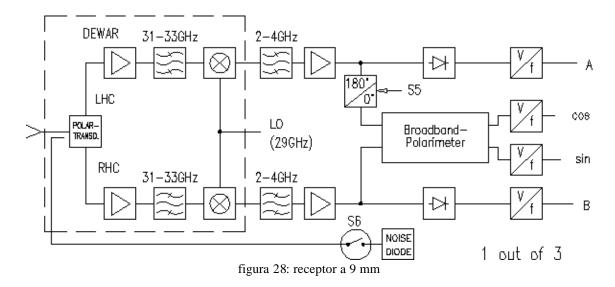


figura 27: temperatura de ruido en las tres bandas

Receptor 32 GHz (9 mm). Foco secundario.

Módulo 1: polarización.

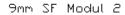
Туре	HEMT cooled
Channels	6
System Temperature (Zenith)	70 K
Centre Frequency	32 GHz
Bandwidth	2 GHz
RF-Filter	31 -33 GHz
Polarization	LHC, RHC
Feed	3 x Horn A151
Calibration	Noise Diode
1. IF	2-4 GHz
1. Oscillator	29 GHz
Broadband-Polarimeter	yes (Frontendbox)



En este primer módulo cada alimentador está seguido de un polarizador circular y dos amplificadores HEMT refrigerados como primera etapa del receptor. Está situado en el foco secundario.

Módulo 2: correlación.

Type	HEMT cooled
Channels	6
System Temperature (Zenith)	60 K
Centre Frequency	32 GHz
Bandwidth	2 GHz
RF-Filter	31 -33 GHz
Feed	3 Horns
Calibration	Noise Diodes
1. IF	2-4 GHz
1. Oscillator	29 GHz



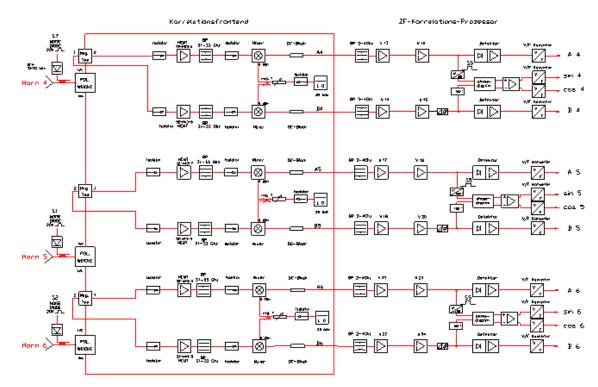


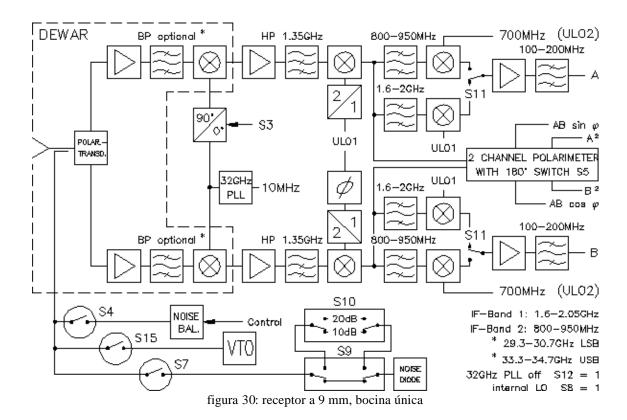
figura 29: receptor a 9 mm

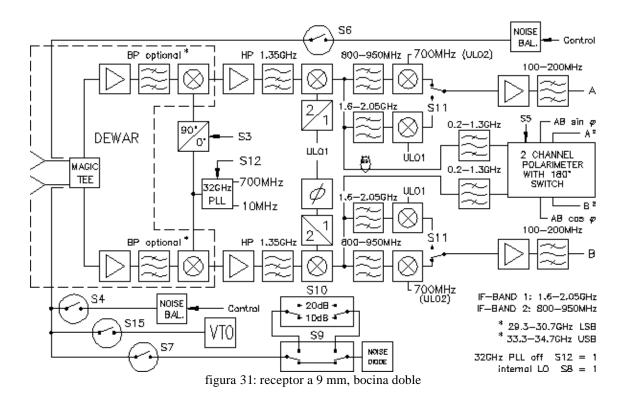
Este segundo módulo fue diseñado como un receptor de correlación para reducir los problemas de estabilidad. Tras cada alimentador se sitúa un polarizador circular. Dos canales adyacentes se unen mediante una T mágica. Dos amplificadores HEMT refrigerados y un discriminador de fase empleado como correlador forman la etapa receptora.

Receptor situado en el foco secundario.

Receptor 32 GHz (9 mm): foco primario.

Type	HEMT, cooled
Channels	2
System Temperature (Zenith)	100 K
Receiver Noise Temperature	45 / 75 K
Centre Frequency	32 GHz
Bandwidth	2 x 800 MHz
RF-Filter	(optional)
Polarization	circular
Feed	dual or single
Calibration	Noise Diode

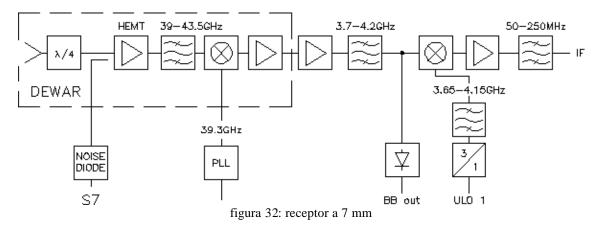




Receptor situado en el foco primario. Es un sistema de dos canales basados en amplificadores HEMT refrigerados. El sistema está diseñado con dos configuraciones diferentes del frontend (correlación ó potencia total polarización). Puede usarse sin filtros de RF en doble banda lateral.

Receptor 43 GHz (7 mm).

Type	HEMT, cooled
Channels	1
System Temperature (Zenith)	120 K
Centre Frequency	43 GHz
Bandwidth (instantaneous)	500 MHz
RF-Filter	39 - 43.5 GHz
Polarization	LHC
Feed	Prime Focus Horn
Calibration	Noise Diode
1. IF	3700 - 4200 MHz
1. Oscillator	39.3 GHz (PLL, fixed)
2. IF	50 - 250 MHz
2. Oscillator	ULO1

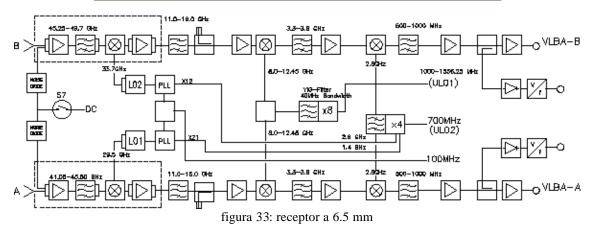


Receptor de potencia total situado en el foco primario. Todos los elementos del frontend están refrigerados. La segunda etapa amplificadora emplea transistor FET en torno 4 Ghz. Receptor empleado fundamentalmente en aplicaciones VLBI.

Receptor 40 – 50 GHz (6.5 mm).

Type	HEMT, cooled
Channels	2
Receiver Temperature	60-70 K ***
Frequency Range Rec. A /td>	41.05-45.5 GHz
Frequency Range Rec. B	45.25-49.7 GHz

Polarization	linear
Feed	2 Primefocus Horns
Calibration	Noise Diode
1. IF	11-16 GHz
1. Oscillator	PLL 29.5GHz(A), 33.7GHz(B)
2. IF	3.3-3.8 GHz
2. Oscillator	ULO1 x 8 (1-1.55625 GHz)
3. IF	500 - 1000 MHz
3. Oscillator	ULO2 (700MHz) x4



El rango de frecuencias de este receptor se divide en dos canales, cada uno de los cuales dispone una bocina alimentadora distinta. Los canales pueden usarse simultáneamente con un desplazamiento de frecuencia de 5 GHz.

El receptor fue actualizado en 1998 con un nuevo amplificador HEMT de InP en el canal A.

<u>Receptor 84 – 96 GHz (3mm).</u>

Type	HEMT, cooled
Channels	3
Receiver Temperature	85 K (Channel A), 100K (Channel B), 135 K (Channel C)
Center Frequency	84 - 95,5 GHz
Bandwidth	2 GHz (Total Power Output), 500 MHz (VLBA-ZF)
RF-Filters	no
Polarization	Horn I: LHC (Channel A) and RHC (Channel B), Horn II: LHC (Channel C)
Feed	2 Primary fokus horns

Calibration	Noise diode and pulse cal injection in IF
1. IF	19.5 - 22.5 GHz
1. Oscillator	Frequency Multiplier ULO1*48 (59 -75 GHz) ULO1 = 1312,5 - 1562,5 MHz
2. IF	2 - 4 GHz
2. Oscillator	Frequency Multiplier ULO2*32 (18 GHz) ULO2 = 562,5 MHz
3. IF	0,5 - 1,0 GHz
3. Oscillator	Frequency Multiplier ULO2*4 (2,25 GHz) ULO2 = 562,5 MHz

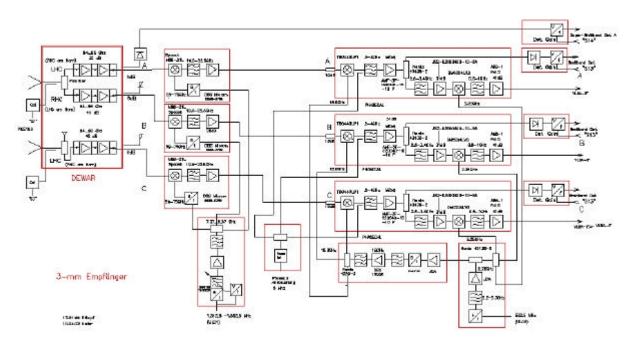


figura 34: receptor a 3 mm

 $\label{eq:ULOFrequencies: f_ULO1=(fsky-21,0GHz)/48; f_ULO2=562,5 MHz} \\ \text{MHz}$

Se trata de un sistema superheterodino de banda lateral única variable. Empleado para observaciones de línea y potencia total. Permite conmutado de haz (dispone de dos bocinas separadas una distancia d= 9.7mm, la separación del haz en el cielo es de 55 arcsec).

Empfängerrauschtemperaturen

figura 35: temperatura de ruido del receptor a 3 mm

Receptores en construcción.

- Receptor 11cm
- Receptor 5cm
- Receptor 7 haces banda Ka.
- Receptor 7 haces 21cm

En la siguiente figura se indica la disposición de los receptores en el foco secundario.

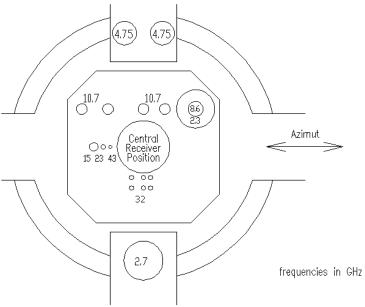


figura 36: Receptores en foco secundario del radiotelescopio de 100m

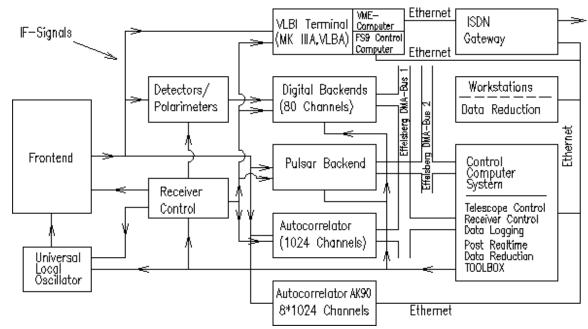
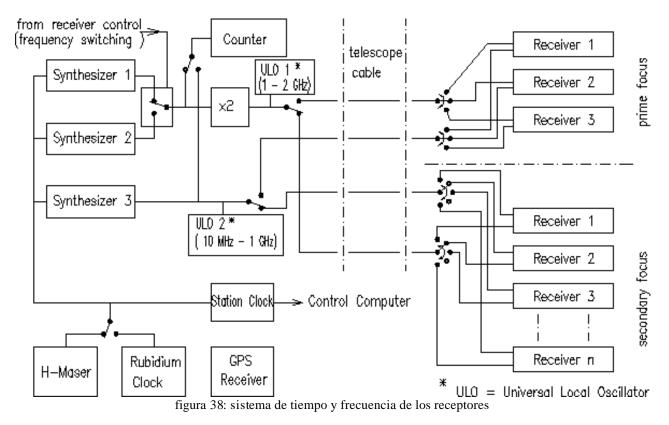


figura 37: sistema total de recepción



Más información:

mschmitz@mpifr-bonn.mpg.de

1.2.2 Metsahövi radio observatory (Finlandia)

El radio observatorio de Metsahövi está en funcionamiento desde el año 1974. Se trata de un instituto de desarrollo de la universidad de tecnología de Helsinki. Su principal instrumento radio-astronómico es un radiotelescopio de 14 metros de diámetro situado en Metsahövi. Entre los años 1992 y 1994 se realizó una mejora del radiotelescopio. Se sustitutó el radomo por uno nuevo y se instalaron nuevos paneles en la superficie reflectora. La precisión de la superficie en la actualidad es de 100 μm (rms).

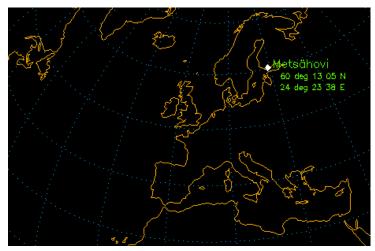


figura 39:Situación geográfica del observatorio astronómico de Metsahövi

La actividad realizada en el observatorio se centra en el rango milimétrico y microondas, frecuencias comprendidas entre los 5 y los 120 GHz (6cm, 2.5mm). Se efectúan trabajos de investigación tecnológica en desarrollo de receptores de microondas, procesado de señal y diseño de antenas.

Una de las líneas de trabajo más importantes es el VLBI.





figura 40:Observatorio astronómico de Metsahövi

Receptores existentes en el radio telescopio:

El estudio de receptores y componentes de microondas en los laboratorios de la Universidad de tecnología de Helsinki (HUT) se remonta a la década de los años 60. Se han realizado trabajos en los siguientes campos: amplificadores paramétricos, uniones SIS, mezcladores Schottky, amplificadores de bajo ruido basados en transistores FET y HEMT, multiplicadores de frecuencia, osciladores Gunn, PLL. Se emplean técnicas criogénicas para mejorar la sensibilidad de los sistemas receptores

En los últimos años se ha procedido al diseño y construcción de los siguientes sistemas:

- Receptor criogénico de dos canales a la frecuencia de 22 GHz, para medidas VI BI
- Receptor de polarización a 37 GHz, para estudios solares.
- Receptor refrigerado a la frecuencia de 43 GHz de doble canal, para VLBI.
- Receptor SIS criogénico a 147 GHz prestado por IRAM, observaciones VLBI a 2mm.

La siguiente tabla indica las especificaciones principales.

Receiver	Signal Freq. [GHz]	IF freq. [GHz]	Polarization	Trec
22 GHz Continuum	21.0-22.0 / 22.4-23.4	0.2-1.2	Linear	300 K
22 GHz VLBI	21.982-22.482	0.5-1.0	LCP/RCP	60 K
37 GHz Continuum/Solar	35.3-36.3 / 37.3-38.3	0.5-1.5	Linear	280 K
37 GHz Solar	37.0	0.25-1.0	4 Stokes	420 K
43 GHz VLBI	40.0-45.0	8.5-11.5 / 0.5-1.0	LCP/RCP	65 K
80-115 GHz Spectral Line	80-115	1.0-1.6	Linear	150 K
147 GHz VLBI	147	3.7-4.2/0.5-1.0	LCP/RCP	145 K

Se indican también algunas consideraciones importantes sobre el diseño de los distintos receptores.

Receiver	Receiver construction	
22 GHz Continuum	Dual horn, Dicke-switched receiver at room temperature, free running Gunn- oscillator as local oscillator, accurate temperature control of microwave and IF- components, very reliable and stable receiver	
22 GHz VLBI	Cryogenic single sideband receiver, phase locked FET DRO with frequency doubler as local oscillator (LO)	
37 GHz Continuum/Solar	Dual horn, Dicke-switched receiver with a HEMT preamplifier at room temperature, remote controllable waveguide switch for selection between continuum or solar observations, high dynamic range (log IF-amplifier)	
37 GHz Solar	A mixer/ IF-preamplifier receiver with waveguide ortho-mode transducer (OMT) and a correlation unit	
43 GHz VLBI	Cooled dual channel receiver with HEMT preamplifiers and a WR-22 polarizer; two spectrally pure YIG- oscillators as LO's, digital phase locking with good long term phase stability	
80-115 GHz Spectral Line	Cryogenic beam-lead Schottky diode mixer receiver, widely tunable Gunn-oscillator as LO, analog phase locking with high harmonic number (17-22)	
147 GHz VLBI	A 2 mm SIS Receiver as a loan from Instituto de RadioAstronomia Milimetrica (IRAM), Spain. Waveguide SIS mixer with tuning backshort and corrugated feed	

horn in a 3 K cryostat. InP Gunn oscillator followed by a Schottky diode frequency doubler as a LO. Phase locking with 16th harmonic of a Rohde Schwarz synthesizer giving reference frequency of 4.7125 GHz. The original IF band at 3.7-4.2 GHz is transferred with a second down converter to the standard VLBI band of 0.5-1.0 GHz. Quasi-optical feed system in front of the horn consists of 3 plane mirrors and 2 elliptical mirrors together with rotating chopper beam-switch

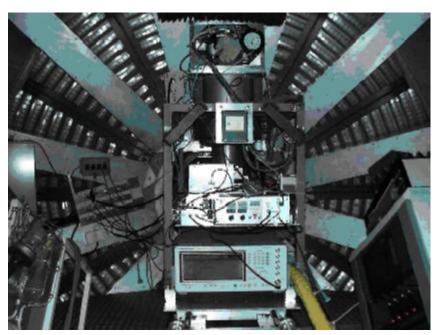


figura 41:Receptor de 2mm instalado en el radiotelescopio

Contacto:

vlbi@hut.fi

jussi@kurp.hut.fi (receptores)

1.2.3 Observatorio espacial de Onsala (Suecia)

Este observatorio dispone de dos radiotelescopios, uno de 20 metros y otro de 25 metros de diámetro.



figura 42:Radiotelescopio de 20 metros de Onsala



figura 43:Radiotelescopio de 25 metros de Onsala

Radiotelescopio de 20 metros:

longitude

Este radiotelescopio fue construido en el año 1975 por la empresa ESSCO (Electronic Space Systems Corporation). En el año 1992 se realizaron mejoras. Está recubierto por un radomo. La transmisión del radomo está optimizada para frecuencias en torno a los 100 GHz (95%).

El telescopio es una antena cassegrain con montura altacimutal. La posición del subreflector se controla por ordenador para compensar las deformaciones gravitacionales del reflector principal. Se indican a continuación las especificaciones del radiotelescopio.

20-m Telescope Parameters (October 2001)

11d55'35" (E)

latitude	57d23'45"	
diameter	20.1 m	
surface accuracy	130 µm (rms)	
pointing accuracy	3" rms in Az and El	
Half power beamwidth (FWHM):		
22 GHz	170"	
43 GHz	88"	
86 GHz	44"	
115 GHz	33"	
Main beam efficiency:		
22 GHz	0.68	
43 GHz	0.66	
86 GHz	0.65	
115 GHz	0.43	
Aperture efficiency:		
22 GHz	0.55	(17 Jy/K)
43 GHz	0.53	(18 Jy/K)
86 GHz	0.50	(22 Jy/K)
115 GHz	0.32	(31 Jy/K)
Moon efficiency:		
100 GHz	0.9	

Receptores que equipan el radiotelescopio.

Frequency range	Receiver temperature	Receiver type
2.2 - 2.4 GHz	60 K	HEMT amplifier
8.2 - 8.4 GHz	80 K	HEMT amplifier
10.7 - 12.4 GHz	80 K	HEMT amplifier
21- 26 GHz	50-90 K	HEMT amplifier
40 - 48 GHz	55-70 K	HEMT amplifier
84 - 116 GHz	80-130 K	SIS mixer

En cuanto a los back end, se dispone de un equipo Mark4 y las grabadoras correspondientes; dos bancos de filtros y un autocorrelador digital.

Spectrometer	Total bandwidth	Resolution
Filter bank A	512 MHz	1 MHz
Filter bank B	64 MHz	250 kHz
Correlator	20, 40,, 1280 MHz	12.5, 25,, 800 kHz

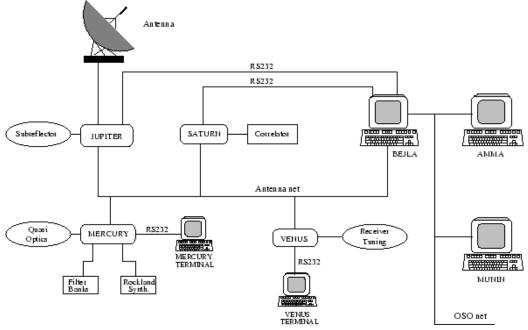


figura 44: Sistema de control del radiotelescopio de 20 metros de Onsala

Radiotelescopio de 25 metros:

Este radiotelescopio fue construido en el año 1963. Su montura es del tipo ecuatorial. Es empleado también en observaciones VLBI. El radiotelescopio está equipado con los siguientes receptores:

Frequency range	Receiver temperature	Receiver type
0.8 - 1.2 GHz	100 K	HEMT amplifier
1.2 - 1.8 GHz	30 K	HEMT amplifier
4.5 - 5.3 GHz	80 K	FET amplifier
6.0 - 6.7 GHz	80 K	HEMT mixer

El "back end" del receptor está formado por los equipos de adquisición de datos, la unidad de almacenamiento y un espectrómetro de autocorrelación con las siguientes especificaciones:

Spectrometer	Total bandwidth	Resolution
Correlator	0.05,, 6.4, 12.8 MHz	0.03, , 4, 8 kHz

Contacto:

www.rss.chalmers.se

1.2.4 Shanghai astronomical observatory(China)

El radiotelescopio Sheshan posee una parábola de 25 metros de diámetro. Su montura es altacimutal. Se encuentra situado en el área de Sheshan a unos 40 Kms al oeste de Shanghai.

Este radiotelescopio está operativo desde el año 1987 y es uno de los cinco principales instrumentos del Observatorio astronómico nacional chino.

La estación es miembro de la EVN (European VLBI Network), IVS (International VLBI Service for geodesy) y del telescopio Asia-Pacífico.

La precisión de la superficie reflectora es de **650 µm (rms)**, y la precisión de puntería es de 20' (rms).

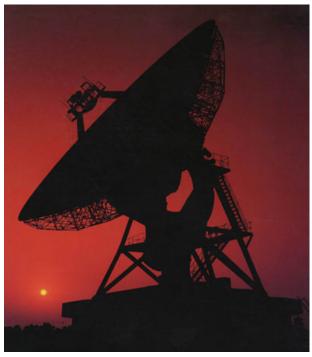


figura 45: Radiotelescopio de Shesham (Shanghai)

Receptores del radiotelescopio.

En Sheshan están disponibles cinco bandas de observación VLBI.

- Banda L (18cm).
- Banda C (6cm).
- Banda K (1.3cm).
- Banda S/X (13/3.6cm).

Las bandas L, C y K se emplean en estudios astrofísicos, mientras que la banda S/X es usada en geodesia. En ocasiones la banda X también se emplea en astrofísica.

El sistema receptor en banda X fue actualizado a un sistema de banda ancha en Diciembre del año 2000.

En la siguiente tabla se indican los parámetros fundamentales de los receptores existentes en el radiotelescopio.

Band(cm)	frequency(MHz)	Eff.(%)	Туре	Polarization(K)	T_{system}
18(L)	1620-1680	38	Room Temperature	LCP &RCP	~ 100
13 (S)	2150-2350	26	Room Temperature	RCP	~ 100
6 (C)	4700-5100	56	Room Temperature	LCP	~ 100
3.6 (X)	8200-9000	49	Cryogenic	RCP	~ 50
1.3 (K)	22100-22600	20	Cryogenic	RCP & LCP	~ 110

Un nuevo receptor de doble polarización para la banda C tenían previsto estuviese operativo para medidos del año 2004.

La conmutación de frecuencia entre los receptores de banda C, K y S/X se puede efectuar en sólo 3 minutos. De esta forma el sistema es muy útil para realizar observaciones multi-frecuencia.

En cuanto a los sistemas de almacenamiento de datos, se dispone de equipos VLBA, MARK4 y S2.

Contacto:

shao@shao.ac.cn

1.2.5 Hartebeesthoek (Sudáfrica)

Hartebeesthoek se encuentra situado a 65 kilómetros al noreste de Johannesburgo en el condado provincial de Gauteng. El telescopio está situado en un valle aislado que protege de las interferencias.

26-m Telescope coordinates	Astronomical	Geodetic
Latitude	25 53' 14".4 25.887 deg. South	-25 53' 23".1246
Longitude	27 41' 05".2 27.685 deg. East	+27 41' 07".107
Height above ellipsoid (WGS84)	-	1415.821m

El radiotelescopio posee montura ecuatorial. Se trata de un sistema Cassegrain de 25.9 metros de diámetro. Fue construido en el año 1961.

Diameter	25.9 m
Focal Ratio (f/D)	0.424
Surface Tolerance	2 mm rms
Wavelength Limit	2.5 cm
Feed System	Cassegrain
Pointing Resolution	0.001 degrees
Repeatability	0.004 degrees
Slew Rate on each axis	0.5 deg/s

La superficie de la antena está configurada mediante paneles de aluminio. Su precisión es tal que permite operar hasta longitudes de onda de 1.3cm (22 GHz).





figura 46: Fotos del radiotelescopio de Hartebeesthoek

Especificaciones técnicas de los receptores.

Se presentan en la siguiente tabla los principales parámetros de los receptores existentes en el radiotelescopio.

Observi		rs for the Ha	rtebeesthoek	26-metre	radio tele	escope	
Band	<18 cm>	<13 cm>	<6 cm>	<5 cm>	<4.5 cm>	<3.5 cm>	<2.5 cm>
Feed horns	1 x circular	1 x circular	2 x diagonal	chees	onal with ecutter rizer	2 x circular	1 x circular
Polarization	LCP+RCP	LCP+RCP	LCP+RCP	LCP-	+RCP	LCP+RCP	LCP+RCP
Amplifier	cryogenic HEMT	cryogenic HEMT	cryogenic HEMT	cryogen	іс НЕМТ	cryogenic HEMT	uncooled PHEMT
Standard frequency (MHz)	1666	2280	5000	6028	6670	8580	12180
Lower frequency limit (MHz)	1608	2210	4650	6008 6658		8180	12048
Upper frequency limit (MHz)	1727	2344	5200	6052	6682	8980	12216
Beamwidth: full width at half max. (degrees)	0.494	0.332	0.160	0.125 0.113		0.092	0.059
Beamwidth: between first nulls (degrees)	1.19	0.80	0.36	0.34 0.32		0.23	0.16
Radiometry max. bandwidth (MHz) ⁴	20	40	400	20	20	800	128
Zenith system temperature (K)	39	44	50	50	57	60	95
Pre-upgrade Point Source Sensitivity per polarization (Jy/K) ⁶	5.2	4.9	5.8	6.9	7.9	8.6	12.1
Post-upgrade Point Source Sensitivity per polarization (Jy/K) ⁶	5.1	4.8	5.8	5.1	5.1	5.7	5.1
Pre-upgrade System Equivalent Flux Density per polarization (Jy) ⁶	180	200	290	280	400	560	1200
Post-upgrade System Equivalent Flux Density per polarization (Jy) ⁷	200	210	290	255	290	340	480

Los receptores de 6 y 3.5 cm forman un sistema dual y permiten realizar radiometría conmutada de Dicke.

Los receptores de 5 y 4.5cm comparten la bocina y el front end.

El receptor de 18cm puede operar sin filtrado o con filtros conmutados por el sistema de control centrados en 1612, 1650, 1666 y 1720 MHz.

Instrumentación disponible:

- Terminal VLBI MK5.
- Terminal VLBI MK4.
- Terminal VLBI S2.
- Espectrómetro de correlación.
- Radiómetro de potencia total y conmutado de Dicke.

Contacto:

info@hartrao.ac.za

1.2.6 Medicina (Italia)

El Instituto de Radioastronomía Italiano (IRA) es uno de los institutos creados por el CNR (Italian Nacional Research Council). Posee una plantilla de en torno a 100 personas: astrónomos, ingenieros electrónicos, informáticos, soporte técnico y administrativo. Las instalaciones principales se encuentran en Bolonia. Posee otras sedes en Florencia, Medicina, Noto y Cagliari.

IRA construyó en el año 1960 el Radiotelescopio denominado "Cruz del Norte" situado en Medicina (cerca de Bolonia). Posee unas dimensiones de 540x640 metros y se emplea en observaciones de baja frecuencia. También posee **dos radiotelescopios de 32 metros de diámetro situados en Medicina y en Noto (Sicilia)**, que forman parte de la red europea de VLBI. Se está construyendo un nuevo radiotelescopio de 64 metros de diámetro (SRT) en Sardinia (cerca de Cagliari).



figura 47: Observatorio astronómico de Medicina (Italia)



figura 48: "Cruz del Norte", Observatorio astronómico de Medicina (Italia)



figura 49: Radiotelescopio de 32m, Observatorio astronómico de Medicina (Italia)

En la siguiente tabla se indican los receptores existentes en el Radiotelescopio de Medicina y sus parámetros fundamentales.

Istituto di Radioastronomia Parabola VLBI di Medicina (BO) 11/02/2005 file: CARECuew.DOC

RECEIVER CHARACTERISTIC

Secondary Focus	Pol.	Teal L	(°K)² R	L.O. freq. MHz	ampl. dBm	Cooled	Hemt	λ/D	Man be N/S	am E/W	G K/Jy	E %	Isys zer L	(PK) nith R	Uneful band GHz	Istantaneous band GHz
6 GHz 1 Scan	L&R	20.5	19.6	8100-2300	13.0	N	Y	5.4			0.145	50%	99	92	59-7.1	5.9-6.3
6.7GHz ⁺ 4.5cm	L&R	22	21.1	8700-2300	13.0	N	Y	4.8			0.145	50%	99	92	3.9-7.1	6.5-6.9
5 GHz 6 cm	L&R	6.8	6.8	1150 x 4	14	Y	Y	6.4	7.5	7.4	.169	58%	45	52	4.65-5.15	4.70 - 5.05

Primary Focus	Pol.	I cal	R R	L.O. freq. MHz	ampl. dBm	Coole d	Heunt)./D	1000	ared an E/W	G K/Jy	E %	T ten	(°K) ith R	Useful band GHz	Intantaneous band GHz
22 GHz 13 cm	L&R	31.7	30.2	1735.5x8+8080 (da 1710 a 1945)	19.9	Y	Y	1.4"	2.0	2.0	.110	38%	92	95	21.85-24.14	22.064-22.464
	SUT	34.2		1710x8+8080	17				1				53		9 9	21.860-22.260
	-	31.7		1757x8+8080									95			22.236-22.536
	207	31.7		1804x8+8080	7					6	7	7 7	102		6	22.612-23.012
	0.7	35.8		1851x8+8080						¥.			98		N D	22.988-23.388
	3 -	33.0		1898x8+8080					11	13			99		8 5	23.364-23.764
	S	28.0	0.277.638	1945x8+8080		747	1000			Same	Company.		110	Lawrence .	Same and the	23,740-24,1404
3.3 GHz 3.6 cm	L&R	8.8	113	2020 x 4	fixed	- Y	Y	3.9"	4.8	5.0	341	48%	39	37	8.18-8.98	8.18 - 8.98
2.3 GHz 13 cm	L&R	13.5	18.9	2020 x 1	flored	Z.	Y	14	18.6	17.3	.125	43%	50	50	2.2-2.36	2.20 - 2.35
1.6GHz ¹ 18cm	L&R	21.7	24.4	1295 x 1	15	N	Y	19.3	27.5	27.6	.106	36%	65	62	1.595-1.7153	1.625 - 1.705
1.4GHz1 21cm	L&R	12.7	15.5	1036 x 1	14	N	Y	22.6	31.0	31.3	.120	41%	56	54	1.35-1.453	1.366 - 1.446

- (1) 6 and 6.6GHz are the same receiver. The same holds for 1.4/1.6GHz
- (2) Teal values are available throughout the whole band (3) Change the LO according to have an IF band 330 to 410MHz
- (4) The istantaneous bandwidth is 400MHz if you use MK4 terminal. On the coaxial cable coming from the receiver it is 800MHz

1.2.7 Noto (Italia)

El Instituto de Radioastronomía Italiano (IRA) es uno de los institutos creados por el CNR (Italian Nacional Research Council). Las instalaciones principales se encuentran en Bolonia. Posee otras sedes en Florencia, Medicina, Noto y Cagliari.

IRA construyó en el año 1960 el Radiotelescopio denominado "Cruz del Norte" situado en Medicina (cerca de Bolonia). Posee unas dimensiones de 540x640 metros y se emplea en observaciones de baja frecuencia. También posee dos radiotelescopios de 32 metros de diámetro situados en Medicina y en Noto (Sicilia), que forman parte de la red europea de VLBI. Se está construyendo un nuevo radiotelescopio de 64 metros de diámetro (SRT) en Sardinia (cerca de Cagliari).



figura 50: Radiotelescopio de 32m, Observatorio astronómico de Noto (Sicilia, Italia)

Las características principales de la antena se indican en la siguiente tabla.

Туре	Cassegrain
Diameter	32.004 m
Focal length	10.259 m
F/D	0.320
Surface accuracy	1 mm (rms)
Pointing accuracy	10 arcsec
Angular velocity AZ	48 deg/min (Max)
Angular velocity EL	30 deg/min (min)

Los receptores instalados en el radiotelescopio son los siguientes:

Foco primario:

Frequency (GHz)	Lambda (cm)	Channels	Cooled	HEMT	HPBW	Gain K/Jy	Tsys (K)	Tsys (Jy)	Bandwidth (GHz)
8.3	3.6	R	N	Υ	4.8'	0.15	110	750	8.18 - 8.58
2.3	13	R	N	Υ	20'	0.15	120	800	2.2 - 2.36
0.327	92	L+R	N	N	100'	0.07	150	2100	0.317 - 0.332
12	2.5	HV	N	N	3'	-	60	-	11.70 - 12.75

Foco secundario:	T-3	1	
	Foco	secund	larıo:

Frequency (GHz)	Lambda (cm)	Channels	Cooled	HEMT	HPBW	Gain K/Jy	Tsys (K)	Tsys (Jy)	Bandwidth (GHz)
22	1.3	L+R	Υ	Y	1.7'	0.08	90	1200	22.18 - 22.46
5	6	L+R	Υ	Y	8.0'	0.16	30	190	4.70 - 5.05
1.6	18/21	L+R	N	Υ	22'	0.15	120	800	1.40 - 1.72
12	2.5	HV	N	N	3'	-	60	-	11.70 - 12.75

Contacto

webmaster@noto.ira.cnr.it

1.2.8 Sardinia (Italia). Radiotelescopio en construcción.

El radiotelescopio de Sardinia (SRT) es un proyecto propuesto y dirigido por el instituto de radioastronomía (IRA, Bolonia) perteneciente al CNR en colaboración con el Instituto Nacional de astrofísica (INAF).

El objetivo del proyecto SRT es construir un radiotelescopio paraboloide de 64 metros de diámetro capaz de funcionar con elevada eficiencia en un amplio rango de frecuencias (0.3 - 100 GHz).

El telescopio que se va a construir en Sardinia será el tercer nodo más importante de la red italiana de VLBI, pero también será un instrumento potente en observaciones como radiotelescopio único. Está situado a una altura de 700 metros sobre el nivel del mar.

El radiotelescopio tendrá configuración Gregoriana. El espejo primario es paraboloidal de 64 metros de diámetro y el secundario es elipsoidal de 7.9 metros. La configuración gregoriana permitirá trabajar con receptores en el foco primario sin necesidad de quitar el espejo secundario. Los receptores instalados en el foco primario abarcarán frecuencias entre 0.3 y 1.5 GHz. El foco principal es el gregoriano, cerca del vértice del espejo primario. En este punto se pueden instalar y cambiar rápidamente varios receptores cubriendo frecuencias entre 5 y 100 GHz. Cuatro posiciones focales adicionales están disponibles debajo del foco gregoriano.

La precisión de los paneles que conforman la superficie es de $100\mu m$ (rms) y se espera que el error total de la estructura sea inferior a las $200\mu m$ (rms).

La eficiencia de la antena debería estar comprendida entre un mínimo del 35% a 100 GHz y un máximo del 63% a 8-15GHz.

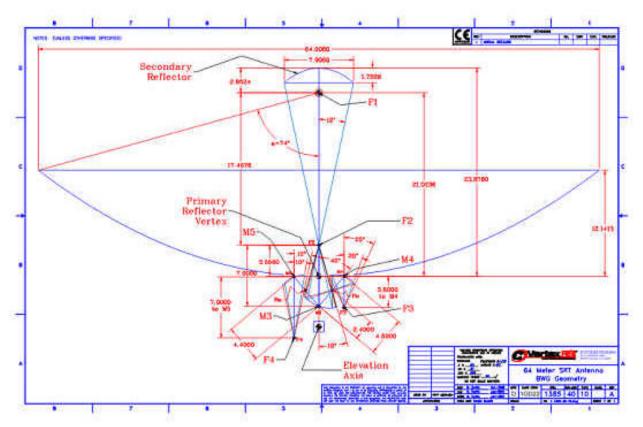


figura 51: Configuración óptica del SRT

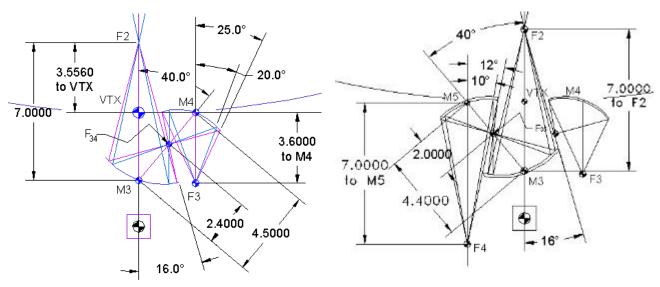


figura 52: Configuración óptica del SRT (detalle del foco secundario)

Se indican en la siguiente tabla los parámetros de las bocinas del radiotelescopio.

Focus	Туре	Frequency GHz	Polarization	Taper Angle	Taper Value
Prime	Quad-Ridge	0.300-0.3400	Linear	74.5°	-12.0
Prime	Scalar	1.200-1.500	Linear	74.5°	-12.0
Gregorian	Corrugated	14.700-19.700	Circular	12.0°	-12.0
Gregorian	Corrugated	31.800-34.700	Circular	12.0°	-12.0
BWG-I	Corrugated	1.300-1.700	Circular	20.0°	-12.0
BWG-I	Corrugated	7.200-8.600	Circular	20.0°	-12.0

Las siguientes tablas indican las especificaciones en las diversas bandas de funcionamiento:

300-340 MHz Prime Focus

Total RMS surface Err	or 196 µm	0			Fre	que	ncv			
	1000-1001	0.3000	GHz		0.3200	GHz	,	0.3400	GHz	
Ideal Gain			46.07	dBi		46.63			47.16	
		%			%			%		
Cross Polarization		99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB
Spillover		97.4%	-0.11	dB	97.4%	-0.11	dB	97.5%	-0.11	dB
Diffraction		99.5%	-0.02	dB	99.6%	-0.02	dB	99.6%	-0.02	dB
Aperture Illumination		76.3%	-1.17	dB	76.6%	-1.16	dB	76.8%	-1.15	dB
Phase Error		97.8%	-0.10	dB	97.8%	-0.10	dB	97.7%	-0.10	dB
Surface Error		100.0%	0.00	dB	100.0%	0.00	dB	100.0%	0.00	dB
Blockage		87.0%	-0.60	dB	87.0%	-0.60	dB	87.0%	-0.60	dB
Overall Efficiency		62.8%			63.1%			63.3%	Ú.	
Calculated Gain at Feed Ape	erture		44.05	dBi		44.63	dBi		45.17	dBi
Feed Loss			-0.10	dB	l	-0.10	dB		-0.10	dB
Feed VSWR Loss	1.30:1		-0.07	dB		-0.07	dB		-0.07	dB
Calculated Antenna Gain (Fo	eed Output)		43.88	dBi		44.46	dBi		45.00	dBi
Antenna Temperature	(20 deg. el.)		23.10	K		21.75	K		20.40	K
Net Antenna Temperature	MAN AND THE PARTY		33.62	K		32.32	K		31.02	K
Calculated Antenna G/T	(20 deg. el.)		28.61	dBi/K		29.36	dBi/K		30.08	dBi/K

L-Band Prime Focus

Total RMS surface Erro	Frequency									
		1.2000	GHz		1.3500	GHz		1.5000	GHz	
Ideal Gain			58.11	dBi		59.14		3	60.05	
Cross Polarization		99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB
Spillover		97.4%	-0.11	dB	97.5%	-0.11	dB	97.7%	-0.10	dB
Diffraction		99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB
Aperture Illumination		76.3%	-1.17	dB	76.8%	-1.15	dB	77.2%	-1.12	dB
Phase Error		78.4%	-1.06	dB	74.6%	-1.27	dB	70.4%	-1.52	dB
Surface Error		100.0%	0.00	dB	100.0%	0.00	dB	100.0%	0.00	dB
Blockage		87.0%	-0.60	dB	87.0%	-0.60	dB	87.0%	-0.60	dB
Overall Efficiency		50.5%			48.4%			46.0%		
Calculated Gain at Feed Ape	erture		55.15	dBi		55.99	dBi		56.68	dBi
Feed Loss			-0.15	dB		-0.15	dB	l	-0.15	dB
Feed VSWR Loss	1.30:1		-0.07	dB		-0.07	dB		-0.07	dB
Calculated Antenna Gain (Fe	eed Output)		54.92	dBi		55.76	dBi		56.46	dBi
Antenna Temperature	(20 deg. el.)		10.90	K		10.65	K		10.40	K
Net Antenna Temperature			24.96	K		24.72	K		24.49	K
Calculated Antenna G/T	(20 deg. el.)		40.95	dBi/K		41.83	dBi/K		42.57	dBi/K

Ku-Band at Gregorian Focus

Total RMS surface Erro	Frequency									
		14.7000	GHz		17.2000	GHz		19.7000	GHz	
Ideal Gain			79.88	dBi		81.24			82.42	
Cross Polarization		99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB
Spillover		86.1%	-0.65	dB	88.6%	-0.53	dB	90.5%	-0.43	dB
Diffraction		99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB
Aperture Illumination		81.0%	-0.92	dB	80.1%	-0.96	dB	79.6%	-0.99	dB
Phase Error		99.3%	-0.03	dB	99.8%	-0.01	dB	99.7%	-0.01	dB
Surface Error		97.6%	-0.11	dB	96.7%	-0.15	dB	95.7%	-0.19	dB
Blockage		88.1%	-0.55	dB	88.1%	-0.55	dB	88.1%	-0.55	dB
Overall Efficiency		59.3%			60.1%			60.3%	176	
Calculated Gain at Feed Ape	rture		77.61	dBi		79.03	dBi		80.22	dBi
Feed Loss			-0.25	dB		-0.25	dB	l	-0.25	dB
Feed VSWR Loss	1.30:1		-0.07	dB		-0.07	dB		-0.07	dB
Calculated Antenna Gain (Fe	ed Output)		77.28	dBi		78.70	dBi		79.90	dBi
Antenna Temperature	(20 deg. el.)		25.60	K		49.55	K		73.50	K
Net Antenna Temperature	9742.0100Fe0104		44.64	K		66.86	K		89.09	K
Calculated Antenna G/T	(20 deg. el.)		60.79	dBi/K		60.45	dBi/K		60.40	dBi/K

Ka-Band at Gregorian Focus

			Itu	Du	iiu ut	Oici	9011	unio	cus		
Total RMS surface Error 245 µm		Frequency									
		31.8000	GHz		32.0500	GHz		32.3000	GHz		
Ideal Gain			86.58	dBi		86.65			86.71		
Cross Polarization		99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	
Spillover		88.1%	-0.55	dB	88.2%	-0.55	dB	88.3%	-0.54	dB	
Diffraction		99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	
Aperture Illumination		80.1%	-0.96	dB	80.1%	-0.96	dB	80.0%	-0.97	dB	
Phase Error		99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	
Surface Error		89.2%	-0.50	dB	89.0%	-0.51	dB	88.8%	-0.51	dB	
Blockage		88.1%	-0.55	dB	88.1%	-0.55	dB	88.1%	-0.55	dB	
Overall Efficiency		55.1%			55.1%			55.0%	33		
Calculated Gain at Feed Apert	ure		83.99	dBi		84.06	dBi		84.11	dBi	
Feed Loss			-0.30	dB		-0.30	dB	l	-0.30	dB	
Feed VSWR Loss	1.30:1		-0.07	dB		-0.07	dB		-0.07	dB	
Calculated Antenna Gain (Fee	d Output)		83.62	dBi		83.68	dBi		83.74	dBi	
Antenna Temperature	(20 deg. el.)		48.50	K		47.70	K		46.90	K	
Net Antenna Temperature			68.45	K		67.72	K		66.99	K	
Calculated Antenna G/T	(20 deg. el.)		65.26	dBi/K		65.37	dBi/K		65,48	dBi/k	

L-Band Feed at BWG Focus F3

Total RMS surface Error 255 μm	Frequency									
	1.3000	GHz		1.5000	GHz		1.7000	GHz		
Ideal Gain	Ĵ.	58.81	dBi		60.05		1	61.14		
Cross Polarization	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	
Spillover	88.0%	-0.56	dB	87.0%	-0.60	dB	86.7%	-0.62	dB	
Diffraction	98.8%	-0.05	dB	99.0%	-0.04	dB	99.0%	-0.04	dB	
Aperture Illumination	87.4%	-0.58	dB	88.7%	-0.52	dB	89.7%	-0.47	dB	
Phase Error	96.4%	-0.16	dB	96.2%	-0.17	dB	95.6%	-0.20	dB	
Surface Error	100.0%	0.00	dB	100.0%	0.00	dB	100.0%	0.00	dB	
Blockage	87.0%	-0.60	dB	87.0%	-0.60	dB	87.0%	-0.60	dB	
M3 Spillover	99.1%	-0.04	dB	99.3%	-0.03	dB	99.4%	-0.03	dB	
M4 Spillover	94.5%	-0.25	dB	96.2%	-0.17	dB	97.0%	-0.13	dB	
Overall Efficiency	59.6%			60.9%	J		61.6%			
Calculated Gain at Feed Aperture		56.84	dBi		58.10	dBi		59.19	dBi	
Feed Loss		-0.15	dB		-0.15	dB		-0.15	dB	
Feed VSWR Loss 1.30:1		-0.07	dB		-0.07	dB	3	-0.07	dB	
Calculated Antenna Gain (Feed Output)	56.62	dBi		57.88	dBi	8	58.97	dBi	
Antenna Temperature (20 deg. el.)		8.30	K		8.20	K	6	8.10	K	
Net Antenna Temperature		22.49	K		22.40	K		22.30	K	
Calculated Antenna G/T (20 deg. el.)	Î	43.10	dBi/K	ķ I	44.37	dBi/K		45.48	dBi/K	

X-Band	Feed at	BWG	Focus	F3
--------	---------	-----	-------	----

Total RMS surface Error 255 µm Frequency									
	8.4000	GHz		8.6250	GHz		8.9500	GHz	
Ideal Gain		75.02	dBi		75.25			75.57	
Cross Polarization	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB
Spillover	96.2%	-0.17	dB	96.2%	-0.17	dB	96.4%	-0.16	dB
Diffraction	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB	99.8%	-0.01	dB
Aperture Illumination	79.2%	-1.01	dB	79.3%	-1.01	dB	79.2%	-1.01	dB
Phase Error	97.9%	-0.09	dB	98.2%	-0.08	dB	97.8%	-0.10	dB
Surface Error	99.1%	-0.04	dB	99.1%	-0.04	dB	99.0%	-0.04	dB
Blockage	88.1%	-0.55	dB	88.1%	-0.55	dB	88.1%	-0.55	dB
M3 Spillover	99.6%	-0.02	dB	99.6%	-0.02	dB	99.7%	-0.01	dB
M4 Spillover	96.2%	-0.17	dB	96.5%	-0.15	dB	96.7%	-0.15	dB
Overall Efficiency	62.2%		5000	62.6%		111000	62.6%		10000
Calculated Gain at Feed Aperture		72.95	dBi	TORON MARIEN	73.21	dBi		73.53	dBi
Feed Loss		-0.25	dB		-0.25	dB		-0.25	dB
Feed VSWR Loss 1.30:1		-0.07	dB		-0.07	dB		-0.07	dB
Calculated Antenna Gain (Feed Output	t)	72.63	dBi		72.89	dBi		73.20	dBi
Antenna Temperature (20 deg. el.)		13.60	K		13.45	K		13.30	K
Net Antenna Temperature	-	33.50	K		33.36	K		33.22	K
Calculated Antenna G/T (20 deg. el.)		57.38	dBi/K		57.65	dBi/K		57.99	dBi/K

1.2.9 Torun (Polonia)

Centro astronómico de la Universidad Nicolás Copérnico en Torun.

El departamento de radioastronomía es una división del Centro de astronomía. Se encuentra en Piwnice a 15 Km al norte de Torun.

Desde el año 1981 de la EVN. Con el nuevo radiotelescopio de 32 metros de diámetro y la sofisticada instrumentación que posee la estación de VLBI de Torun es la única situada en la Europa del este.

Radiotelescopio de 15m de Torun.

Este radiotelescopio es de montura ecuatorial. Fue construido en el año 1977. Se ha empleado fundamentalmente en observaciones VLBI (la primera observación con éxito se efectuó el 21 de mayo de 1981 a la longitud de onda de 6 cm)

Está equipado con receptores no refrigerados a las frecuencias: 327, 609, 1420, 1660 y 5000 Mhz.

Radiotelescopio de 32m de Torun.

Se trata de un radiotelescopio de montura altazimutal de tipo Cassegrain. La superficie reflectora está formada por un total de 336 paneles, cada uno de los cuales posee una precisión mejor de 350µm. La precisión total del radiotelescopio está limitada por este valor.

La superficie parabólica está diseñada siguiendo el principio de homología. Permite ajustar de forma continua la posición del subreflector de 3.2m de diámetro para compensar las deformaciones de la superficie reflectora.

En cuanto a los receptores cabe destacar los siguientes aspectos:

- Los receptores que cubren las bandas 1.4, 1.6, 5 y 6.8 GHz están montados permanentemente en la cabina del vértice. Todos los amplificadores de entrada y

- guías de onda están refrigerados a 15 y 50 K respectivamente. La temperatura de ruido conseguida es de 30K.
- Se dispone de equipamiento auxiliar: máser de Hidrógeno (EFOS-15), receptor GPS, terminales MARK4 yVLBA, autocorrelador digital y una estación meteorológica.

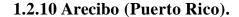




figura 53: Radiotelescopio de Arecibo

El Observatorio de Arecibo es parte del Centro Nacional de Astronomía e Ionosfera (NAIC), un centro de investigación nacional, operado por la Universidad de Cornell, en acuerdo cooperativo con la Fundación Nacional de Ciencias (NSF). La NSF es una agencia federal independiente, cuyo objetivo es promover el progreso de la ciencia y la ingeniería en los Estados Unidos. La NSF da apoyo económico para la investigación y la educación en la mayoría de los campos de la ciencia y la ingeniería. La Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio (NASA), provee apoyo adicional.

El Observatorio opera en una base continua, 24 horas todos los días, proveyendo tiempo para observar, la electrónica, computadoras, viajes y apoyo logístico a los científicos de todo el mundo. Todos los resultados de investigación son publicados en la literatura científica, la cual está accesible al público.

Como el radiotelescopio de un solo plato más grande del mundo, el Observatorio es reconocido como uno de los centros nacionales de investigación más importantes en el área de la radioastronomía, astronomía planetaria y de estudios atmosféricos. Las facilidades del Observatorio de Arecibo están disponibles para su uso, en una base de igualdad competitiva para los científicos de todas las partes del mundo. El tiempo de observación es concedido basado en las investigaciones más prometedoras; aprobadas por un panel de evaluadores independientes que revisan las propuestas que se envían al Observatorio por los científicos que están interesados en usar el mismo. Cada año, cerca

de 200 científicos visitan las facilidades del Observatorio para llevar a cabo sus proyectos de investigación y un número grande de estudiantes, realizan observaciones que los conducen a sus tesis de maestría y doctorado.

Desde sus comienzos hubo ciertos requisitos para el lugar. Este tenía que estar cerca del ecuador, de modo que el radar, capaz de estudiar la Ionosfera, podría ser usado para estudiar planetas cercanos. Además, la bcalización de Arecibo ofreció la ventaja de un terreno cársico, con grandes sumideros de piedra caliza; los cuales proveyeron una geometría natural para la construcción del reflector de 305 m.

En el 1974, se colocó un reflector nuevo (el actual), con una superficie de alta precisión; junto al transmisor de radar planetario. El segundo y mayor avance del telescopio, se completó en 1997. Se instaló una pantalla metálica alrededor del perímetro del reflector para aislar las antenas de la radiación del terreno. El domo gregoriano con sus subreflectores, su nueva electrónica y el nuevo transmisor del radar, aumentó grandemente la capacidad del telescopio.

La antena de 305 metros de diámetro:

El plato de 305 metros (1000 pies) de diámetro y 167 pies de profundidad, cubre un área de 20 acres. La superficie está formada por aproximadamente 40,000 paneles de aluminio perforados (cada uno de 3 x 6 pies), sostenidos por una red de cables de acero que está suspendida sobre el sumidero. Este es un reflector esférico (no parabólico)

Suspendida a 450 pies sobre el reflector, está una plataforma de 900 toneladas. Similar en diseño a un puente, ésta se sostiene de 18 cables, los cuales son sostenidos por tres torres de hormigón. Una es de 365 pies de altura y las otras dos de 265 pies de altura. Los tres topes se encuentran a la misma elevación. El volumen combinado del concreto armado en las tres torres es de 9,100 yardas cúbicas. Cada torre está equilibrada por un sistema de 7 cables de acero (3.25 plg. de diámetro) tensados en un ancla gigante. Otro sistema de tres pares de cables corre de cada esquina de la plataforma hacia grandes bloques de concreto debajo del reflector. Estos están atados a unos gatos hidráulicos enorme, los cuales permiten el ajuste de la altura de cada esquina con una precisión de milímetros.

Justo bajo la estructura triangular de la plataforma superior, hay una vía circular en la cual el brazo de acimut gira. El brazo de acimut es una estructura en forma de arco de 328 pies de largo. La parte curva del brazo es otra vía, en la cual, una caseta movible en un lado y el domo gregoriano (instalado en el 1997) en el otro lado; pueden ser puestos en posición en cualquier dirección, hasta veinte grados de la vertical. Dentro del domo gregoriano, dos subreflectores (el secundario y el terciario), enfocan la radiación hasta un punto en el espacio, en el cual, un grupo de antenas pueden ser puestas en posición para recibir esta radiación. Colgando, bajo la caseta hay varias antenas lineales, cada una sintonizada a una banda corta de frecuencias. Las antenas apuntan hacia abajo y están diseñadas especialmente para el reflector esférico de Arecibo. Apuntando una de las antenas a cierto punto en el reflector, las emisiones de radio que se originan en un área bien pequeña del cielo, en línea con la antena, son enfocadas.

Asociados a las antenas, hay unos receptores de radio muy sensibles y altamente complejos. Estos receptores operan inmersos en un baño de helio líquido, para mantener una temperatura baja en los mismos. A temperaturas tan bajas como -273 grados Celsius, el ruido electrónico en los receptores es muy bajo; y solo las señales de radio que entran, que son muy débiles, son amplificadas. El sistema de Arecibo opera en frecuencias de 50 megahertz (6 m), hasta 10,000 megahertz (3 cm).

El tamaño gigantesco del reflector, es la causa de que el Observatorio de Arecibo sea tan importante para los científicos. Esta es la antena curva más grande del planeta, lo cual significa que es el radiotelescopio más sensitivo del mundo. De modo que, mientras otros radiotelescopios pueden requerir varias horas de observación, estudiando una fuente de radio dada para obtener suficiente energía para su análisis; en Arecibo, esto puede requerir solo unos cuantos minutos de observación.

Receptores existentes en Arecibo

Se presentan en este apartado los receptores existentes en el radiotelescopio de Arecibo.

NOMBRE	RANGO DE FRECUENCIAS (GHz)
327 - MHz	0.312 - 0.342
CH 430 - MHz	0.425 - 0.435
430 - MHz	0.422 - 0.442
610 - MHz	0.6075 - 0.6115
ALFA	1.225 – 1.525
L-WIDE	1.15 – 1.73
S-LOW	1.8 – 3.1
S-NARROW	2.33 – 2.43
S-HIGH	3.4
С	3.85 – 6
C-HIGH	5.9 – 8.1
X	7.8 - 10.2

Frequency Range (GHz):	0.312 - 0.342
Name and Number:	327-MHz Gregorian (P Band)
Measured Sensitivity (K/Jy):	10*
Measured System Temp (K):	110-135*
Native Polarization:	Dual linear
Beam Size (at 0.327 GHz):	14' x 15'
Available Filters:	30 MHz

Frequency Range (GHz):	0.425-0.435
Name and Number:	430ch (Rx no. 100)
Measured Sensitivity (K/Jy):	20 (*)
Measured System Temp (K):	~120 (including sky)(*)
Native Polarization:	Dual Circular
Beam Size (at 0.430 GHz):	9.5 x 8.5 sq. arcminutes
Available Filters:	10 MHz centered at 430 MHz

Frequency Range (GHz):	422-442 MHz
Name and Number:	430-MHz Gregorian
Measured Sensitivity (K/Jy):	11*
Measured System Temp (K):	50*
Native Polarization:	Dual circular
Beam Size (at 0.430 GHz):	10' x 12'
Available Filters:	10 MHz, 20 MHz and 30 MHz

Frequency Range (GHz):	(1) 607.6 - 611.8 MHz (HPW)* (2) 690.0 - 730.0 MHz
Name and Number:	610/700 MHz (610, 3)
Measured Sensitivity (K/Jy):	11 K/Jy*
Measured System Temp (K):	[102 + T(sky)] K* at 610 MHz
Native Polarization:	Linear

Frequency Range (GHz):	1.15 - 1.73				
Name and Number:	L-Wide, lbw, reciever #5				
Measured Sensitivity (K/Jy):	9-11*				
Measured System Temp (K):	25-40*				
Native Polarization:	Dual Linear				
Beam Size (at 1.42 GHz):	3.1x3.5				

Frequency Range (GHz):	1.7 - 3.0
Name and Number:	sbl, sbl1_2, and 7, 71 (*)
Measured Sensitivity (K/Jy):	~ 8 (**)
Measured System Temp (K):	~ 34 (**)
Native Polarization:	Dual Linear
Beam Size (at 2.5 GHz):	1.8 x 2.0 arcmin
Available Filters:	3 Bandpass filters, 1.7 - 1.88, 2.04 - 2.4, & 2.6 - 3.0 GHz can be used in any combination or none

Frequency Range (GHz):	2.24 - 2.34 or 2.33 - 2.43	
Name and Number:	sbn, 12	
Measured Sensitivity (K/Jy):	10*	
Measured System Temp (K):	23, 25*	
Native Polarization:	Circular (can be changed to linear with sufficient advanced notice)	
Available Filters:	The receiver has a switch selectable 0.1 GHz filter at ether 2.29 or 2.38 MHz.	

Frequency Range (GHz):	3.0 - 4.0
Name and Number:	sbh, sbh1_2, and 8, 81 (*)
Measured Sensitivity (K/Jy):	~ 7 - 10 (**)
Measured System Temp (K):	~ 27 - 29 (**)
Native Polarization:	Dual Linear(***)
Beam Size (at 3.3 GHz):	~ 85 arcsec (**)
Available Filters:	No RF filters at present

Frequency Range (GHz):	3.95 - 6.05 GHz*
Name and Number:	C-Band (cb, 9)
Measured Sensitivity (K/Jy):	5.5 - 8.5 (4.5 GHz) 5.0 - 8.0 (5.0 GHz) 4.5 - 7.5 (5.4 GHz) 4.0 - 7.0 (5.9 GHz)**
Measured System Temp (K):	29 - 34 (4.5 GHz) 31 - 36 (5.0 GHz) 35 - 40 (5.4 GHz) 34 - 39 (5.9 GHz)**
Native Polarization:	Dual Linear
Beam Size (at 5 GHz):	54 x 60 arcsec

Frequency Range (GHz):	5.9-8.1
Name and Number:	C Band High (cbh, 10)
Measured Sensitivity (K/Jy):	4.0-7.5 (6.6 GHz) 3.5-7.0 (6.9 GHz) 3.0-6.5 (7.2 GHz) 2.5-6.0 (7.4 GHz)*
Measured System Temp (K):	26-29 K at about ZA=10 deg*
Native Polarization:	Dual Linear
Beam Size (@ 6.9 GHz):	45 x 39 arcsec*

Frequency Range (GHz):	7.8 - 10.2*
Name and Number:	X-Band (cb,11)
Measured Sensitivity (K/Jy):	2.3 - 5.5 (8.5 GHz) 2.3 - 5.5 (8.8 GHz) 2.3 - 5.5 (9.0 GHz) 2.0 - 5.5 (9.2 GHz)**
Measured System Temp (K):	28 - 30 (8.5 GHz) 28 - 31 (8.8 GHz) 30 - 31 (9.0 GHz) 30 - 32 (9.2 GHz)**
Native Polarization:	Dual Circular***
Beam Size (9.0 GHz):	30 x 34 (arcsec)

1.2.11 Wettzell (Alemania).



figura 54: Radiotelescopio de Wettzell

Se trata de un radiotelescopio de 20 metros de diámetro tipo cassegrain.

La precisión de la superficie reflectora es de 350µm.

El diámetro del subreflector es de 2.7m.

Permite moverse en acimut en un rango entre -270 y +270° a una velocidad de 3°/sg. En elevación alcanza los +90° a una velocidad máxima de 1.5°/sg.

Receptores

El radiotelescopio dispone de los siguientes receptores:

- Banda X: 8.1 a 8.9 GHz.
- Banda S: 2.1 a 2.3 GHz.

1.2.12 Deep Space Network (Robledo, España).

La agencia espacial americana (NASA) dispone en Robledo (Madrid) de varias antenas destinadas a proyectos de espacio profundo. Este centro de comunicaciones de espacio profundo de Madrid trabaja en colaboración con otros centros situados en Goldstone (California) y en Camberra (Australia).

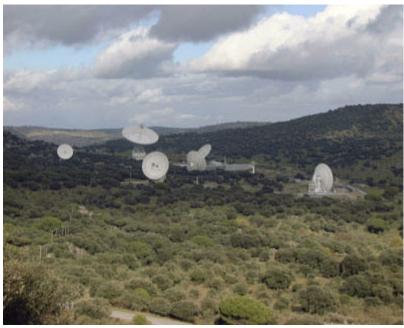


figura 55: Centro DSN en Madrid

Esas antenas son también utilizadas en aplicaciones astronómicas, principalmente formando parte de la EVN (red europea de VLBI).





figura 56:Antenas de 34m y 70m en Robledo

La antena de 34 metros (denominada **DSS-65**) es un radiotelescopio cassegrain de alta eficiencia con montura altacimutal. La velocidad de movimiento es de 0.8°/sg.

La antena de 70 metros (denominada **DSS-63**) es un radiotelescopio cassegrain con montura altacimutal. La velocidad de movimiento es de 0.25°/sg.

Ambas antenas están situadas a una altura aproximada de 850 metros sobre el nivel del mar.

BAND	70m	34m (HEF)	34m(BWG)
L	X		
S	X	X	X
X	X	X	X
Ku	X		
K	X		
Ka			X
Q			

figura 57:Receptores en la red DSN

1.2.13 Westerbork (Holanda)

El radiotelescopio WSRT (Westerbork Sinthe sis Radio Telescope) está formado por 14 antenas parabólicas. Cada una de estas antenas se puede apuntar individualmente a cualquier punto del cielo. Diez de las antenas están situadas en una posición fija mientras que cuatro de ellas pueden ser movidas a lo largo de raíles.

El la siguiente fotografía aérea se muestra la configuración de las 14 antenas a lo largo de la línea este-oeste.



figura 58: Centro astronómico de Westerbork

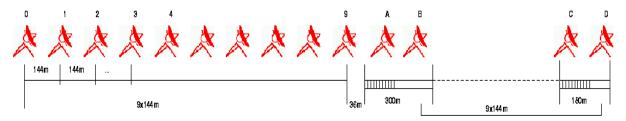


figura 59: Disposición física de los radiotelescopios

Cada antena posee un diámetro de 25 metros. La montura es de tipo ecuatorial. En todo el área que rodea al radiotelescopio está prohibido el uso de teléfonos móviles y cualquier otra fuente de interferencias radioeléctricas.

En la siguiente tabla se indican los parámetros de los telescopios a las diferentes frecuencias que pueden ser observadas

Wavelength	Aperture	Single antenna FWHM	Synthesized beam
(cm)	Efficiency	field of view (deg)	(arcsec)
LFFE (260-170)	0.30	5-8	160-104
92	0.59	2.6	55
49	0.59	1.4	30
21-18	0.54	0.6-0.5	13-11
13	0.54	0.37	7.8
6	0.48	0.17	3.7
3.6	0.35	0.10	2.2
UHF-low	0.39	2.0-3.1	39-72
UHF-high	0.39	0.83-1.11	15-26

Westerbork es miembro de la red europea de VLBI (EVN) y por ello en el observatorio se efectúan observaciones periódicas de VLBI.

Receptores disponibles.

Se encuentran disponibles los siguientes receptores:

Wavelength	Frequency range/MHz	FEs	T _{sys} /K	Gain / K/Jy	Notes
3.6cm	8150-8650	>10	120	N×0.050	Usually phase up only the inner array.
5cm	6000-6900	1	95	0.060	Default is single dish
6cm	4760-5020	14	65	N×0.085	
13cm	2150-2375	14	60	N×0.090	Circularly polarized feeds
Lband (18- 21cm)	1160-1800	14	30	N×0.095	RFI at Glonass and Iridium frequencies
UHFhigh (30cm)	750-1200	14	120	N×0.100	RFI at frequencies<800MHz & 930- 970MHz
49cm	605-615	14	75	N×0.100	very strong RFI just outside the band
92cm	310-390	14	150	N×0.105	Occasional very strong RFI
UHFlow	250-460	>10	>200	N×0.105	Only small section free of strong RFI

Wavelength	Polarization	Freq. Range	Sys. Temperature	rms in 12ha	Conf. Limit
(cm)		(MHz)	(K)	(mJy/beam)	(µJy/beam)
LFFE (260-170)	dual, linear	117-175	700-400 ^g	5-3 ^g	5000-10000 ^g
92	dual, linear	310-390	125	0.250 ^{b,c}	300
49	dual, linear	560-610	75	0.150 ^c	50
21/18	dual, linear	1150-1750	27-31	0.012-0.013	5

13	dual, circular	2215-2375	60	0.021	1.3
6	dual, linear	4770-5020	65	0.021	
3.6	dual, linear ^d	8150-8650	110	0.042	
UHF-low	dual, linear	250-460 ^e	120-250 ^f	0.500°	
UHF-high	dual, linear	700-1200	120-180 ^f	0.085	

FE: indica el número de frontends.

En Westrebork se dispone de dos sistemas de almacenamiento de datos VLBI: Mark4 Y Mark5A. La máxima tasa de almacenamiento de datos para el sistema Mark 4 es de 512Mbit/s y para el sistema Mark5A es de 1024Mbit/s. Se han realizado experimentos de e-VLBI con JIVE

empleando el sistema Mark5A junto con una transmisión de datos por fibra óptica.

El rack de adquisición de datos tiene disponibles los siguientes anchos de banda.

Bandwidth	Number	Notes
16MHz	14	both sidebands
8MHz	14	both sidebands
4MHz	14	both sidebands
2MHz	14	both sidebands
1MHz	3	external
0.5MHz	8	upper sideband + 2 external
0.25MHz	6	external
0.125MHz	2	upper sideband
0.0625MHz	1	external

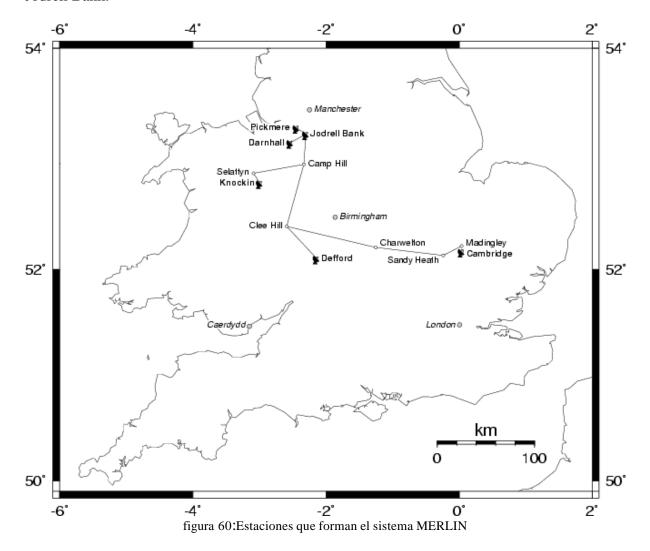
Contacto:

foley@astron.nl

1.2.14 MERLIN (Jodrell Bank, Inglaterra).

MERLIN está constituido por siete antenas individuales de 25 metros de diámetro o más interconectadas entre sí por enlaces de microondas. Permite obtener una resolución intermedia entre la conseguida mediante técnicas VLBI y arrays interconectados como el VLA.

Este sistema está dirigido por la Universidad de Manchester y el Observatorio de Jodrell Bank.



MERLIN permite observar en cualquiera de las siguientes cinco bandas:

banda UHF: 151MHz
banda P: 408MHz
banda L: 1.4-1.6GHz
banda C: 5-6-7GHz
banda K: 22GHz

En la siguiente tabla se indican los parámetros fundamentales del sistema:

Nominal Frequency (MHz)	151	408	1658	5000	22235
Tunable Range (MHz)	150.5 - 151.5	406 – 410	1370 — 1430	4500 - 5200	21 – 24 GHz
			1550 - 1730	$6000 - 7000^f$	
Nominal Maximum Bandwidth (MHz)	1	4	16	16	16
Wavelength (cm)	200	73	21 – 18	$6-5^f$	1.3
Band	UHF	P	L	С	K
Number of Antennas **	6(75)	6(7*)	6(7)	6 ^b (2 ^c)	5
Resolution (arcsec)	1.4	0.5	0.15/ 0.13	0.04	0.008
Maximum width of source	e (arcsec) which car	ı be:			
detected	40	15	4	1.2	0.25
imaged (one freq.)	23	8.5	2.5	0.7	0.04
(multi-freq.)			8	3.5	0.08
Unaberrated Field of v	iew (radius in arcse	E)			
< 1 % normal mode	40	10	2.8	2.8	1.5
< 10 % normal mode	140	35	9	9	4.6
< 1 % wide-field mode [√]	1000°	360°	40	30	8
< 10 % wide-field mode	3 200 °	1100 ^g	140°	90#	24
Noise level	(mJy/beam)				
16 MHz, 12 hr on-source	7	0.7	0.06	0.05	0.4
~ 5	40	4	0.4	0.3	3
4 kHz, 3 hr on-source			8- ≥ 20	7- ≥ 20	30- ≥ 10
1 MHz, 16 sec	1500	150	13	11 (300°)	85
1 MHz, 16 sec, Lovell	1000	100	8	8	
Minimum unresolv	ed continuum flux				
density for self-cal. (mJy)	830	25	6	5	80

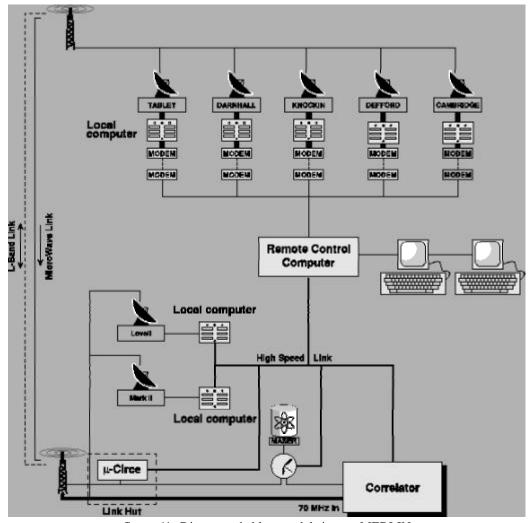


figura 61: Diagrama de bloques del sistema MERLIN

Los radiotelescopios que forman parte del sistema Merlin son: Lovell (LO), Mark2(MK), Cambridge(CA), Defford(DE), Knocking(KN), Darhnall(DA) y Tabley(TA). Todos están permanentemente unidos con Jodrell Bank desde donde se efectúa su control remoto. En la siguiente tabla se indica la sensibilidad de cada uno de los radiotelescopios:

Frequency		LO	MK	WA ***	KN,DA,TA	DE	CA
151 MHz	<i>T</i> _{mym} (K)	380	380	380	380	380	380
	Jy/K	1.4	12.5	12.5	12.5	12.5	7.6
408 MHz	<i>T</i> _{mym} (K)	80	100	100	130	100	130
	Jy/K	1.1	12.5	11.2	12.5	11.2	7.6
(1.4 - 1.7) d GHz	<i>T</i> _{mym} (K)	34	35	57	36	49	36
	Jy/K	1.1	10.0	8	9.9	9.5	6.0

5 [₫] GHz	<i>T</i> _{■y} (K)	 37	 33	55	32
	Jy/K	 8.9	 7.9	19.0	4.7
6 [₫] GHz	<i>T</i> _{wys} (K)				
	Jy/K				
22 GHz	T _{mys} (K)	 90	 90		90
	Jy/K	 13	 12.5		5.0

De los siete radiotelescopios que configuran Merlin, tres son emplado de forma habitual en la realización de medidas VLBI (forman parte de la red EVN): Lovell (76m), Cambridge (32m) y MK2(25m).



figura 62: Radiotelescopio de Lovell, 76metros



figura 63: Radiotelescopio MK2, 25metros



figura 64: Radiotelescopio de Cambridge, 32metros

1.2.15 Simeiz (Ucrania)

La estación radioastronómica de Simeiz pertenece al observatorio astrofísico de Crimen en Ucrania. El departamento de radioastronomía se encuentra situado en la ladera del monte Koshka.



Radiotelescopio de 22m de Simeiz

Los parámetros del radiotelescopio se muestran en la tabla siguiente:

first single dish observation	1966
first VLBI observation	1969
Diameter D	22 m
Surface tolerance (root mean square)	0.25 mm
Wavelength limit	2 mm
Feed System	Cassegrain System and Primary Focus
Focal length F	9.525 mm
Focal ratio F/D	0.43
Effective focal length for Cassegrain system	134.5 m
Mounting	Azimuth-Elevation
Pointing accuracy	10 arc sec
Maximum slewing rate	1.5 degree/sec
Maximum tracking rate	150 arcsec/sec
Working range in Azimuth	[-270, 270] degrees
in Elevation,degrees	[0, 85] degrees

El radiotelescopio sólo permite observar a una determinada polarización circular seleccionada por el investigador. Dispone de un alimentador que permite observar simultáneamente a las longitudes de onda 13 y 3.6cm.

El radiotelescopio forma parte de la red EVN. **Dispone de receptores a las siguientes frecuencias: 326 MHz, 612MHz, 1.6GHz, 2.3GHz, 5GHz y 8GHz.**

El máser de hidrógeno de la estación es CH1-70.

Contacto: nesterov@crao.crimea.ua

1.3 VLBA:(NRAO,Nacional Radio Astronomy Observatory)

VLBA es un sistema formado por 10 radiotelescopios de 25 metros de diámetro. Entre la estación situada en Mauna Kea (Hawai) y la existente en las Islas Vírgenes existe una distancia de 9000Kms lo que permite obtener unas resoluciones angulares magníficas.

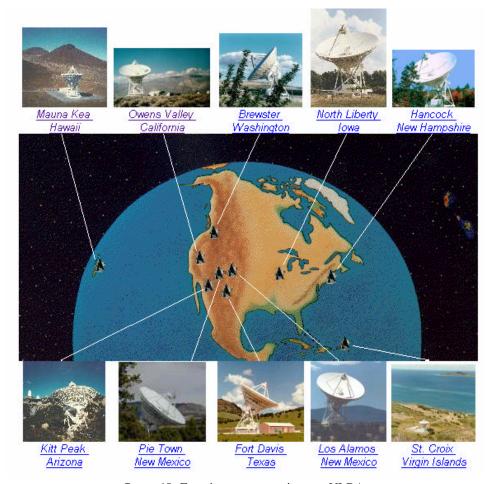


figura 65: Estaciones pertenecientes a VLBA

Junto con cada una de las antenas se dispones de instalaciones que albergan toda la instrumentación necesaria para realizar el trabajo.

- <u>Receptores</u>: Son los encargados de captar la señal radioastronómica. Son de los más sensibles el mundo. Trabajan a temperaturas criogénicas.
- <u>Equipos de adquisición y almacenamiento de datos</u>: Las señales procedentes de los receptores son amplificadas, digitalizadas y se les da el formato necesario para poder ser almacenadas. Las cintas que contienen todos estos datos son transportadas hasta el correlador situado en Socorro (Nuevo México)
- <u>Reloj atómico (máser de hidrógeno)</u>: Se emplea para sincronizar todas las estaciones. Este grado de precisión es necesario para que la correlación de los datos de todas las estaciones sea correcta.
- <u>Estación meteorológica</u>: Debido a que cada una de las estaciones se encuentra en puntos geográficos diferentes, es necesario tener perfectamente controlados todos los parámetros atmosféricos que pueden afectar a la señal captada por bs radiotelescopios (temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, presión atmosférica, precipitaciones, humedad).

Subreflector and interior of dish

Vertex room

Bull gear

Pedestal room

En la siguiente figura se muestra una de las antenas del VLBA:

figura 66: Antena VLBA (diámetro, 25m)

Son antenas con montura altacimutal. Puede girar en acimut gracias a un rail que puede apreciarse en la siguiente figura:





figura 67: Giro de la antena en acimut

En el pedestal hay una sala dentro de la cual se encuentra la unidad de control de la antena (ACU).



figura 68: Unidad de control de la antena

En la cabina de receptores podemos encontrar los receptores disponibles en la antena. Se dispone de receptores centrados en longitudes de onda de 6 y 13cm. Están refrigerados para mejorar su funcionamiento



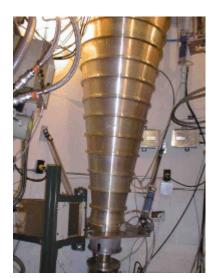


figura 69: alimentadores (6 y 13 cm respectivamente)

Se pueden efectuar observaciones hasta con 10 longitudes de onda diferentes.

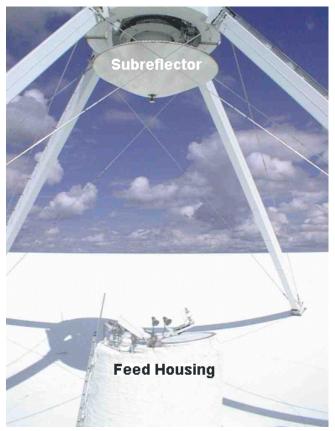


figura 70: Subreflector y foco secundario de la antena

Receptores instalados en la antena:

Longitud de onda	Frecuencia
90 cm	327 MHz
50 cm	610 MHz
20 cm	1.5 GHz
13 cm	2.3 GHz
6 cm	4.8 GHz
4 cm	8.4 GHz
2 cm	14 GHz
1.3 cm	23 GHz
7mm	43 GHz
3mm	86 GHz



figura 71: Posición de los receptores

En el punto central del subreflector está colocado un dipolo para observar a 90cm y a 50cm.

En todas las antenas excepto en la situada en ST. Croix existen dispositivos que previenen de la formación de cristales de hielo.

Gracias a la utilización de un espejo dicroico y otro elipsoidal la antena puede observar a dos frecuencias simultáneamente. El dicroico permite el paso de la radiación a 13cm mientras que el resto de la señal es reflejada hacia el espejo elipsoidal.



figura 72: Espejos dicroico y elipsoidal

1.3.1 Green Bank telescope.

Se trata de un radio telescopio cuya superficie reflectora tiene unas dimensiones de 100x110 metros. El sistema de movimiento es "wheel and track". Se trata de un reflector offset.

En las siguientes figuras se muestra un esquema general de la estructura.



figura 73: Radio telescopio Green Bank

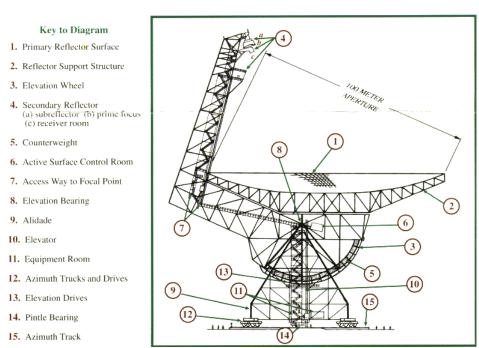


figura 74: Radio telescopio Green Bank, estructura general

Un aspecto muy importante de esta antena es que dispone de un sistema de superficie activa que permite corregir las deformaciones de la superficie reflectora debidas al efecto de la gravedad, temperatura y viento. Está formado por 2209

actuadores electro-mecánicos y la electrónica de control asociada. La resolución de posicionamiento es de 25 micras. A continuación se muestra un diagrama de bloques del sistema.

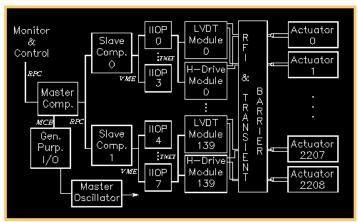


figura 75: sistema de superficie activa

Receptores disponibles en el radio telescopio:

Receptores en foco primario:

Receiver	Center f(GHz)	Fsky (GHz)	waveLen(cm)	FWHM	est.Tsys	IF1 (GHz)
PF1.1	0.3425	0.290 - 0.395	88	36'	30 K	1.080
PF1.2	0.450	0.385 - 0.520	66	27'	30 K	1.080
PF1.3	0.600	0.510 - 0.690	50	21'	30 K	1.080
PF1.4	0.800	0.680 - 0.920	37	15'	25 K	1.080
PF2	1.070	0.910 - 1.230	28	12'	25 K	1.500

Receptores en foco gregoriano:

Receiver	Center f(GHz)	Fsky (GHz)	waveLen(cm)	FWHM	Tsys	IF1 (GHz)	Beam Separation
1-2 GHz	1.45	1.10 - 1.75	21	9'	20 K	3.0	
2-3 GHz	2.16	1.72 - 2.74	14	5.8'	22 K	6.0	
4-6 GHz	4.90	3.90 - 6.10	6.1	2.5'	25 K	3.0	
8-10 GHz	9.00	7.70 - 11.60	3.3	1.4'	27 K	3.0	
12-15 GHz	13.70	11.70 - 15.60	2.2	54"	30 K	3.0	330"
18-22 GHz	20.00	17.60 - 22.60	1.5	37"	35 K	6.0	179"
22-26 GHz	24.20	21.85 - 27.10	1.2	30"	40 K	6.0	179"
26-40 GHz	34.00	26.0 - 40.0	0.88	22"	60 K	6.0	84"
40-52 GHz	46.00	40.00 - 50.00	0.65	16"	60-100 K	6.0	58"

VLBI con el radio telescopio Green Bank:

El radiotelescopio de Green Bank realiza observaciones VLBI en participación con VLBA y también en observaciones globales.

El sistema de adquisición de datos es similar al existente en las estaciones VLBA: ocho conversores a banda base con anchos de banda eleccionables entre 62.5KHz y 16MHz. Soporta todos los modos VLBA y algunos Mark 3. Están disponibles dos cintas de grabación y un disco Mark5A.

Los receptores que pueden emplearse en observaciones VLBI son los siguientes:

		GBT Rec	ceivers			
VLBA Band	GBT Frequency Range(GHz)	GBT Receiver	available	net sideband	primary beam	est. SEFD
90 cm	0.290 - 0.395	Rcvr_342 (PF1)	yes	lower	36'	35 Jy
50 cm	0.385 - 0.520 0.510 - 0.690	Rcvr_450 (PF1) Rcvr_600	yes	lower	27' 21'	24 Jy
	0.680 - 0.920	Rcvr_800 (PF1)	yes	lower	15'	13 Jy
	0.910 - 1.230	Rcvr_1070 (PF2)	yes	lower	12'	12 Jy
21-18 cm	1.1 - 1.8	Rcvr1_2	yes	lower	9'	10 Jy
13 cm	1.68 - 2.65	Rcvr2_3	yes	lower	5.8'	12 Jy
6 cm	3.9 - 5.9	Rcvr4_6	yes	lower	2.5'	13 Jy
4 cm	7.9 - 10.1	Rcvr8_10	yes	lower	1.4'	15 Jy
2 cm	11.8 - 15.6	Rcvr12_18	yes	upper	54"	20 Jy
1.3 cm	18.0 - 22.5	Rcvr18_22	yes	upper	37"	25 Jy
1 cm	22.0 - 26.5	Rcvr22_26	yes	upper	30"	30 Jy
	26.0 - 40.0	Rcvr26_40	yes	upper	22"	??
7 mm	40.0 - 52.0	Rcvr40_52	yes	upper	16"	60 Jy

Receiver	FWHM	Tsys	Gain (K/Jy)	Aperture.Eff.	SEFD (Jy)	Zenith Tau
Rcvr_342	36'	70 K	2.0	70%	35	
Rcvr_450	27'	57 K	2.0	70%	28	
Rcvr_600	21'	48 K	2.0	70%	24	
Rcvr_800	15'	25 K	2.0	70%	12	
Rcvr_1070	12'	22 K	2.0	70%	11	
Rcvr1_2	9'	20 K	2.0	70%	10	
Rcvr2_3	5.8'	22 K	1.9	68%	12	0.01
Rcvr4_6	2.5'	25 K	1.85	65%	14	0.01
Rcvr8_10	1.4'	27 K	1.8	63%	15	0.02
Rcvr12_15	54"	30 K	1.7	60%	18	0.03
Rcvr18_22	37"	30-40 K	1.5	55%	23	0.05
Rcvr22_26	30"	30-40 K	1.5	55%	24	0.05
Rcvr26_40	22"	~40 K	1.2	45%	50	0.04
Rcvr40_52	16"	43GHz: 60 K 48GHz: 80 K 50GHz: 130 K	1.0	35-40%	43GHz: 60 48GHz: 80 50GHz: 130	0.07 0.17 0.3

En el siguiente enlace pueden obtenerse en formato pdf diagramas de bloques de todos los receptores así como del sistema de OL:

http://wwwlocal.gb.nrao.edu/electronics/GBTelectronics/index.html

1.4 APT (Asia Pacific Telescope) y LBA (Australian Long Baseline Array)

Se trata de una red de radio telescopios en la región Asia-Pacífico. Su objetivo es promover y coordinar el uso de técnicas VLBI en astronomía y geodesia.

Los radiotelescopios existentes en esta zona del planeta forman una red para observaciones VLBI similar a las redes existentes en Norte América y Europa. Los telescopios están distribuidos al norte y al sur del ecuador y tienen longitudes similares obteniéndose un array con una cobertura comparable a los existentes en el hemisferio norte pero con la ventaja de poseer una buena resolución norte-sur y un mejor acceso a radio fuentes en la zona sur y ecuatorial.

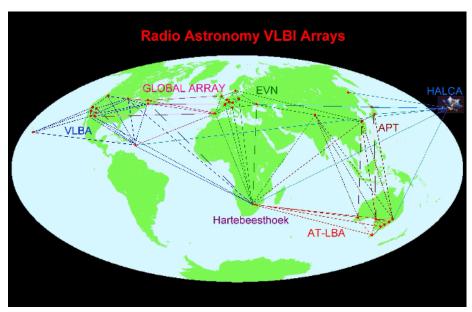


figura 76: Redes de VLBI mundiales

Los radio telescopios que forman parte de APT son los siguientes (Se incluyen también los que constituyen LBA):

ATCA (Australia telescope compact array)	Australia
Ceduna	Australia
Fortaleza	Northeastern space radio observatory – Brasil
GMRT (giant metrewave radio telescope)	India
Hartebeesthoek	Sudáfrica
Hobart	The Mount Pleasant radio observatory – Australia
Itapetinga	Brasil
Kashima	Japón
Mizusawa	Japón
Mopra	Australia
Nobeyama radio observatory-NRO	Japón
ORT(Ooty radio telescope)	India
Parkes	Australia
RRI(Raman research institute)	India
SEST (Swedish-ESO submilimetre telescope)	Chile
Shanghai	China
Taeduk radio astronomy observatory	Korea
Tidbinbilla	Camberra- Australia

Nasa DSN	USA
Urumqi	China
Usuda	Japón
VERA (VLBI exploration of radio astronomy)	Japón

La siguiente tabla muestra los parámetros fundamentales de los radio telescopios empleados en observaciones VLBI situados en el hemisferio sur.

(Institute)	Diameter	Mount	Elev.		Tsys (K or Jy) at each 𝒯(GHz) Frequency VLBI							Availabl			
` ′	(m)		limit	1.4	1.6	2.3	5.0	6.0	6.7	8.4	12	22	Standard	Terminal	
AUSTR	ALIA														
Australia Telesc	cope Nation	nal Facility	7												
Narrabri	1 x 22m	AZEL	12	32K	32K	37K	33K	34K	80K	38K	120K	40K	H-Maser	S2/eLBA	Now ¹
				340Jy	340Jy	530Jy	350Jy	350Jy	850Jy	430Jy	1300Jy	530Jy			
	6 x 22m			Sensi	tivity is	~ 6 tim	ies greate	er than 1	x 22m aı	ntenna	x 2				Now 3
Mopra	22m	AZEL	12	32K	32K	37K	33K	34K	80K	38K	120K	80K	H-Maser	S2/eLBA	Now 1
				340Jy	340Jy	530Jy	350Jy	350Jy	850Jy	430Jy	1300Jy	900Jy			
Parkes	64m	AZEL	30	25K	28K	20K	50K	50K	50K	25K	105K	140K	H-Maser	S2/Mk3A/eLBA	Now ¹
				40Jy	42Jy	30Ју	110Jy	110Jy	110Jy	43Jy	370Ју	810Jy			
Tidbinbilla (NAS	SA) - 1 of 2	2 antennas													
DSS43	70m	AZEL	6	x	25K	16K	x	X	х	25K	х	40K	H-Maser	S2/Mk4- 5a/eLBA	Now
					23Jy	16Jy				25Jy		60Jy			
DSS45	34m	AZEL	8	x	x	38K	X	x	X	20K	х	X	H-Maser	S2/Mk4- 5a/eLBA	Now
						165Jy				87Jy					
University of Ta	ısmania														
Hobart	26m	XYEW	~16	47K	42K	65K	64K	х	124K	56K	120K	180K	H-Maser	S2/Mk5a/eLBA	Now 5
				470Jy	420Jy	650Jy	640Jy		1240Jy	560Jy	1200Jy	1800Jy			
Ceduna	30m	AZEL	~10	х	х	57K	65K	x?	80K	85K	107K	360K	H-maser	S2/eLBA	Now
						400Jy	450Jy		550Jy	600Jy	750Jy	2500Jy			

² 12GHz may be available on only 1 ATCA antenna and by special arrangement only.	
Depending on ATCA configuration and phase-stability conditions, it may not be possible to tie together all ATCA antennas.	
Hartebeesthoek is readily available by special arrangement through the VLBI scheduler.	
At Hobart for S & X bands (13 & 3 cm) there are 2 possibilities:	
• either a single polarization (RCP) S/X system (Tsys 650 & 750 Jy respectively)	
• or a dual polarization S band (Tsys 840 Jy) and a dual polarization X band system (Tsys 590 Jy)	
Note 1: The Perth 27.5m & 15m antennas, the Alice Springs 9m antenna and the MOST are no longer routinely available for VLBI.	
Note 2: Additional antennas may also be available in the Asia Pacific region by arrangement with the APT.	
Actualizado en Dic	iembre,2004

Las coordenadas de cada radio telescopio son las siguientes:

Telescope	Longitude	Latitude	Elevation			
	East (®)	geodetic (®)	(m)			
Narrabri	149.57	-30.31	217			
Mopra	149.07	-31.30	840			
Parkes	148.26	-33.00	392			
Tidbinbilla(DSS43)	148.98	-35.40	670			
Hobart	147.44	-42.80	100			
Ceduna	luna 133.81 -31.87 160					
Perth ²	115.89	-31.80	55			
Hartebeesthoek 27.67 -25.89 1391						
¹ DSS45 is [∞] 200m from DSS43.						
² Perth is no longer available for	r VLBI. Is retain	ed here to give the	WA baselines.			

Y las longitudes de las líneas de base se indican en la siguiente tabla (Km):

	Narr.	Mopra	Parkes	Tidb.	Hobart	Ceduna	Perth	Hart.
Narrabri		113	321	566	1396	1504	3168	9853
Mopra	113		207	459	1287	1449	3111	9791
Parkes	321	207		275	1089	1361	3009	9673
Tidbinbilla	566	459	275		832	1456	3053	9595
Hobart	1396	1287	1089	832		1702	3001	9175
Ceduna	1504	1449	1361	1456	1702		1689	8955
Perth	3168	3111	3009	3053	3001	1689		7810
Hartebeesthoek	9853	9791	9673	9595	9175	8955	7810	

En la siguiente figura se presenta un mapa de Australia en el que se han situado los radiotelescopios VLBI que constituyen LBA:



figura 77: Radio telescopios VLBI en Australia - LBA

La antena de Perth ya no es empleada en observaciones VLBI, por lo que Ceduna es la antena que más alejada se encuentra en Australia. Esta situación permite obtener una Inea de base máxima de 1500 Kms, lo que equivale a una resolución angular de **8 milisegundos de arco a 5 GHz**. De forma ocasional, la estación sudafricana de Hartebeesthoek se incluye en el LBA y de esta forma la línea de base aumenta hasta los 10000 Kms y la resolución es de **1.2 milisegundos de arco.**

ATCA (Australia Telescope Compact Array).

El ATCA (Australia Telescope Compact Array), situado en el Observatorio Narrabri, es un array formado por seis antenas de 22metros de diámetro. Se encuentra a unos 500Km al noroeste de Sydney. Está gestionado por "Australia Telescope National Facility", una división de CSIRO (Commonwealth Scintific and Industrial Research).



figura 78: ATCA, observatorio Narrabri

Parkes radio telescope.

El radiotelescopio Parkes posee un diámetro de 64 metros.



figura 79: Radiotelescopio Parkes (Australia)

En la siguiente tabla se indican los parámetros de los receptores instalados en el radiotelescopio.

Table 3: Receiving systems available at the Parkes RadioTelescope

Receiver	Band (cm)	Range (GHz)	Diameter (m)	FWHP	Tsys (K)	Sensitivity ^a (Jy/K)	Pol'n ^b	BW (MHz)
70cm	70	0.44	64	~30	65	2	2xL	36
50cm	50	0.66	64	~30	65	2	2xL	36
10/50cm	50	.640704	64	~30	40	1.7?	2xL	64
concentric	10	2.6-3.6	64	~7	30	1.5?	2xL	1000
20cm Multibeam	20	1.23-1.53	64	14	23.5	1.5	26xL	300
H-OH	21/18	1.2-1.8	64	14	28	1.5	2xL	500
n-On	21/10	60 50	6870	50750	16.55	F	NB C	300
		1.4	64	14	28	1.5		
C 1:1	10	1.66	64	14	28	1.5	NB C	000
Galileo	13	2.20-2.5	64	9.2	20	1.9	2xC	300
		2.15-2.27	64	9.2	20	1.9	2xC	120
		2.29-2.3	64	9.2	20	1.5	2xC	10
^c AT Multiband	13	2.2-2.5	64	9.2	79	1.9	2xL or	300
	6	4.5-5.1	64	4.2	50	2.2	C	500
	3	8.1-8.7	64	2.7	54	2.1	2xL or C	500
	3/13	8.1-8.7	64	2.4	60	2.1	2xL or	500
	50	2.2-2.5	64	9.2	100	2	C	300
d5cm Multibeam	5	6.0-6.7	64	3.3	~25	2.2	14xC	300
Methanol	5	5.9-6.3	64	3.3	50	2.2	2xC	300
	Wet.	6.4-6.8	64	3.3	50	2.2	2xC	300
	2.5	12.0-12.4	64	2	50	3.5	2xC	250
Mars	3	8.1-8.6	64	2.45	25	1.7	2xC	500
2.2cm	2.2	12.0-15.0	64	1.5	105	3.5	2xL	500
1.3cm	1.3	21.0-24.0	45	1.3	140	5.8	2xC	500

^a Calculated with typical atmospheric contribution.

^b L = linear, C = circular, NB = narrowband.

^c Dual linear feeds at S,C,X bands, $\lambda/4$ plates available for band centres.

^d Contact John Reynolds (John.Reynolds@csiro.au) for specifications.

Mopra Radio telescope.

El radiotelescopio Mopra posee un diámetro de 22 metros.



figura 80: Radiotelescopio Mopra (Australia)

En la siguiente tabla se indican los parámetros de los receptores de es te radiotelescopio

	Table	1: Mopra	system p	arameters			
BAND	20cm	13cm	6cm	3cm	12mm	3.5mm ^e	$2.6 \mathrm{mm}^a$
Frequency Range GHz	1.3-1.8	1.8-3.0	4.5-6.7	8.0-9.2	22.0-22.4	85-	116
FWHM	33'	22'	10'	5'	2'	$36 \pm 3''$	$33 \pm 2''$
System Temperature ⁶	35 K	36 K	38 K	38 K	100 K	139 K	290 K
Sensitivity (Jy/K)	-11	14	11	11	15	22	~30
Zenith opacity ^c τ	0	0	0	0	0.05	0.1	0.18
Continuum flux sensitivity ^d (1 sec, 256 MHz, 2IFs)	17 mJy	22 mJy	18 mJy	18 mJy	70 mJy	149 mJy	460 mJy
Line flux sensitivity ^d (10 mins, 10 km/s, 2 IFs)	51 mJy	51 mJy	30 mJy	22 mJy	53 mJy	58 mJy	154 m.Jy
Main Beam Efficiency	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.49	0.42
Continuum brightness sensitivity ^{d,e} (1 sec, 256 MHz, 2IFs)	2.2 mK	2.3 mK	2.4 mK	2.4 mK	6.6 mK	14 mK	37 mK
Line brightness sensitivity ^{d,e} (10 mins, 10 km/s, 2IFs)	6.6 mK	5.3 mK	3.9 mK	2.9 mK	5.0 mK	5.3 mK	12.2 mK

GMRT: Giant Metrewave Radio Telescope.(India).

Está formado por 30 antenas parabólicas de 45 metros de diámetro separados distancias del orden de 25 Km. Cuando esté completado, GMRT será el radiotelescopio más potente del mundo operando en el rango de frecuencias entre 50 y 1500 MHz.

El array podrá operar en seis bandas diferentes de frecuencias centradas en 50, 153, 233, 325, 610 y 1420 MHz. Se dispone de doble polarización.

Las características fundamentales del sistema son las siguientes:

Parameter		Specification
Parabolic Reflector Diameter		45m
Focal Length		18.54m
Physical aperture		1590m ²
Sensitivity of single dish		0.3 K/Jy
Feed Support		Quadripod
Mounting		Altitude-azimuth
Elevation Limits		15-110 degrees
Azimuth Limits		-270 to +270 degrees
Slew rate:	Azimuth Elevation	30 deg/min 20 deg/min
Design wind speeds (3 sec peak at 10-m height)	Operation upto Slew upto Survival	40kmph 80 kmph 133 kmph
Size of wire mesh of reflecting surface		20X20 mm, outer 1/3 area 15X15 mm, middle 1/3 area 10X10 mm, inner 1/3 area
Maximum r.m.s. surface errors, at wind speed of 40 kmph		20 mm, outer 1/3 area 12 mm, middle 1/3 area 8 mm, inner 1/3 area
Tracking and pointing accuracy		1' r.m.s at wind speeds of <20kmph

Frequency (MHz)	Type of feed
50	Half-wave dipole with linear reflector
153	Two Orthogonal pais or dipole over a plane reflector
233	Dual concentric coaxial cavity
610	Dual concentric coaxial cavity
327	Half-wave dipole over ground plane and a beam-forming ring (Kildal feed)
1420	Corrugated horn

System Property	Frequency (MHz)					
	50	153	233	327	610	1420
Primary beam (deg)		3.8	2.5	1.8	0.9	0.4
Synthesized beam Total array (arcsec) Central compact array (arcmin)		20 7	13 4.5	9 3.2	5 1.7	2 0.7
System Temperature (K) 1) $T_{reciever}$ (including cable losses) 2) $T_{ground} = T_{mesh} + T_{spillover}$		144 30	55 23	50 18	60 22	60 32

3) T _{sky}	200	00	40	10	4
Total T _{sys}	308 482	99 177	40 108	10 92	4 96
Gain of an antenna (K/Jy)	0.33	0.33	0.32	0.32	0.22
r.m.s. noise in image in microJy	46	17	10	9	13

System Setting Options

IF bandwidths 32, 16, 6 MHz

Baseband bandwidths 16, 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.12, 0.062 MHz

Polarization swap Swap on (1)/ Swap off (0)



figura 81: Antenas GMRT

Se muestra en la siguiente figura un esquema de los receptores instalados en las antenas

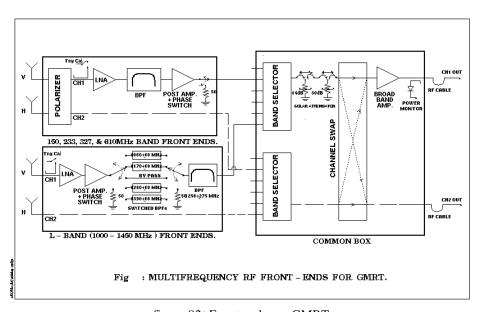


figura 82: Front-end para GMRT

The Mount Pleasant Radio Observatory:

El observatorio está dirigido por el departamento de física de la Universidad de Tasmania y está situado a 20Km al este de Hobart, la capital de Tasmania. El observatorio está equipado con dos antenas de 14 y 26 metros de diámetro con óptica de foco primario. Ambas antenas forman parte de LBA.

La antena de 26 metros puede trabajar hasta frecuencias de 22GHz. Su montura es X-Y. Esta antena está equipada con receptores refrigerados con helio que operan a 2.3, 6.6, 8.4, 12.2 y 22 GHz.

La antena de 14 metros posee montura altacimutal. También posee óptica de foco primario. Está equipada con tres receptores (635MHz, 954MHz y 1391MHz). Pueden trabajar simultáneamente, son de doble polarización y no están refrigerados. La antena sólo puede trabajar a frecuencias por debajo de 3GHz.

Kashima (Japón)

Pertenece al "Kashima Space Research Center".

Se dispone de una antena de 34 metros de diámetro construída en el año 1988. Trabaja en el rango de frecuencias comprendido entre 1.35 y 43 GHz. Sistema Cassegrain y montura altacimutal. Las especificaciones de los receptores instalados son las siguientes:

Frequency Band	Receiver Noise Temperature	System Noise Temperature	Efficiency	Beam Width
1.35-1.75GHz	10K	38K	68%	24'
2.193-2.35GHz	11K	71K	68%	16'
4.60-5.10GHz	25K	55K	70%	7.5'
7.86-8.68GHz	13K	52K	68%	4.4'
21.8-23.8GHz	75K	160K	57%	1.6'
31.7-33.7GHz	85K	150K	-%	1.2'
42.3-44.9GHz	180K	350K	20%	51"

Raman Research institute (India).

El radio telescopio de 10.4 metros de diámetro se encuentra En el campus del Instituto a una altura de 930 metros sobre el nivel del mar. La precisión de la superficie es de 100 µm (rms)

SITE PARAMETERS

Latitude	13°.01 N
Longitude	77°.58 E
Altitude	930 m above MSL

ANTENNA PARAMETERS

Parabolic reflector diameter	10.4 m
f/D	0.3962
Mount	Altitude - Azimuth, Prime focus
Declination Coverage	-60° to 80°

RECEIVER PARAMETERS

Observing frequency	1420 MHz	6668.518 MHz
Horn	Conical	Helical
Polarisation	Dual (V,H)	Right Circular
Half power beam width	1.4°	18
System temperature	70 K	100 K
1 st IF	32.5 MHz	1450 MHz
Back-end receiver	4096 channel 2-bit 3-level autocorrelation spectrometer	
Correlation bandwidth	6 MHz	
Spectral resolution	1.5 KHz	



figura 83: Raman institute radio telescope

Taeduk Radio Astronomy Observatory (Korea).

TRAO (Taeduk Radio Astronomy Observatory) fue fundado en 1986 y forma parte del observatorio astronómico de Korea. Posee un radio telescopio de 14 metros de diámetro.

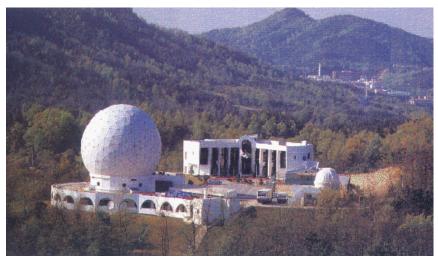


figura 84: Taeduk observatory

1. Antenna Performance: Diameter; 13.7m

Frequency (GHz)	Beamwidth (HPBW)	Aperture efficiency (%)	Main beam efficiency (%)	Moon efficiency (%)
86	64	38	50	67
100	60	37	48	66
110	55	36	47	68
115	53	34	46	68
146	46	27	39	

2. Available Receivers

Туре	Receiver Noise Temperature (T_{RX})	System Noise Temperature (T _{SYS} : EL=60 _j Æ)
100GHz band SIS Mixer	AVO 45 K (DSB)	200 ~ 300 K (SSB); 80 ~ 110 GHz 600 K (SSB); 115 GHz range
150GHz band SIS Mixer	Avg. 80 K (DSB)	300 ~ 600 K (SSB)

3. Backends

Continuum Receiver: bandwidth 400MHz (mainly used in pointing check) Spectrometers

Type	Resolution	Channels	No.	Remark
Filterbank	250kHz	256	3	250 kHz ¡¿ 512 channel and/or
Filterbank	1MHz	256	2	1 MHz ¡¿ 512 channel is available
Autocorrelator	20, 10, 5, 2.5kHz	1024	1	

1.5 GSI VLBI (Japón).

GSI (Geographical Survey Institute) basa todas sus medidas en observaciones VLBI. Las radio estrellas (cuasar) están situadas a gran distancia de la Tierra y las ondas electro magnéticas que emiten estas radiofuentes llegan hasta nosotros en forma de onda plana. Si las señales se reciben por dos radiotelescopios situados en diferentes puntos de la superficie terrestre, existirá una diferencia de tiempo al recibir la misma señal en ambos puntos. Esta diferencia de tiempos denominada retraso se puede medir mediante técnicas VLBI con gran precisión. Las posiciones relativas entre ambos radiotelescopios puede ser determinada de la misma forma con gran precisión, lo que hace que VLBI sea una gran opción para efectuar estudios geodésicos.

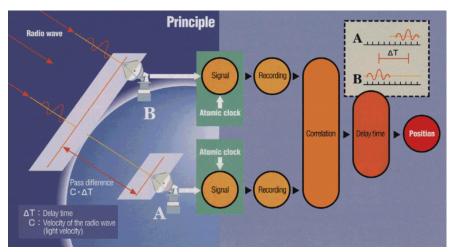


figura 85: VLBI aplicado a geodesia

En la siguiente figura se indican las estaciones VLBI que configuran el sistema GSI en Japón:

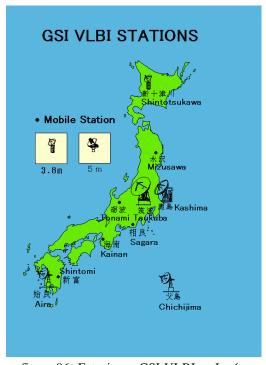


figura 86: Estaciones GSI-VLBI en Japón

En esta otra figura se presentan algunas de las estaciones VLBI más importantes en el mundo:

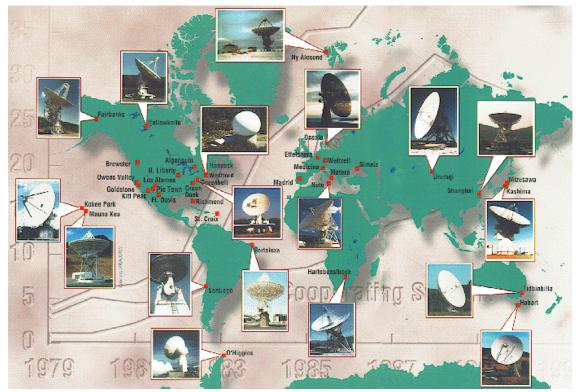
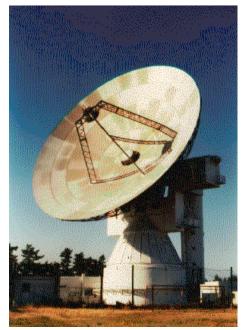


figura 87: VLBI en el mundo

A continuación se presenta cada una de las estaciones que conforman el sistema indicando sus principales características.

KASHIMA:



Lat. N35:57:03 Lon. E140:39:58				
Alt. 30m				
Antenna Type cassegrain, Az-El mount				
Diameter of main ref.	26m			
Receiver Freq.	S-band 2.2-2.3GHz			
X-band 8.05-8.55GHz				
Weight 500 ton				
Year of Construction 1968 (demolida en 2003)				

figura 88: Estación VLBI Kashima

SHINTOTSUKAWA:



Lat. N43:31:43 Lon. E141:50:39			
Alt. 62.5m			
Antenna Type	cassegrain, Az-El mount		
Diameter of main ref.	3.8m		
Receiver Freq. S-band 2.10-2.50GHz			
X-band 8.18-8.58GHz			
Weight 3.5 ton			
Year of Construction March 1995			

figura 89: Estación VLBI Shintotsukawa

CHICHIJIMA:



Lat. N27:04:01 Lon. E142:11:10				
Alt. 35m				
Antenna Type	cassegrain, Az-El mount			
Diameter of main ref.	10.26m			
Receiver Freq.	S-band 2.12-2.52GHz			
	X-band 7.78-8.58GHz			
K-band 19.5-25.0GHz				
Weight 26 ton				
Year of Construction	June 1997			

figura 90: Estación VLBI Chichijima

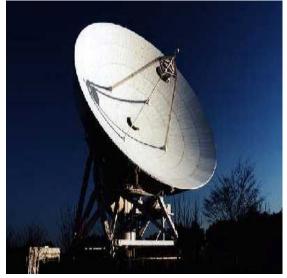
AIRA:



Lat. N31:49:13 Lon. E130:36:08				
Alt. 280m				
Alt	. 280111			
Antenna Type cassegrain, Az-El mount				
Diameter of main ref. 10.26m				
Receiver Freq.	S-band 2.12-2.52GHz			
X-band 7.78-8.58GHz				
K-band 19.5-25.0GHz				
Weight 26 ton				
Year of Construction March 1997				

figura 91: Estación VLBI Aira

TSUKUBA:



Lat. N36:06:11 Lon. E140:05:19			
Alt. 44.6m			
Antenna Type cassegrain, Az-El mount			
Diameter of main ref.	32m		
Receiver Freq. S-band 2.12-2.52G			
X-band 7.78-8.98GHz			
K-band 19.5-25.0GHz			
Weight 550 ton			
Year of Construction	March 1998		

figura 92: Estación VLBI Tsukuba

1.6 VERA: VLBI Exploration of Radio Astrometry.

VERA es un proyecto promovido y dirigido por el "National Astronomical Observatory of Japan" en colaboración con varias universidades de Japón. Se trata de un nuevo array VLBI destinado a observaciones de astrometría por referencia de fase. Dispone de un sistema de antena de doble haz que permite observar una fuente máser y a una fuente de referencia cercana de forma simultánea para eliminar fluctuaciones atmosféricas. Puede medir posiciones de radio fuentes máser con relación a las fuentes de referencia con una precisión de 10 microsegundos de arco.

VERA es un array de 4 antenas de 20 metros de diámetro diseñadas para observar de forma eficiente en el rango de 2 a 43 GHz, con una posible extensión hasta los 86GHz. Cada antena dispone de un sistema de doble haz. La separación de estos haces puede ir desde los 0.5° hasta un máximo de 2°. Una fuente de ruido se instalará en la apertura de cada antena , y emisiones radio de esta fuente de ruido se inyectarán en los receptores duales durante las observaciones con el objetivo de calibrar el retardo mecánico en ambos haces duales.

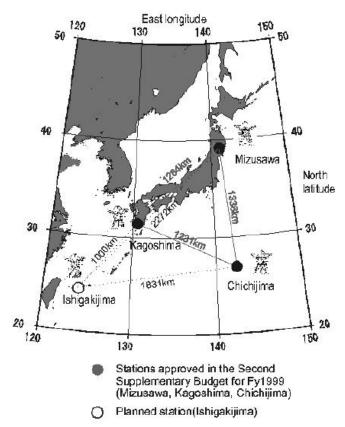


figura 93: Localización de las estaciones que forman VERA

year	schedule
2000	construction
2001	system setup, first fringe detections
2002-3	system setup, test observations
2004(5?)-	project observations, common use observations

figura 94: Fases en la construcción de VERA

Las cuatro estaciones que configuran VERA son: Mizusawa, Kagoshima, Chichijima e Ishigakijima.

Receptores instalados en los radiotelescopios:

Cada estación VERA dispone de cuatro receptores:

Banda S: 2GHzBanda X: 8GHzBanda K: 22GHzBanda Q: 43GHz

Todos los receptores están equipados con amplificadores HEMT refrigerados. Los receptores de Banda X y S se usan fundamentalmente para observaciones geodésicas determinando los parámetros de las líneas de base. Los receptores de banda K y Q son para maser HO y SiO y fuentes continuas (referencia de fase). En cada estación se pueden instalar un receptor en banda S y X y dos en banda K y Q para haces duales. La temperatura de ruido del receptor en banda K será menor de 60K y la del receptor en banda Q inferior a 100K.

La señal de salida de los receptores es convertida a frecuencia intermedia (IF) de 5-7 GHz, y posteriormente se hace una nueva conversión de frecuencia hasta banda base. Esta señal en banda base se almacena a una velocidad de 1Gbps con una codificación de 2 bit y un ancho de banda máximo de 256MHz.

El proceso de correlación se efectúa en el correlador Mitaka FX, que fue desarrollado para VSOP (VLBI Space Observatory Program)

En las siguientes imágenes se muestran las cuatro antenas que forman el array VERA. (La mayor línea de base es de 2300Km)

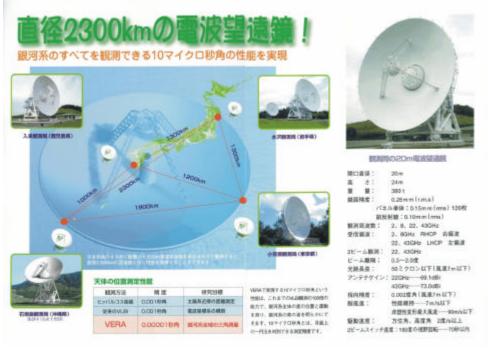


figura 95: radiotelescopios de VERA



figura 96: Principios de funcionamiento de VERA

1.7 GMVA (Global mm-VLBI Array).

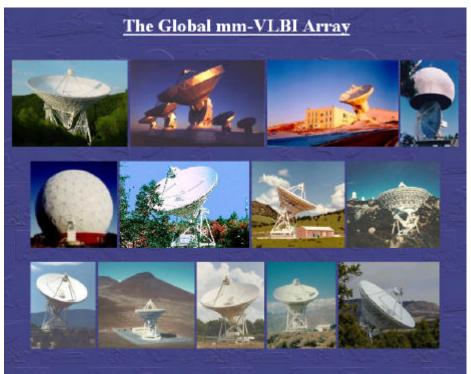


figura 97: Radio telescopios que forman parte de GMVA

La gran resolución angular que se puede obtener mediante técnicas VLBI se puede incrementar de dos formas distintas: aumentando la longitud de las líneas base y observando a longitudes de onda más cortas. En el primer caso surgen las técnicas VLBI espaciales (con una o varias antenas orbitando embarcadas en satélites). En el segundo caso nos encontramos con sistemas "millimeter-VLBI". En un futuro no muy lejano ambas técnicas podrán combinarse.

VLBI milimétrico ofrece una resolución angular mucho mayor que la obtenida con sistemas centimétricos y tiene otra ventaja significativa: en estas bandas de frecuencia se pueden estudiar regiones de emisión cuya radiación es absorvida a longitudes de onda mayores.

Después de años de continuos desarrollos y mejoras técnicas, mm-VLBI es en la actualidad capaz de proporcionar buenos resultados en la banda de 3mm, con resoluciones angulares del orden de 50-70 microsegundos de arco.

GMVA ha sido desarrollado por un grupo de radio observatorios interesados en efectuar mediciones VLBI en longitudes de onda milimétricas.

Con los dos telescopios de IRAM (el interferómetro de seis elementos en Plateau de Bure y el radiotelescopio de 30metros de Pico Veleta), el radiotelescopio de 20 metros de Onsala de OSO y el radiotelescopio Effelsberg de 100m del Max Planck institute, la sensibilidad de VLBI a 3mm es superior en un factor 3-4 veces al VLBA. La combinación de los telescopios mm-VLBI existentes en Europa (MPIfR, IRAM, Onsala, Metsahövi,...) con los radiotelescopios de VLBA y más adelante con GBT, LMT, CARMA y ALMA, formarán una red extemadamente sensible a 3mm.

Especificaciones técnicas:

- a) Estaciones participantes:
- Europa: Effelsberg, Onsala, Pico Veleta, Plateau de Bure
- USA: VLBA (8x25m) HN, NL, PT, LA, FD, KP, OV, MK (BR próximamente).
- Otras estaciones que participarán: Metsahövi, Noto, GBT

b) Frecuencia:

La frecuencia estándar de observación en continuo es de 86GHz.

Para líneas espectrales un rango comprendido entre 84-95GHz está disponible en Ef, Pv, Pb. VLBA permite rabajar a 80-96GHz excepto las estaciones LA y HN que actualmente sólo permiten 80-90GHz. Así pues el rango útil en la actualidad es el comprendido entre 84-90GHz.

c) Almacenamiento de datos:

En todas las estaciones se encuentran sistemas Mark4/VLBA que permiten modos de grabación de hasta 512Mbps. Las estaciones europeas disponen de sistemas Mark5 CON VELOCIDAD DE GRABACIÓN DE 1Gbps.

Para observaciones en continuo el estandar de grabación recomendado es 256-8-2 (256Mbps, 8IFs de ancho de banda 16MHz, muestreo con 2 bits) con polarización circular a izquierdas

d) Correlación:

A no ser que se justifique de forma clara en las propuestas, los datos serán correlados en el correlador de MPIfR en Bonn.

e) Polarización:

Receptores de doble polarización disponibles en Ef, Pv, VLBA. Receptores de única polarización en: Pb y ON.

Para más información contactar con: rporcas@mpifr-bonn.mpg.de

Sensibilidades 3mm-VLBI:

Antenna Characteristics:

Station	Diameter (m)	Zenith Tsys (K)	Gain (K/Jy)	Eta (%)	SEFD (Jy)
Effelsberg	100.0	130.0	.140	7	929
Plateau de Bure	31.0	120.0	.180	65	667
Pico Veleta	30.0	120.0	.140	55	857
VLBA	25.0	120.0	.030	17	4000
Onsala	20.0	250.0	.053	45	4717
Metsähovi	14.0	300.0	.017	30	17647

7sigma detection thresholds (all numbers in mJy):

-	Plateau de Bure	Pico Veleta	Onsala	Metsähovi	VLBA
Effelsberg	124	140	329	636	303
Plateau de Bure	-	119	279	539	257
Pico Veleta	-	-	316	611	291
Onsala	-	-	-	1434	683
Metsähovi	-	-	-	-	1321
VLBA	-	-	-	-	629

Highest Baseline Sensitivity: 119 mJy

Array Sensitivity: 40 mJy in 20 secs or 1.2 mJy in 12 hr adopting
(all European telescopes a duty cycle (time on source/total time) of 0.5.

+ 8 VLBA antennas) These numbers will improve by a factor of sqrt(2) for recording at 512 Mbit/s

Mode: MKIV/VLBA 256-8-2
 Bandwidth: 64.0 MHz (256 Mbit/s)

• Integration time: 20.0 sec (coherence time)

Threshold: 7.*sigma Sampling: 2 Bit

Debajo se muestra una lista de radiotelescopios que en algún momento podrían llegar a formar parte de mm-VLBI. Añadir radiotelescopios de gran tamaño y sensibles a longitudes de onda milimétricas (situados preferiblemente en altitud) permite aumentar la sensibilidad total del sistema.

	Name	Location	Height	Diameter	Apert.Eff.	Surface	Gain	existing VLBI equipment
			[m]	[m]		[micron]	[K/Jy]	
Existing:								
	<u>GBT</u>	Virginia, USA	800	100	0.35	240	1.00	yes
	Nobeyama	Japan	1300	45	0.3	200	0.17	yes
	<u>Noto</u>	Italy	sea level	32	0.29	180	0.085	yes
	<u>JCMT</u>	Hawaii, USA	4000	15	0.4	25	0.026	no
	<u>KittPeak</u>	Arizona	2000	12	0.4	75	0.016	yes
	CSO	Hawaii, USA	4000	10.4	0.5	25	0.015	no
	<u>HHT</u>	Arizona	3200	10	0.65	15	0.018	yes
Planned or under Construction:								
	<u>ALMA</u>	Chile	5000	64x12	0.7	15	1.8	
	<u>LMT</u>	Mexico	4600	50	0.4	70	0.5	
	CARMA	Calif., USA	2400	6x10.4+10x6.1	0.5	30	0.14	
	Yebes	Spain	1000	40	0.3	150	0.13	
	<u>SMA</u>	Hawaii, USA	4000	8x6	0.5	13	0.04	
	APEX	Chile	5000	12	0.7	18	0.029	
	<u>SRT</u>	Sardinia	600	64	0.46	150	0.54	

1.8 CARMA: Combined Array for Research in Millimeterwave Astronomy.

Astrónomos de la Universidad de Illinois y Urbana-Champaign son los principales participantes en la construcción y operación de un nuevo telescopio que trabajará en longitudes de onda milimétricas y que estará situado en el desierto de california.

CARMA es una joint-venture del Instituto Tecnológico de California, la Universidad californiana de Berkeley, la universidad de Maryland y la de Illinois. El desarrollo de CARMA implica mover los seis radiotelescopios de 10m del radio **observatorio Owens Valley (Caltech)** y nueve radiotelescopios de 6m de la asociación

Berkeley-Illinois-Maryland, hasta su nueva localización final (Cedar Flat, Inyo Mountains cerca de Bishop).

Para más información contactar con: dbock@ovro.caltech.edu

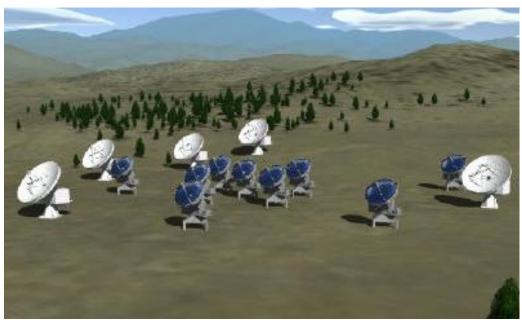


figura 98: Visión general de CARMA





figura 99: OVRO

figura 100: BIMA

Las especificaciones fundamentales de CARMA son las siguientes:

	Number of antennas	15 (6 x 10.4 m, 9 x 6.1 m)						
Array	Total collecting area	772 m²						
	Angular resolution	0.1" (230 GHz A-array)						
	A	0.25 - 2 km						
Configuration	В	100 - 1000 m						
Configuration	С	30 - 350 m						
	D	8 - 150 m						
Receivers	115 GHz	40 K (DSB)						
	230 GHz	70 K						

	345 GHz	70 K (pla	nnned)						
	Bas	selines	105						
	Total l	4 GHz							
Correlator	Continuum	Spectral channels	200 per baseline						
001101111101	Continuum	Spectral resolution	20 MHz						
	Spectral-line	Selectable bandwidths	2 MHz to 128 MHz						
	Бресиат-ппс	Spectral channels	512 per baseline						

En la siguiente figura se presenta un esquema de los **receptores disponibles en los radiotelescopios del observatorio Owens Valley**. Cada telescopio está equipado con un dewar criogénico en el foco Nasmith que contiene dos receptores SIS a 3mm y 1mm. El rango de frecuencias que cubren son 86-116GHz y 210-270GHz. Ambos receptores son de doble banda lateral. La banda de frecuencia en FI es de 1GHz centrada en 1.5 y 3GHz.

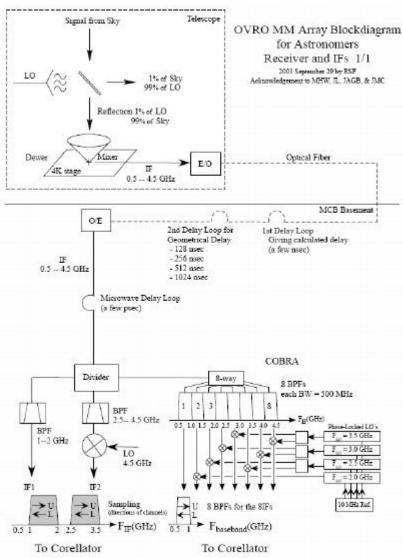


figura 101: Receptores radiotelescopios Owens Valley

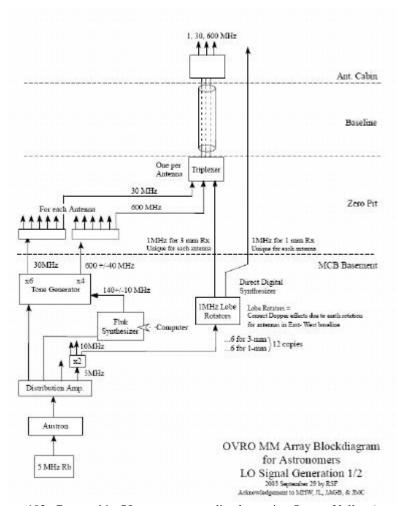


figura 102: Generación OL: receptores radiotelescopios Owens Valley (parte1)

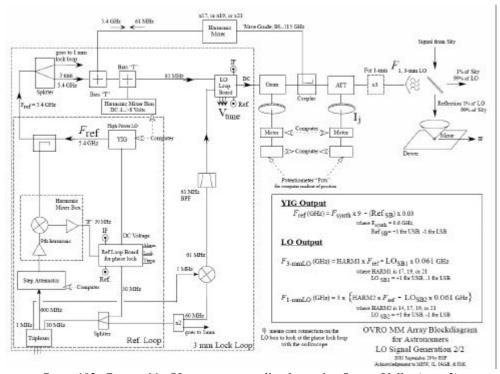


figura 103: Generación OL: receptores radiotelescopios Owens Valley(parte2)

78 Hz

beam from subreflector BIMA receiving system block diagram calibration load polarization plate beamspitter (1% reflective) combines LD with signal LO plate sensor 3 (3.5-K) atten 8.0-12.5 GHz diplexe (12 K) 10 MHz TV phaselock phaselock I.F. band select HEMT Te. amp (13 K) (68 K) mm 70 MHz + FOFF channel 90 deg phase s mm LO2 (1.27 GHz) (70-116 GHz) He supply (280 pel) 1270 synch 10 MHz + FOFF2 ompress He return (70 pei) speed control 0/13 dB total pwi sod fig. antenna 4 independent synthesizers (70-900 MHz) CORF2 CORF4 CORE1 CORE3 pit box crystal oac (1100-1260 MHz) IFLO

A continuación se muestra el esquema general de los receptores de 3mm y 1mm existentes en los radiotelescopios BIMA

figura 104: receptores radiotelescopios BIMA

sampler

phase demodulation

1.9 VSOP2: (VLBI Space Observatory Programme).

VSOP tiene entre sus objetivos científicos obtener imágenes de alta resolución de núcleos galácticos y monitorizar los cambios estructurales en fuentes superluminosas.

El primer satélite se encuentra en una órbita bastante elíptica de 21000Km de apogeo y 560Km de perigeo (lo que ofrece un amplio rango de líneas de base), y lleva a cabo observaciones VLBI con líneas de base de hasta tres veces la longitud de las que se alcanzan en tierra.

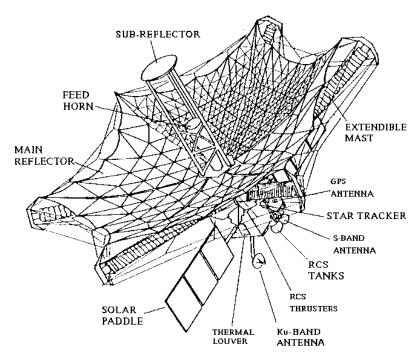


figura 105: vista esquemática del satélite VSOP

VSOP 2:

Se trata de una nueva generación de misiones VSOP en fase de desarrollo. Una única estación espacial observará conjuntamente con varios arrays terrestres.

Respecto de VSOP tendrá mayores: diámetro de antena, bandas de frecuencia (22 y 43GHz), línea de base máxima (40000Km) que permite obtener mayor resolución angular, eficiencia de apertura (0.6) y menores temperaturas de ruido (30K).

El satélite VSOP2 dispone de una antena de 10 metros de diámetro y receptores de bajo ruido. La velocidad del enlace downlink es de 1Gbps. Es capaz de detectar en las bandas de 8, 22 y 43 GHz con polarizaciones RCP y LCP. Los receptores de 22 y 43 GHz están refrigerados criogénicamente para reducir la temperatura de sistema hasta 30K. Se espera disponer de una sensibilidad 10 veces superior a la de VSOP.

Observar a frecuencias de 43GHz permite que la resolución angular sea 10 veces superior a la alcanzada en VSOP a 5GHz. La altura en apogeo de 25000Km permite conseguir una resolución angular de 38 milisegundos de arco a 43GHz.

En la siguiente tabla se indica una comparativa entre VSOP y VSOP2.

items	VSOP	VSOP-2
Antenna Diameter	8 <i>m</i>	9 <i>m</i>
Apogee Height	21,500km	25,000km
Orbit Period	6.3h	7.5h
Polarization	LCP	LCP&RCP
Data Bandwidth	128Mbps	1Gbps
Observing Band (GHz)	1.6, 5, (22)	8, 22, 43
Maximum resolution	0.36mas	0.038 mas
Sensitivity ^a (5/8 GHz)	158mJy	22mJy
(22 GHz)	<u> </u>	39mJy
Phase-referencing		10814078000 5 44
Sensitivity (1.5h integration)		9.1mJy
Launch (earliest case)	1997	2011

^a Assuming a VLBA antenna as the ground radio telescope.

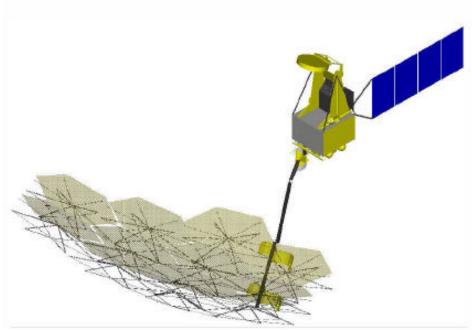


figura 106: vista esquemática del satélite VSOP2

Se está realizando el desarrollo de un receptor criogénico MMIC GaAs a 43GHz. Actualmente la temperatura de ruido es de 40 a 30K. Se planea también hacer test con amplificadores HEMT de InP para tratar de conseguir menores temperaturas de ruido y reducir el consumo de potencia (para hacer más sencillo el sistema criogénico).

En esta otra tabla comparativa pueden verse las mejoras que introduce este sistema con respecto a otros proyectos mundiales de VLBI (en particular con VLBA).

	VSOP-2	VSOP	VLBA
Antenna diameter	9m	8 <i>m</i>	25m
Apogee height	25000km	21500km	0km
Orbital period	7.5hr	6.3hr	24hr
Polarization	LCP/RCP	LCP	LCP/RCP
Data downlink	1Gbps	128M bps	512Mbps
Observing frequencies (GHz)	8, 22, 43	1.6, 5	1.6, 2, 5, 8, 15, 22, 43, 86
Highest resolution	38µas	360µas	96µas
Sensitivity (5/8 GHz)	22mJy	158mJy	7.9mJy
Sensitivity (22 GHz)	39 m Jy		23mJy
Phase-referencing 22 GHz			
(for a 1.5 hr integration)	9.1mJy		5.3mJy
Launch	2010(proposed)	Feb1997	

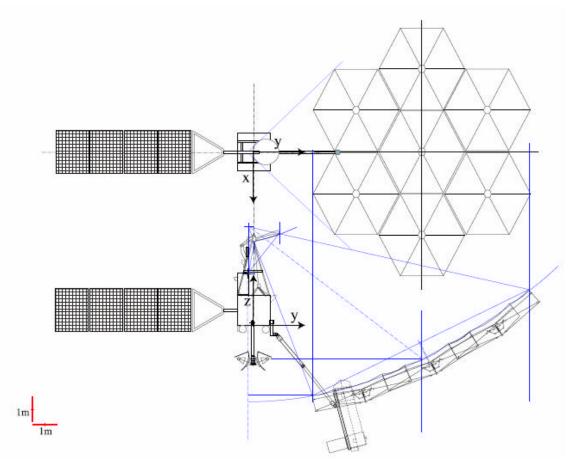


figura 107: vista esquemática del satélite VSOP2

1.10 Radioastron (Space VLBI mission).

Se espera efectuar el lanzamiento a finales del año 2006.

La antena del radiotelescopio espacial es un reflector parabólico desplegable de 10 metros de diámetro formado por 27 paneles de fibra de carbono y una zona central sólida de 3 metros de diámetro. El radiotelescopio disponen de una relación F/D=0.43 y una precisión de la superficie reflectora de 0.7mm. Las bandas de frecuencia de observación son: 0.324, 1.66, 4.83 y 18.4-25.1 GHz.

Permite observar simultáneamente a dos frecuencias distintas o dos polarizaciones circulares. Todas las frecuencias de OL se derivan de una señal de referencia de gran estabilidad que se transmite desde estaciones de seguimiento en tierra que disponen de un maser de hidrógeno. El propio satélite también dispone de un oscilador de rubidio y un maser de hidrógeno para modos de sincronización independientes.

La siguiente tabla indica los parámetros de los receptores del sistema:

Band	Р	L	С	К
Observing frequency (MHz)	327	1665	4830	18392- 25112
Bandwidth (MHz) for each polarization	4	32	32	32
System temperature (K)	70	50	50	60
Antenna efficiency	0.3	0.5	0.5	0.3
SRT sensitivity (Jy)	8200	3500	3500	7000

Los amplificadores de bajo ruido de las bandas L, C y K se refrigeran a 100K mediante un criostato instalado en el satélite. El LNA de la banda P se encuentra a la temperatura de la cabina (300K). Para todas las bandas hay dos receptores, uno para cada polarización circular (izquierdas y derechas).

Debido a la baja sensibilidad de la antena de 10 metros y a la gran órbita del satélite Radioastron, sólo grandes radiotelescopios en la superficie terrestre permiten obtener buenos resultados científicos en las observaciones. La siguiente tabla muestra la disponibilidad de diferentes radiotelescopios.

		Spectra				
Radio Telecope	Diameter (m)	Р	L	С	К	Expected % of observation time *)
Arecibo	305	+	+	+	-	5
ATCA	50	-	+	+	+	10

Bear Lakes	64	+	+	+	-	40
Bonn	100	-	+	+	+	20
Evpatoria	70	+	+	+	-	95
GBT	100	-	-	+	+	15
GMRT	240	+	-	-	-	5
Goldstone	70	-	+	+	+	15
Jodrell Bank	76	+	+	-	-	15
Kalyazin	64	+	+	+	-	50
Madrid	70	-	+	+	+	15
Parkes	64	+	+	+	+	10
Tidbinbilla	70	-	+	+	+	15
VLA	130	+	+	+	+	15
VLBA	80	+	+	+	+	20
WSRT	90	+	+	+	-	20

Radiotelescopios más pequeños también pueden incluirse en el programa de observaciones. La configuración mínima razonable es de un radiotelescopio grande y uno pequeño. En algunas observaciones con Radioastron se emplean más de 10 radio telescopios para proporcionar un alto rango dinámico en las imágenes resultantes.

Sistemas de almacenamiento de datos:

En el proyecto Radioastron se emplean dos sistemas diferentes de almacenamiento de datos: el terminal de almacenamiento canadiense S2 (S2-RT), NRAO VLBA, y discos duros rusos. Todos los tipos de sistemas de almacenamiento se instalan en las estaciones de seguimiento y en los radiotelescopios en superficie en Rusio y en otros países.



General view of the RadioAstron in Lavochkin Association, May 2004

figura 108: satélite del proyecto Radioastron

1.11 IRAM: Instituto de Radioastronomía Milimétrica.

El Instituto de Radioastronomía Milimétrica (IRAM) se fundó en el año 1979 por el MPG (Max Planck Gesellschaft) y el CNRS (Centre Nacional de la Recherche Scientifique), en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional de España. IGN participa con un 6%. La dirección y los laboratorios centrales están en Grenoble (Francia). Sus principales instrumentos son el radiotelescopio de 30 metros de pico Veleta (Granada) y el interferómetro de Plateau de Bure (Alpes franceses) formado por seis antenas de 15 metros de diámetro.

1.11.1 Observatorio de Pico Veleta (Granada, España).

El observatorio de Pico Veleta está situado a una altura de 2920 metros en Sierra Nevada (España) a 50 Km de Granada. El radiotelescopio de 30 metros se construyó entre los años 1980 y 1984. Se trata de un telescopio con montura altacimutal y óptica Cassegrain-nasmyth. Está diseñado según el principio de homología. Dispone de un sistema de control de la temperatura de la superficie reflectora para conseguir mantener

constante la temperatura. En la siguiente tabla se indican los parámetros del radiotelescopio.

Position (GPS):	
Longitude	3°23′33.7″ (W)
Latitude	37°03′58.3" (N)
Altitude	2920 m
Parabolic main reflector:	
Diameter	D = 30 m
Focal length	f = 10.5 m
Focal ratio	f/D = 0.35
Hyperbolic subreflector (wobbling):	
Diameter	d = 2.0 m
Eccentricity	e = 1.0746
Max. beam throw	240"
Max. used wobbler frequency	1 Hz
Nasmyth mirrors (flat):	
Size	$1.0 \times 0.7 \text{ m}$
Optics:	
Cassegrain magnification factor	M = 27.8
Effective (equivalent) focal length	$f_e = Mf = 291.9 \text{ m}$
Effective focal ratio Cassegrain system	$n = f_e/D = 9.73$
Distance subreflector to Nasmyth focus	$f_c = 19.79 \text{ m}$
Focal plane scale	1'' = 1.41 mm
Surface accuracy:	
Main reflector (status 1998)	$70\pm5 \mu m \text{ (rms)}$
Reflector panels (fabrication)	$26 \mu m \text{ (rms)}$
Subreflector	$15 \mu m \text{ (rms)}$
Nasmyth mirrors	$10 \ \mu m \ (rms)$
Pointing:	,
Pointing accuracy	2-3'' (rms)
Tracking accuracy (wind ≤15 m/s)	1"
Beam width (FWHM):	
86 GHz	28"
$115~\mathrm{GHz}$	21"
$140~\mathrm{GHz}$	17"
230 GHz	11"
$345~\mathrm{GHz}$	8 "
Aperture and beam efficiencies:	(see Table 3.1)
Temperature control:	,
Temp. homogeneity main reflector	$0.5^{\circ} \text{ (rms)}$
Temp. gradients main reflector – yoke	1°

Cabina de receptores:

La cabina de receptores fue actualizada durante el año 1998. Se instaló una nueva óptica, nuevos receptores y un nuevo sistema de calibración. La configuración actual incluye 8 receptores SIS en las bandas de 3, 2 y 1.3mm. Los 8 receptores están distribuídos en cuatro criostatos (A, B, C, D). La nomenclatura de los receptores indica el criostato en el que se encuentra y la frecuencia de funcionamiento. En la figura que se muestra a continuación se presenta la disposición de los receptores.

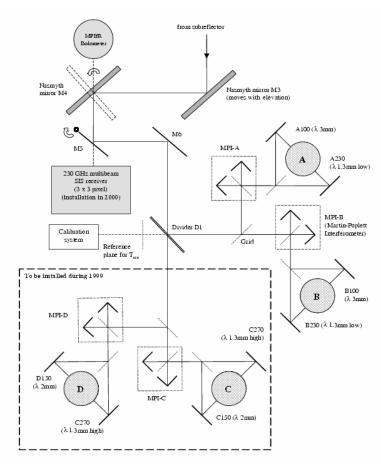


figura 109: Receptores del radiotelescopio de Pico Veleta (IRAM)

Las principales características de los receptores son las indicadas en la siguiente tabla:

Designation	Tuning Range ¹	IF ²	IF band ³	Image band	approx. T_{rec} (SSB)
	[GHz]	[GHz]	[GHz]	rejection [dB]	
Installed in S	eptember 1998:				
A100	80 - 115.5	1.5	0.5	≥ 25	50 – 60 K
A230	200 - 255	4.0	1.0	~13	50 – 140 K
B100	80 - 115.5	1.5	0.5	≥ 25	60 – 80 K
B230	200 - 255	4.0	1.0	~13	70 – 160 K
To be installed	ed during 1999:				
C150	129 - 174	4.0	1.0		(note 3)
C270	245 - 290	4.0	1.0		(note 3)
D150	129 - 174	4.0	1.0		(note 3)
D270	245 - 290	4.0	1.0		(note 3)

Note 1: Guaranteed tuning range; hardware limits may be different.

Note 2: Values for the IF center frequency are approximate.

Note 3: A 1 GHz IF band can only be used in combination with the 1 MHz filterbanks (no other backends in this case). The exact IF depends on the used bandwidth (0.5 or 1.0 GHz).

Note 3: Parameters not yet known for receivers C and D (installation during 1999).

Se pueden empelar de forma simultánea cuatro de los ocho receptores. La siguiente tabla muestra las combinaciones permitidas y algunas de las características más importantes de los receptores.

Rx	Pol.	Rx combinations		tuning range (GHz)	T_rec (K)	IF (GHz)	IF-BW (GHz)	g_im (dB)	Remarks		
A100	V	e		<u>@</u>		80- 115.5	60-80	1.5	0.5	>20	1
B100	Н	•			•	81- 115.5	60-85	1.5	0.5	>20	1
C150	V				9	130-183	70-125	4	1	15-25	
D150	Н					130-183	80-125	4	1	08-17	
A230	V	•		•		197-266	85-150	4	1	12-17	
B230	Н	•			9	197-266	95-160	4	1	12-17	
C270	V		•		•	241-281	125- 250	4	1	10-20	2
D270	Н		<u>@</u>	<u>@</u>		241-281	150- 250	4	1	09-13	2

 Using a special external LO, frequencies down to 77 GHz can be measured with good sideband rejection. For frequencies below 77 GHz,

the sideband recection becomes weaker, and the sideband ratio reaches unity at 72 GHz

- 2) Noise increasing with frequency
- 3) 2x9 pixel receiver. Not for all frequencies, tuning parameters have been determined (especially for the second polarization)

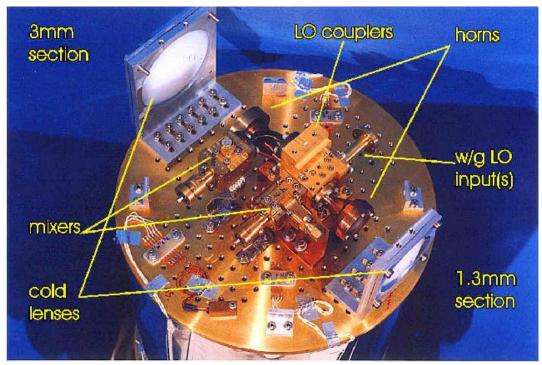


figura 110: Receptores en Pico Veleta

Los Bachends:

Cuatro tipos diferentes de backend se pueden conectar simultáneamente a los receptores. Los tipos de backend son los siguientes:

- Un banco de filtros de baja resolución (1MHz de resolución, 4x256=1024 canales).
- Un banco de filtros de alta resolución (100KHz de resolución, 2x128=256 canales).
- Un autocorrelador (resolución y ancho de banda variable).
- Cuatro detectores de continuo (1GHz de ancho de banda).

Backend	Symbol	Resolution	Number of	Total Bandwidth
	(Note 1)	(3 dB bandwidth)	Channels	
Low res. filter bank	B3x	1 MHz	4 x 256	1 GHz
High res. filter bank	B2x	100 kHz	2 x 128	25.3 MHz
Autocorrelator	B4x	10 kHz to 1.25 MHz	(variable)	20 MHz to 1 GHz
Continuum	B1x	_	4	$4 \times 1 \text{ GHz}$

La siguiente figura muestra el diagrama de bloques del flujo de señal en observaciones espectrales:

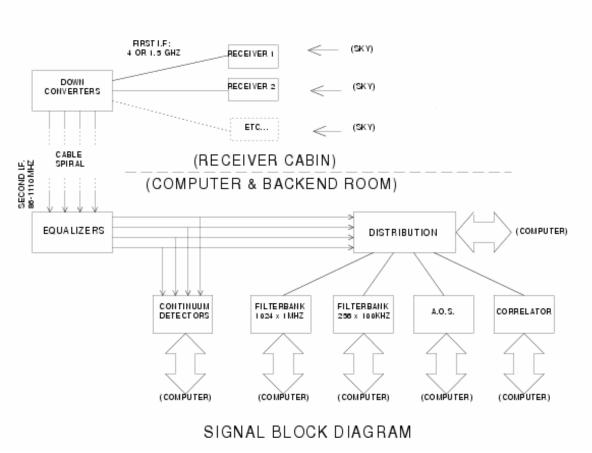


figura 111: Observaciones espectrales en Pico Veleta (IRAM)

VLBI en Pico Veleta:

Desde que se efectuó el primer test con éxito a 7mm en 1991, el radio telescopio de 30 metros de IRAM ha participado con frecuencia en observaciones internacionales VLBI a 3mm. El equipamiento VLBI en Pico Veleta está instalado de forma permanente: estación GPS, máser de hidrógeno, terminal VLBA y unidad de cinta. Las observaciones se realizan con los receptores SIS de 3mm.



figura 112: Radio telescopio de 30 metros en Pico Veleta (IRAM)

1.11.2 Interferómetro de Plateau de Bure (Alpes Franceses).

La construcción del interferómetro de Plateau de Bure comenzó en el año 1985 y las primeras observaciones se realizaron en el año 1988. Actualmente el instrumento está formado por 6 antenas de 15 metros de diámetro.

La caliadd de las imágenes que se obtienen con un interferómetro es mucho mayor que las obtenidas observando con una antena única. La resolución obtenida depende de la distancia máxima entre antenas en lugar de las dimensiones de una única antena. Las antenas del interferómetro de IRAM se pueden mover sobre raíles y situarse a una distancia máxima de 408 metros en la dirección E-W y 232 metros en la dirección N-S. Se obtienen una resolución de 0.5 segundos de arco a una longitud de onda de observación de 1.3mm (230GHz).



figura 113: Interferómetro de Plateau de Bure (IRAM)

Receptores:

Todas las antenas están equipadas con receptores duales. El rango de frecuencias disponible es de 82 a 116GHz en la banda de 3mm y de 210 a 245 GHz en la banda de 1.3mm.

Por debajo de 105 GHz, los receptores ofrecen un mejor funcionamiento con configuración LSB con alto rechazo (20dB): se obtienen temperaturas de sistema en verano entre 150 y 200K. Por encima de 105GHz, los mejores resultados se obtienen con USB, bajo rechazo (4 a 6 dB): se obtienen temperaturas de sistema entre 300 y 450 K a 115GHz.

1.12 KVN (Korea VLBI Network).

Se trata de un proyecto que actualmente sigue en la fase de construcción y desarrollo. Se trata de una red VLBI de tres estaciones (antenas cassegrain de 21 metros de diámetro) situadas en Korea. Dispondrá receptores en las bandas: S/X, 22, 43, 86 Y 129GHz. El sistema de receptores será multifrecuencia. En la siguiente figura se muestra la distribución de las tres antenas.

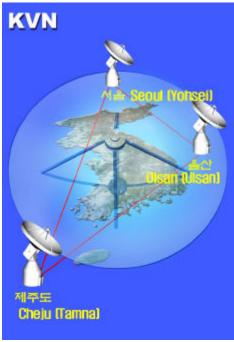


figura 114:Antenas que constituyen KVN

Descripción de las antenas:

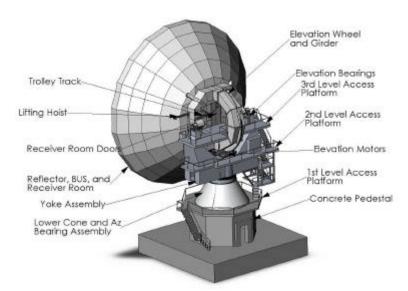


figura 115:Estructura de las antenas

El sistema operará en las bandas 2-8GHz y 20-150GHz. La eficiencia de apertura es del 60%(@100GHz). La precisión de puntería es de 4''(@wind 10m/s). La montura es de tipo altacimutal.

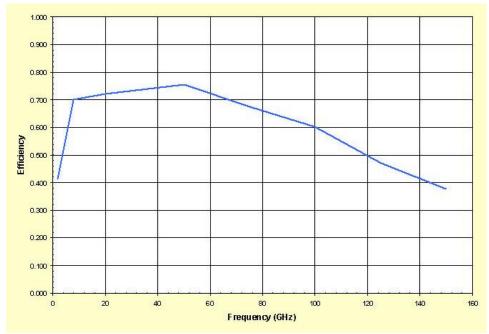


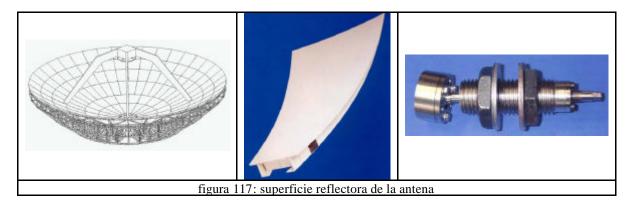
figura 116:Eficiencia de la antena

Las características fundamentals son las siguientes:

- -Rango de movimiento: acimut(±270°), elevación(0-90°).
- -Velocidad de movimiento: 3º/segundo.
- -Precisión de puntería: 4"
- -Frecuencias naturales: acimut(2.5Hz), elevación(2.5Hz), cuadripodo(5Hz)

Las especificaciones de la superficie reflectora son:

- -Diámetro: 21 metros.
- -Distancia focal:6.8metros.
- -F/D:4.77
- -Material: aluminio (6061-T6).
- -Precisión de la superficie: 65µm (rms), fabricación.
- -Precisión total: 150µm (rms).



En la siguiente figura se presenta la geometría de la antena.

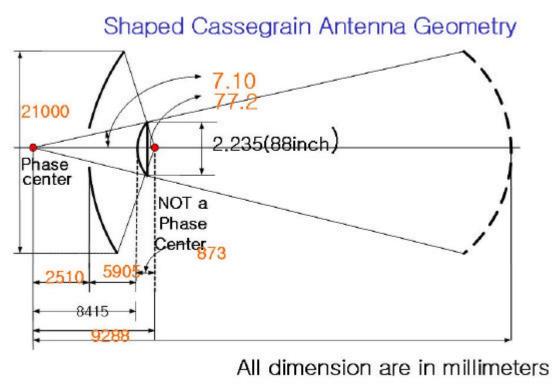


figura 118:Geometría de la antena

El subreflector tiene las siguientes características:

- -Diámetro: 2.235metros.
- -Distancia focal:87cm.
- -Precisión de la superficie: 50 µm(rms).



figura 119:Subreflector

Cabina de receptores:

-Tamaño: la planta tiene unas dimensiones de 5x5metros y una altura de 2.5metros.

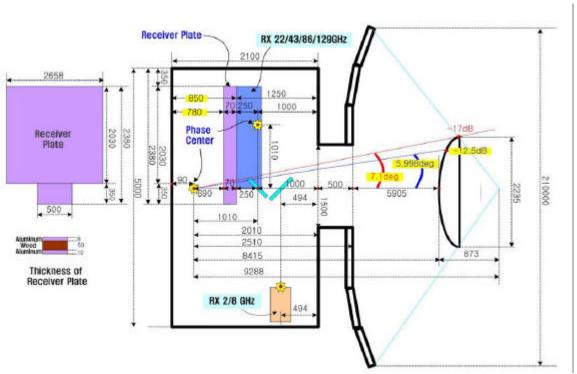


figura 120:Cabina de receptores (I)

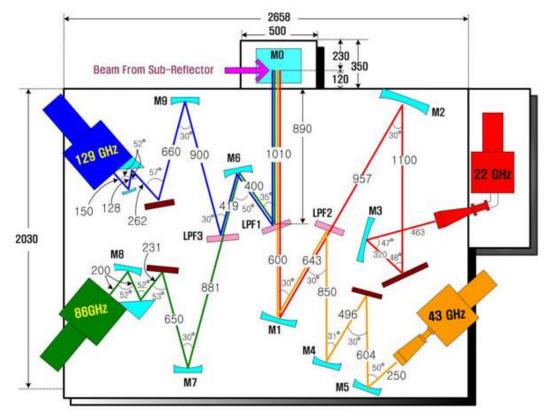


figura 121:Cabina de receptores (II)

Las especificaciones básicas de los receptores son:

Receivers	2GHz	8GHz	22GHz	43GHz	86GHz	129GHz	
Freq[GHz]	2.2~2.8	8~9	21.5~23.5	42~44	85~87	128~130	
LO Freq.[GHz]	6		14	11.5 X 3	TRD	TBD(SIS)	
(PDRO with Tripler	(Up-converter)		14	11.5 A 3	IDD	TDD(SIS)	
IF Freq.[GHz]	8.2-8.8	8-9	7.5-	9.5	7.5	5-9.5	
IF Output Power[dBm]	-25	-25	-25	-25	-25	-25	
Trx[K]	<25	<25	30	50	<100	<150	
Nominal Tsys[K]	30	40	60	130	200	300	
RF to IF gain[dB]	~65	~65	~60	~60	~55	~55	
Baseband Freq.			512~1024[MHz]			
Baseband LO Freq.			0.510.50	CH ₂ 1			
(Programmable)	9.5~10.5[GHz]						
Baseband LO Step Freq.	10[kHz]						
Polarization		_	Both LHCI CP only for		ds		

band	Filter loss (Tow filter) T(HEN		T(HEMT)		Trx[Kelvin]		
band	Min [dB]	Max [dB]	[Kelvin]	Without filter	With filter Min. loss	With filter Max. loss	
22GHz (HEMT)	0.50	1.10	20	43	83	138	
43GHz (HEMT)	0.45	1.00	30	58	96	148	
86GHz (HEMT)	0.45	1.00	50	120	165	226	
129GHz (SIS)	0.50	1.10	*50	100	148	212	

Y a continuación se presenta el diagrama de bloques del sistema receptor:

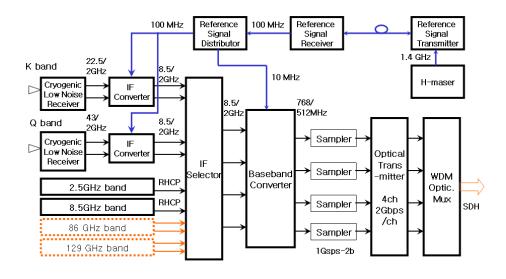


figura 122:Diagrama de bloques del sistema de receptores

Receiver Room

En cuanto al sistema de referencia de tiempos y frecuencia se indica a continuación cual es el esquema general de los componentes que lo forman.

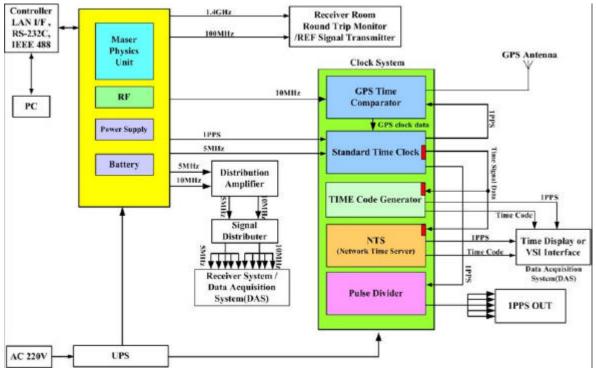


figura 123:sistema de referencia de tiempos

Es importante remarcar que la principal característica de este sistema será su posibilidad de funcionar simultáneamente con varias frecuencias de recepción.

<u>Backends</u>: En los siguientes enlaces se puede encontrar información detalla sobre los backends del sistema KVN.

- http://www.trao.re.kr/~kvn/introduce/System/DAS/DAS.php
- http://www.trao.re.kr/~kvn/introduce/System/Correlator/correlator.php

1.13 OAN-CAY (Centro Astronómico de Yebes).

La técnica de la interferometría de muy larga base (VLBI son sus siglas en inglés) consiste en la observación de un objeto celeste simultáneamente con un conjunto de radiotelescopios, que pueden estar situados en lugares muy distantes entre sí. La radiación de ese objeto es recibida en instantes ligeramente diferentes en cada telescopio, según su posición sobre la Tierra. La creación de un patrón de interferencia (denominado franjas) permite a esta red de telescopios comportarse como un único instrumento que tiene como tamaño equivalente (y por ello, poder de resolución) las distancias entre los radiotelescopios participantes en la observación.

En las campañas de observación con fines astronómicos, se obtienen resoluciones angulares en el cielo del orden del milisegundo de arco (lo que permitiría distinguir un planeta gigante alrededor de una estrella cercana).

En el campo de la Geodesia, la observación de cuásares puntuales permite un análisis inverso en que se extraen como solución las posiciones sobre la Tierra de los radiotelescopios que participan en la observación. Los planes de observación organizados a nivel mundial permiten un seguimiento de las variaciones de dichas posiciones, y con ello, son una herramienta incomparable en el estudio de los movimientos terrestres a pequeña y gran escala.

En 1990 se realizó en Yebes la primera observación con la técnica de interferometría de muy larga base. Estas observaciones, realizadas simultáneamente con el radiotelescopio de Yebes y antenas situadas en Alemania y Suecia, constituyeron las primeras medidas con éxito de una raya espectral de la molécula de monóxido de silicio (SiO) a la frecuencia de 43 GHz con líneas de base de más de 100 km: la distancia entre Yebes y el radiotelescopio de Onsala (Suecia) es de 2.100 km.

El personal del OAN realiza estudios sistemáticos de la estructura, cinemática y evolución de la emisión molecular en envolturas circunestelares, lo que ha dado lugar a numerosas publicaciones y a una tesis doctoral.

En la actualidad, el OAN es miembro asociado de la Red Europea de Interferometría (EVN), y participa regularmente en observaciones interferométricas a las frecuencias de 2.3, 8.4 y 43 GHz (bandas S, X y Q).

El Observatorio Astronómico Nacional participa en los proyectos europeos de Geodesia Espacial utilizando la técnica de la interferometría de muy larga base. Este tipo de estudios ha permitido avances importantes en la comprobación e interpretación de la teoría de la tectónica de placas, o la rotación de la Tierra.

El Observatorio Astronómico Nacional comenzó su participación en un proyecto de Geodesia Espacial en 1995. Bajo el nombre de EUROPE, pretende monitorizar la estabilidad y dinámica del continente europeo con la participación de nueve telescopios en Noruega, Suecia, Alemania, Italia, Ucrania, y España. La detección de franjas de interferencia entre el telescopio de 14 metros de diámetro que el OAN tiene en Yebes (Guadalajara) y los demás telescopios culmina varios años de trabajo en el que el personal del observatorio se ha visto involucrado, por la necesaria modernización de estas instalaciones, y nos abre un campo de investigación en el marco de cooperación internacional actual.

El telescopio del OAN también participa en experimentos de Geodesia Espacial dentro del proyecto CORE (el acrónimo de Continuus Orientation of the Rotation of the Earth). El objetivo es monitorizar la rotación terrestre de manera continuada. Con nuestro telescopio participarán otros muchos situados en Estados Unidos, China, Australia, Suráfrica, Italia, etc.

Radiotelescopio de 14 metros del CAY.

El radiotelescopio de 14 metros de diámetro del CAY está equipado para realizar observaciones de VLBI. La figura siguiente muestra un esquema de la conexión de los equipos con el resto del radiotelescopio.

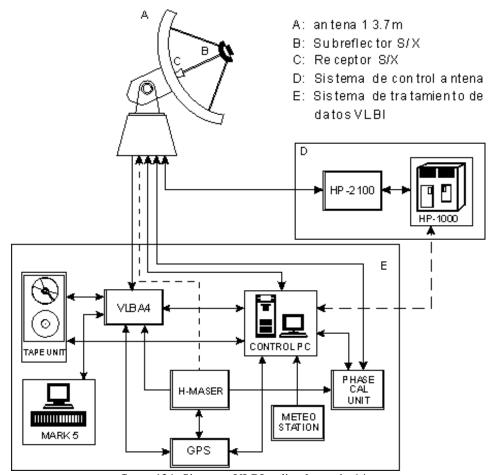


figura 124: Sistemas VLBI radiotelescopio 14m

El terminal VLBA4 es el instrumento con el que se dan formato, empaquetan y registran los datos observados. Está compuesto por un terminal de adquisición de datos y un registrador magnético. El terminal de adquisición de datos dispone de 14 BBCs y un formateador Mark 4 y puede ser utilizado en modos VLBA y Mark 4.

El antiguo formateador VLBA fue sustituido por un formateador Mark 4 que permite más y mejores modos de observación.

Para monitorizar la fase de las señales recibidas se emplea un sistema de calibración de fase fabricado en los laboratorios del OAN (CAY), siguiendo los planos originales del observatorio de Haystack (Feb. 1991). El sistema consta de dos subsistemas, una unidad de antena y un sistema de medida del retraso de fase en el cable. La unidad de antena es una modificación de la unidad originalmente diseñada en Haystack. En particular dispone de un sistema de control de temperatura que mantiene ésta en un intervalo estable de temperatura de 0.1 grados. La unidad de medida del retraso de fase está compuesta por dos dispositivos, la unidad de control y un contador

de frecuencia HP-53131A. El contador de frecuencia es permanentemente leido por el PC de control durante las observaciones de VLBI a través de un interfase GPIB.

Para determinar la influencia de la atmósfera en la fase de la señal es necesario disponer de un modelo de la atmósfera. Para ello se utiliza una estación meteorológica SEAC-300 cuyos datos son recogidos permanentemente por el ordenador de control del equipo VLBA.

La referencia de frecuencia que necesitan todos los equipos es proporcionada por un máser de hidrógeno. Este equipo, modelo CH1-75, fabricado por la empresa KVARZ (N. Novgorod, Rusia), dispone de 2 salidas de 5MHz, 2 salidas de 100 MHz y 2 salidas de 1pps. Las características de máser son las siguientes:

Estabilidad en frecuencia:	1 s	$< 4 \ 10^{-13}$
	10 s	< 4 10 ⁻¹⁴
	100 s	< 8 10 ⁻¹⁵
	1h	< 3 10 ⁻¹⁵
Pureza espectral (5 MHz):	10 Hz	-130 dBc/Hz
	100 Hz	-140 dBc/Hz
	1 KHz	-150 dBc/Hz
	10 KHz	-150 dBc/Hz

La monitorización de la frecuencia del reloj anterior y la referencia de tiempos la proporciona un receptor GPS. En el CAY existe un terminal de la casa TrueTime XL-DC-602, cuyos datos se recogen por el ordenador de control del VLBA.

Los parámetros de funcionamiento del receptor GPS Trae Time XL-DC-602 son:

Estabilidad en frecuencia	2 10 ⁻¹² /día
Holdover en frecuencia	5 10 ⁻¹² /día
Precisión en la determinación del tiempo	150 ns
Precisión en la determinación de la	10 ns
posición (tras 24 horas de datos)	10 118
Tiempo máximo de adquisición (en frio)	< 1 hora
Resolución del contador interno	30 ns

Receptores en la antena de 14 metros del CAY:

La investigación y desarrollo en receptores de microondas y milimétricos constituye una de las principales actividades del OAN. Los desarrollos tecnológicos en receptores, incluyen trabajos en el campo de la óptica y diseño de receptores refrigerados a temperaturas criogénicas.

Receptor banda S/X.

El receptor en bandas S/X ha sido diseñado y construido en el Centro Astronomico de Yebes para equipar el radiotelescopio de 14 m con la instrumentación necesaria para tomar parte en las observaciones de VLBI geodésico.

El receptor S/X en un receptor heterodino que recibe la señal del cielo en polarización circular a derechas. Las características más importantes se resumen en la tabla.

Banda de frec. RF	2,210-2,350 GHz	8,130-8,630 GHz
Frec. OL	1,530 GHz	7,650 GHz
Banda de frec. FI	680-820 MHz	500-1000 MHz
Temp. Ruido REC	43 K	20 K
Temp. Ruido SYS	87 K	47 K
Polarización	RHCP	RHCP
Backend	VLBA	VLBA

El receptor está constituido por la antena alimentadora, el polarizador, el criostato con los amplificadores de la etapa RF, la unidad de frecuencia intermedia y la unidad de control auxiliar de vacío y criogenia.

La antena alimentadora es un bocina coaxial tipo Turrin con secciones de diferente ángulo de abocinamiento para reducir la radiación contrapolar en ambas bandas, siendo la bocina de banda X el conductor interior. La polarización circular a derechas se consigue con polarizadores de tornillo en ambas bandas. En la fotografía se muestra la bocina instalada en el radiotelescopio.



figura 125: receptor S/X antena 14m

El criostato es de ciclo cerrado de Helio, de dos etapas refrigeradas a 20 K y 60 K. La entrada en banda S es en coaxial (SMA) mientras que la entrada en la banda X es en guía de ondas WR112. La ventana de vacío, diseñada y construida en el CAY, usa un

tapón de poliestireno y una lámina de mica. Una transición térmica, construida en el CAY, reduce las pérdidas térmicas por conducción en el criostato. Respecto a las dos cadenas RF consisten en un acoplador direccional y un amplificador de bajo ruido. La puerta acoplada de los acopladores se utiliza para la calibración del sistema. Los amplificadores están construidos con transistores HEMT (High Electron Mobility Transistor) de Arseniuro de Galio. El amplificador de banda S es de dos etapas y presenta una ganancia de 28 dB y una temperatura de ruido media de 2.39 K. El amplificador de banda X es de tres etapas y presenta una ganancia de 29.6 dB y una temperatura de ruido media de 8 K.



figura 126: criostato receptor S/X antena 14m

Receptor 45GHz

El receptor de 45 GHz ha sido diseñado y construido en el Centro Astronomico de Yebes para equipar el radiotelescopio de 14m. Es un receptor superheterodino de doble banda lateral sintonizable en un margen amplio de frecuencias. Las características más importantes se resumen en la tabla.

Banda de frec. RF lower	41-49 GHz
Frec. OL	42,494 GHz
Ancho de banda FI	500 MHz
Temp. Ruido REC	80 K
Temp. Ruido SYS SSB	250 K
Polarización	LP/RHCP
Backend	Banco de filtros / Acustoóptico



figura 127: receptor 45GHz antena 14m del CAY

El criostato es de ciclo cerrado de Helio de dos etapas refrigeradas a 15 K y 70 K. Todos los componentes de la etapa RF se mantienen refrigerados en la etapa fría a 15 K. El alimentador es una bocina cónica corrugada corregida en fase con lente de menisco de teflón pegada en la boca. El mezclador es de tipo Schottky y el amplificador de bajo ruido funciona en la banda 1.1-1.4 GHz.

Por sus características de ruido, el receptor de 45 GHz del CAY, fue uno de los receptores más sensibles del mundo utilizados en observaciones radioastronómicas. Su instalación en el radiotelescopio de 14 m representó un cambio cualitativo en las posibilidades observacionales de este instrumento (reduciendo un factor 10 los tiempos de observación) y así, se pudieron abordar nuevos tipos de proyectos de investigación que condujeron a resultados interesantes, entre los que cabe destacar la detección por primera vez de la emisión maser de la especie isotópica 30SiO en las envolturas circunesteleres de estrellas tipo Mira y supergigantes, o el descubrimiento de 14 nuevas fuentes emisoras del máser de metanol (CH3OH).

Radiotelescopio de 40 metros del CAY:

El proyecto de un radiotelescopio de 40 metros para España nace como consecuencia de las conclusiones de los sucesivos Planes Nacionales de Desarrollo de la Radioastronomía. Así, tras la Reunión Científica sobre el Radiotelescopio de 40 metros celebrada en Madrid en la década de los noventa, los astrónomos e ingenieros del CAY, con la ayuda y colaboración de los mejores expertos de Europa, realizaron estudios dirigidos a identificar los campos de aplicación concretos más interesantes para, a partir de ellos, definir las características técnicas básicas que habría de tener el nuevo radiotelescopio. Concretadas las características técnicas, se procedió a realizar un Estudio de Viabilidad y Definición Técnica con el objetivo fundamental de evaluar la factibilidad de su construcción en España con un máximo de participación de la industria de nuestro país. Este estudio fue realizado por la empresa INISEL Espacio. Posteriormente, a finales de los noventa se encargó a la empresa alemana MAN Technologie el Proyecto Detallado de Diseño y Construcción del Radiotelescopio de 40 metros.

Así, la construcción del radiotelescopio en el CAY comienza en el año 2000, con la Edificación del Pedestal de Hormigón soporte del radiotelescopio, realizado por la

empresa ACS. En ese mismo año se encarga la Construcción de los Rodamientos de Azimuth y de Elevación a las empresas alemanas Rothe-Erde y FAQ respectivamente.

También en ese año se encarga la construcción de la Estructura Trasera de Acero Soporte del Radiotelescopio a la empresa de Tarragona SCHWARTZ-HAUTMONT Construcciones Metálicas. En el mismo año, también se adjudica un contrato para el Diseño del Sistema de Focalización de la Cabina de Receptores a la ETSI de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid. En el año 2001 se adjudican la Construcción de los Paneles Reflectores a la misma empresa SCHWARTZ-HAUTMONT y la Realización e Instalación de los Servomecanismos del Radiotelescopio a la empresa BBH de Alemania. Finalmente en el año 2003 se adjudica el contrato de la Instalación Eléctrica y del Equipamiento Auxiliar interior del Radiotelescopio a la empresa española ELIMCO. Así, se estima que el radiotelescopio estará totalmente construido y comenzará a ser operativo a finales del año 2005.

Las líneas de trabajo con el nuevo radiotelescopio serán:



VLBI

■ VLBI a longitudes de onda milimétricas.

VLBI espacial a 22 GHz.

El radiotelescopio de 40 metros es de montura alt-azimutal con cabeza rotante sobre rodamiento azimutal "turning head". Se moverá pues en las coordenadas de elevación y azimuth. La configuración óptica responde a la de un sistema Nasmyth-Cassegrain: reflector parabólico, subreflector hiperbólico y espejo plano a 45 grados para desplazar el eje óptico lateralmente. El foco Nasmyth se sitúa a más de once metros del vértice de la parábola, lo que permite disponer de una gran sala para la instalación de los receptores. Esta sala es solidaria al sistema que se mueve en azimuth, con lo cual los receptores pueden permanecer fijos. El espejo Nasmyth se mueve solidariamente con la parábola y redirige el haz recibido hacia los receptores cuando el radiotelescopo se mueve en elevación. El subreflector dispone de un movimiento fino de enfoque y otro más amplio, del orden de un metro, que permite llevar un receptor instalado en su vértice hasta el foco primario. Dicho receptor será usado para la realización de sesiones de holografía.

El radiotelescopio ha sido diseñado siguiendo los principios de homología, el viento máximo operativo es de 15 m/s y la precisión de la superficie será inferior a 150 micras rms. Para ello se han fabricado paneles reflectores de aluminio con una precisión de manufactura de 60 micras. Esto hace que la frecuencia máxima utilizable sea de 120 GHz. La frecuencia mínima viene impuesta por el tamaño de los haces dentro de la cabina de receptores y es de 2 GHz. La eficiencia de apertura del radiotelescopio será pues del 70% a 7 milímetros y del 50% a 3 milímetros. La puntería será mejor que 3.7 arcosegundos cuando el viento sea inferior a 15 m/s. El máximo viento que soporta el radiotelescopio sin deteriorarse es de 50 m/s.



figura 128: antena de 40 metros del CAY

Receptores en la antena de 40m del CAY:

Una de las características más sobresalientes de este radiotelescopio es su cabina de receptores. Con unas dimensiones de 8 x 9 x 3.5 metros, tiene capacidad para albergar un gran número de receptores. Está dividida en dos ramas independientes que se seleccionan orientando el espejo Nasmyth móvil M3 hacia dos espejos fijos llamados M4 y M4'. De esta manera se aprovecha todo el espacio disponible en la cabina. Como consecuencia de ello se dispone de dos focos independientes, situados aproximadamente a una distancia de 4.5 metros de los espejos M4.

Otra de las características importantes es que los espejos M4 pueden adoptar dos inclinaciones diferentes, 0° y 20° con el eje óptico, lo cual aumenta sustancialmente la capacidad de la cabina para albergar un mayor número de receptores. Los tres espejos Nasmyth son planos y tienen las mismas dimensiones, su contorno es elíptico y su eje mayor mide 2.67 metros.

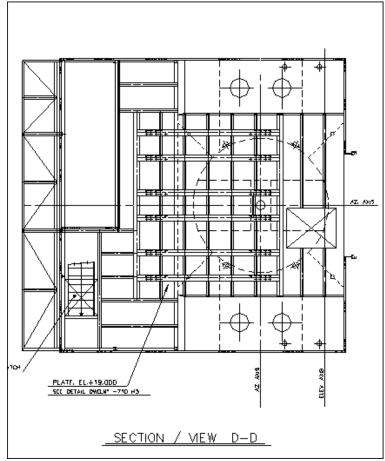
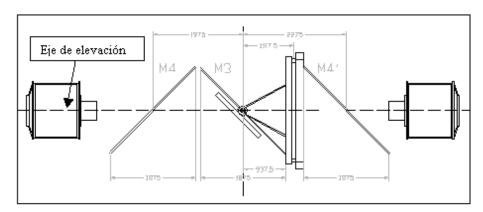


figura 129: cabina de receptores de la antena de 40m del CAY

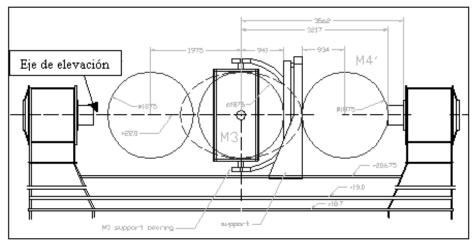
La etapa Nasmyth es un conjunto de dos espejos planos girados 45° que permiten observar en todo el rango de elevaciones del radiotelescopio. El primero de ellos, llamado M3, se sitúa en el punto donde intersecan el eje óptico del radiotelescopio y el eje de elevación y posee movimiento de rotación según el eje de elevación siguiendo automáticamente el movimiento del reflector principal.



Vista en planta de los espejos Nasmyth

figura 130: etapa Nasmith del radiotelescopio (vista en planta)

Además del movimiento automático de elevación, el espejo M3 rota para redirigir el haz hacia los espejo M4 o M4', dependiendo de la rama de observación. Los espejos M4 y M4' alimentan cada una de las ramas del radiotelescopio donde se sitúan los receptores y espejos auxiliares de enfoque.



Vista en alzado de los espejos Nasmyth.

figura 131: etapa Nasmith del radiotelescopio (vista en alzado)

La rama M4' albergará los receptores de microondas. El diseño óptico permitirá la observación en las principales bandas de VLBI. Se instalarán receptores en las siguientes bandas de frecuencia: S(2.2GHz), 3.3GHz, C(5-6GHz), X(8.4GHz), Ku(12GHz), 22GHz y 30 GHz.

La estructura de esta rama M4´ es la siguiente:

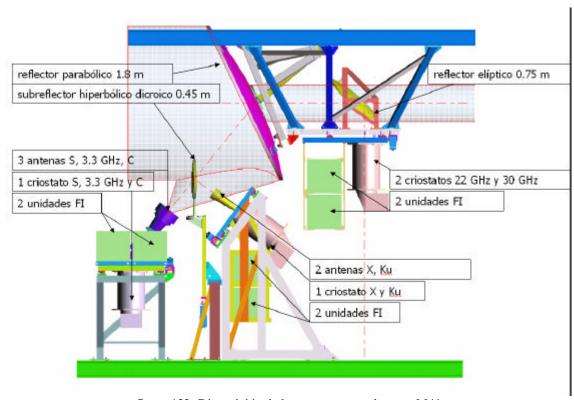


figura 132: Disposición de los receptores en la rama M4'

La rama M4 albergará los receptores milimétricos. El diseño óptico permite la observación simultánea con varios receptores y se prevé cubrir la banda entre 30 y 120 GHz. En el diseño está previsto situar una carga de calibración para todos ellos.

Receptor de 22 GHz:

El receptor de 22 GHz ha sido diseñado y construido en el Centro Astronomico de Yebes para equipar radiotelescopio de 40m. El receptor es de tipo superheterodino refrigerado que recibe la señal del cielo en doble polarización circular a derecha e izquierdas simultáneamente. La banda de observación del cielo está dividida en dos subbandas, llamadas "lower band" y upper band". El diseño es versátil, ya que permite realizar observaciones de VLBI o de antena única (Single Dish SD). Las características más importantes se resumen en la tabla.

Banda de frec. RF lower	21,750-22,850 GHz
Banda de frec. RF upper	23,350-24,450 GHz
Frec. OL1	12,800/14,400 GHz
Frec. OL2	8,400-9,100 GHz
Frec. OL3	550 MHz
Banda de frec. FI VLBI	500-1000 MHz
Banda de frec. FI SD	170-310 MHz
Temp. Ruido REC	20-30 K
Temp. Ruido SYS	K
Polarización	RHCP/LHCP simultaneas
Backend	VLBA / Banco de filtros

El receptor se compone del criostato y de la unidad de frecuencia intermedia. El criostato es de ciclo cerrado de Helio de dos etapas refrigeradas a 20 K y 60 K. Todos los componentes de la etapa RF se mantienen refrigerados en la etapa fría a 20 K.

El alimentador es una bocina cónica corrugada corregida en fase con lente plano-hiperbólica de teflón pegada en la boca. El polarizador tipo septum escalonado en guía circular incorpora los acopladores direccionales para la calibración del receptor. Ambos han sido diseñados por la ETSIT de Madrid.

Los amplificadores refrigerados de bajo ruido, diseñados y construidos en el CAY, son de 3 etapas de transistores tipo HEMT (High Electron Mobility) de Fosfuro de Indio. presentan una ganancia de 26 dB y una temperatura de ruido media de 7 K, lo que a esta frecuencia lo convierte en el amplificador de más bajo ruido del mundo. La unidad de frecuencia intermedia consiste en un equipo de diseño modular que integra las etapas de amplificación y conversión en frecuencia de ambas bandas, los osciladores locales para la conversión y fuentes de alimentación de uso general y de los amplificadores de radiofrecuencia. Incluye un módulo de control para seleccionar las bandas de observación y el backend. Toda la unidad puede ser controlada remotamente.

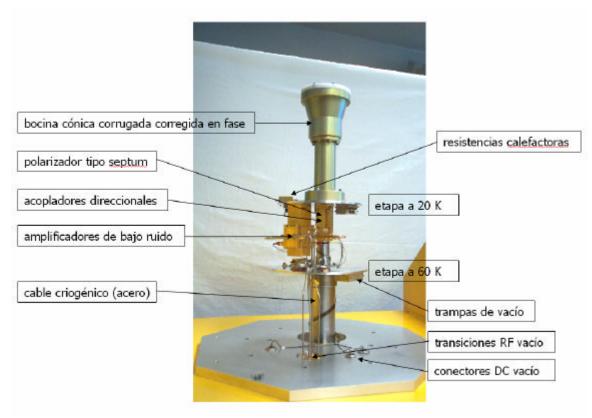


figura 133: criostato del receptor de 22GHz de la antena de 40m



figura 134: etapa de FI del receptor de 22GHz de la antena de 40m

Receptor de banda S, 3.3GHz y banda X:

Se está construyendo en la actualidad. Sus principales caracterísicas son las siguientes:

- Doble polarización circular.
- Modos de observación VLBI y antena única.
- Cubren las bandas expandidas de la EVN.

Receptor de holografía:

Se ha diseñado y construído un receptor para efectuar las medidas holográficas de la superficie reflectora.



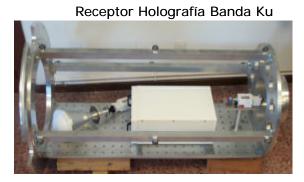


figura 135: holografía en la antena de 40m

Bibliografía y páginas WWW de consulta

Radiotelescopio Effelsberg (Max Planck Institute)

http://www.mpifr-bonn.mpg.de/index e.html

Metsahövi (Finlandia)

http://kurp-www.hut.fi/

Onsala (Suecia)

http://www.oso.chalmers.se/oso/

Shanghay (China)

http://www.shao.ac.cn/english.htm

Hartebeesthoek (Sudáfrica)

http://www.hartrao.ac.za/

Cruz del Norte (Italia)

http://www.ira.cnr.it/Medicinaweb/Nc/INDEX.htm

Medicina (Italia)

http://medvlbi.bo.cnr.it/

Noto (Italia)

http://www.noto.ira.cnr.it/

Sardinia – SRT (Italia)

http://www.ca.astro.it/srt/

Torun (Polonia)

http://www.astro.uni.torun.pl/

Arecibo

http://www.naic.edu/

Wettzell

http://www.wettzell.ifag.de/

Robledo DSN (España)

http://dsnra.jpl.nasa.gov/

Westerbork (Holanda)

http://www.astron.nl/p/WSRT4.htm

Merlin (Jodrell Bank)

http://www.merlin.ac.uk/user_guide/OnlineMUG/newch0.html

Simeiz (Ucrania)

http://giub.geod.uni-bonn.de/vlbi/stations/rt22.html

VLBA (NRAO)

http://www.vlba.nrao.edu/

Asia Pacific Telescope

http://www.vsop.isas.jaxa.jp/apt/

LBA (Australian Long Baseline Array)

http://www.atnf.csiro.au/vlbi/

ATCA (Australia Telescope Compact Array)

http://www.narrabri.atnf.csiro.au/

Parkes Radio Astronomy Observatory

http://www.parkes.atnf.csiro.au/

Brett.Dawson@csiro.au

Narrabri Observatory

http://www.narrabri.atnf.csiro.au/mopra/

Ceduna Observatory

http://www-ra.phys.utas.edu.au/observatories/ceduna.html

GMRT (Giant Metrewave Radio Telescope).

http://www.ncra.tifr.res.in/ncra hpage/gmrt/Abt gmrt.html

www@ncra.tifr.res.in

Mount pleasant radio observatory

http://www-ra.phys.utas.edu.au/observatories/mount-pleasant.html

Kashima Observatory

http://www2.nict.go.jp/ka/radioastro/

RRI (Raman Research Institute)

http://www.rri.res.in/htmls/aa/tenmt_tel.html

Taeduk radio astronomy observatory

http://www.trao.re.kr/trao/index en.html

GSI-VLBI (Japón)

http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/vlbi/english/

VERA (Japón)

http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/

GMVA

http://www.mpifr-bonn.mpg.de/div/vlbi/globalmm/

CARMA

http://www.astro.uiuc.edu/features/0404carma.shtml

OAN - CAY

http://195.76.37.37/ign/oan/

Radioastron

http://www.asc.rssi.ru/radioastron/

KVN(Korea VLBI Network)

http://www.trao.re.kr/~kvn/

IRAM (Pico Veleta)

http://iram.fr/IRAMES/index.htm

Green Bank

http://wwwlocal.gb.nrao.edu/~fghigo/gbtdoc/vlbinfo.html

Apéndice 1: Especificaciones de las antenas de la EVN

RT	d(m)	Precision superf (µm) (rms)	Distancia focal (m)	Subreflector d(m)	Giro cimut max (°/min)	Giro elevación max (º/min)	Receptores	Precisión puntería (rms)	Altitud (m)	montura
Effelsberg (Alemania)	100	<500	30	6.5	32	16	73cm, 49cm, 30cm,21cm, 13cm 11cm, 9cm, 6.5cm, 6cm, 5cm 3.6cm, 2.8cm, 2.5cm, 2.2cm 1.9cm, 1.3cm (2,1.3,0.7)cm,1cm 9mm, 7mm, 6.5mm,3mm			Altacimutal
Metsahövi (Finlandia)	14	100					22GHz, 43 GHz, 147 GHz			Altacimutal
Onsala (Suecia)	20.1	130					2.2-2.4 GHz 8.2-8.4 GHz 10.7-12.4 GHz 21-26 GHz 40-48 GHz, 84-116 GHz	3′′		Altacimutal
Onsala (Suecia)	25						0.8-1.2 GHz 1.2-1.8 GHz 4.5-5.3 GHz, 6-6.7GHz			Altacimutal
Shanghai (China)	25	650					L-18cm C-6cm K-1.3cm, S/X-13,3.6cm	20′′		Altacimutal
Hartebeesthoek (Sudáfrica)	25.9	2000			30	30	18cm,13cm,6cm,5cm, 4.5cm,3.5cm,2.5cm	0.36′′	1416	Ecuatorial
Medicina (Italia)	32	1000	10.26		48	30	21cm,18cm,13cm,6cm 5cm,4.5cm,3.6cm,1.3cm	10′′		Altacimutal
Noto (Italia)	32	1000	10.26		48	30	92cm,6cm, 2.5cm, 1.3cm, 21cm, S/X	10′′		Altacimutal
Torun (Polonia)	15	2000	4.965		25(dec)	25(HA)	327MHz,609MHz,1420MHz 1660MHz,5GHz	3.6′′		Ecuatorial
Torun (Polonia)	32	350	11.2	3.2			1.4GHz,1.6GHz,5GHz,6.8GHz			Altacimutal
Arecibo (Puerto Rico)	305						327MHz,430 MHz,610 MHz 1.5GHz, L,S,C,X			
Wettzell (Alemania)	20	350		2.7	180	90	S/X	_		Altacimutal
DSN (España)	34,70						Bandas L,S,X,Ku,k		850	
Westerbork (Holanda)	25						92cm,49cm,30cm,banda L 13cm,6cm,5cm,3.6cm			ecuatorial
MERLIN (Inglaterra)	Lovell-76 Cambridge- MK2-25						UHF:151MHz, P:408MHz L:1.4-1.6GHz,C:5-7GHz K:22GHz			
Simeiz (Ucrania)	22	250	9.525			_	326MHz,612MHz, 1.6GHz,2.3GHz,5GHz,8GHz	10′′		Altacimutal

Apéndice 2: Receptores existentes en cada estación VLBI

ES	STACIÓN		RECEPTOR (banda VLB I GHz)													
		90cm 50cm 21cm 18cm 13cm 6cm 5cm 4.5cm 3.6cm 2.5cm 1.3cm 1cm 0.7cm (0.326) (0.61) (1.4) (1.67) (2.3) (5) (6) (6.7) (8.4) (12) (22) (30) (43)												0.7cm	3mm	2mm
	7.00 1 1	(0.326)	(0.61)	(1.4)	(1.67)	(2.3)	(5)	(6)	(6. 7)	(8.4)	(12)	(22)	(30)	(43)	(100)	(147)
	Effelsberg (100m)		X	X		\boldsymbol{X}	X	X		X	\boldsymbol{X}	\boldsymbol{X}	\boldsymbol{X}	X	X	
	Metsahövi (14m)											X		X		X
	Onsala (20m)					X				X	X	X		X	X	
	Onsala (25m)			X			X	X	X							
	Shanghai (25m)				X	X	X			X		X				
	Hartebeesthoek (26m)				X	X	X	X	X	X	X					
	Medicina (32m)			X	X	X	X	X	X	X		X				
EVN	Noto (32m)	X		X	X	X	X			X	X	X				
	Torun (15m)	X	X	X	X		X									
	Torun (32m)			X	X		X		X							
	Arecibo (305m)	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
	Wettzell (20m)					X				X						
	DSN				\boldsymbol{X}	\boldsymbol{X}				\boldsymbol{X}		\boldsymbol{X}	\boldsymbol{X}	\boldsymbol{X}		
	Westerbork (25m)	X	X	X	X	X	X	X		X					_	
	Jodrell Bank Cambridge			X	X		X	X	X			X				
	Simeiz (22m)	\boldsymbol{X}	\boldsymbol{X}		\boldsymbol{X}	\boldsymbol{X}	\boldsymbol{X}			\boldsymbol{X}						

ES'	TACIÓN	RECEPTOR (banda VLBI GHz)														
		90cm (0.326)	50cm (0.61)	21cm (1.4)	18cm (1.67)	13cm (2.3)	6cm (5)	5cm (6)	4.5cm (6.7)	3.6cm (8.4)	2.5cm (12.2)	1.3cm (22)	1cm (30)	0.7cm (43)	3mm (100)	2mm (147)
VLBA	VLBA (10x25m)	X	X	X		X	X			X	X	X		X	X	
VLDA	Green Bank (100m)	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X		
	Narrabri (6x22m)			X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Mopra (22m)			X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
	Parkes (64m)			X	X	X	X	X	X	X	X	X				<u> </u>
	Tidbinbilla (Nasa, DSS43) (70m)				X	X				X		X				
	Tidbinbilla (Nasa, DSS45) (34m)					X				X						
A DOT	Hobart (26m)			X	X	X	X		X	X	X	X				
APT	Cduna (30m)					X	X		X	X	X	X				
LBA	Hartebeesthoek (26m)				X	X	X	X	X	X	X					
	GMRT (6x45m)	X	X	X												
	Mount Pleasant (14m)		X	X												
	Mount Pleasant (26m)					X			X	X	X	X				
	Kashima (34m)			X	X	X	X			X		X	X	X		
	Raman (10.4m)			X					X							
	Taeduk (14m)														X	X

ESTAC	CIÓN							RECE	PTOR (t	oanda V	LBI GHz)					
		90cm (0.326)	50cm (0.61)	21cm (1.4)	18cm (1.67)	13cm (2.3)	6cm (5)	5cm (6)	4.5cm (6.7)	3.6cm (8.4)	2.5cm (12)	1.3cm (22)	1cm (30)	0.7cm (43)	3mm (100)	2mm (147)	1.3mm (200)
	Kashima (26m)			,		X			, ,	X		, ,			, ,	,	
COL	Shintotsukawa (3.8m)					X				X							
GSI (Japan)	Chichijima (10.26m)					X				X		X					
(* a F ==)	Aira (10.26m)					X				X		X					
	Tsukuba (32m)					X				X		X					
VERA	Vera (4x20m)					X				X		X		X			
VSOP	VSOP (8m)				X		X										
V501	VSOP-2 (9m)									X		X		X			
RADIOASTRON	Radioastron (10m)	X			X		X					X					
IRAM	Pico Veleta (30m)														X	X	
11(1)(1	Pdb (6x15m)														X		X
KVN	KVN (3x21m)					X				X		X		X	X	X	
CARMA	Carma (6x10.4,9x6.1)									3I (1, 3m							
GMVA	GMVA							Glob	al mm_V	lbi array	(3mm)						
OAN	Yebes (14m)					X				X				X			
O/III	Yebes (40m)					X	X			X	X	X	X				