

**AUMENTO DEL PERIODO TERMICO DEL
CRIOSTATO S/X DEL CAY**

INFORME TECNICO DEL CAY N° 2002-8

José Antonio López Fernández, Félix Tercero Martínez, José Antonio Abad
Carlos Almendros, José María Yagüe

El criostato S y X viene usándose desde 1994 en observaciones de VLBI conjuntas de la EVN y CORE. Los detalles sobre este receptor se encuentran en varios informes técnicos del CAY (1,2,3,4,5).

Aunque se trata de un criostato que ha venido empleándose con éxito en multitud de sesiones de VLBI, hay que resaltar que el periodo durante el cual se mantenía frío (temperatura de la etapa más fría estaba entorno a los 20 K) era bastante corto. Este tiempo oscilaba entre un máximo de una semana en invierno y un mínimo de tres días en verano. Durante varios años se han venido realizando pruebas con la idea de obtener la explicación de este fenómeno (fugas, permeabilidad de la ventana en guía de onda) pero no se obtuvieron en ningún caso resultados concluyentes.

Finalmente, durante la última intervención sobre este criostato se ha conseguido aumentar drásticamente el tiempo durante el cual se mantiene frío, es decir, hemos aumentado su periodo térmico. Esto se ha logrado mediante dos operaciones. Por un lado, mejorando la emisividad de las paredes interiores del dewar, la pantalla de radiación, mediante pulido. Por otra parte, con la incorporación de trampas moleculares “molecular sieves” a base de zeolitas.

1 Antecedentes

En el informe técnico n°6 de 1994 (2) se establece el diseño del criostato. Del estudio térmico se obtuvieron las cargas térmicas que se resumen en la tabla I:

<i>Etapa</i>	<i>Q_{gas} (W)</i>	<i>Q_{rad} (W)</i>	<i>Q_{cond} (W)</i>	<i>Q_{amp} (W)</i>	<i>Q_{total} (W)</i>	<i>Temp (K)</i>
Intermedia	0.025	3	0.1	-----	3.125	60
Fría	0.002	0.009	0.96	0.36	1.3	17

Tabla I: Cargas térmicas estimadas en el criostato S/X para una presión interior de 10^{-5} mbar.

La presión interior estimada es de 10^{-5} mbar, lo que supone que por una parte el criostato se encuentra frío y por otra que no existe ningún mecanismo de fugas. La emisividad estimada para el duraluminio es de 0.1.

1.1 Efecto de la presión en la carga térmica.

Aparentemente no debe existir ningún inconveniente para que el criostato logre enfriarse ni tampoco para que se mantenga frío durante largos periodos de tiempo. No obstante, de un análisis más profundo se observa que la temperatura final de ambas etapas es muy dependiente de la presión interior. Esta dependencia se muestra en la tabla II:

<i>Presión, mbar</i>	<i>Qtotal Inter. (W)</i>	<i>Temp. Inter. (K)</i>	<i>Qtotal Fría. (W)</i>	<i>Temp. Fría (K)</i>
10^{-5}	3.125	60	1.3	17
10^{-4}	3.35	60	1.32	17
10^{-3}	5.6	75	1.5	22
2×10^{-3}	8.1	105	1.7	35
10^{-2}	28	>150	3.3	>50

Tabla II: Cargas térmicas estimadas en el criostato S/X para distintas presiones interiores.

De la tabla anterior se observa que un aumento de la presión en un factor 200 puede ser responsable de que el criostato no pudiera enfriarse.

1.2 *Efecto de la emisividad en la carga térmica.*

Otra de las contribuciones a la carga térmica total del criostato es la carga por radiación. Esta depende fuertemente de la emisividad del material (6). En la tabla III se presenta el efecto que supondría reducir la emisividad del material de la etapa intermedia:

<i>Emisividad</i>	<i>Qtotal Inter. (W)</i>	<i>Temp. Inter. (K)</i>	<i>Qtotal Fría. (W)</i>	<i>Temp. Fría (K)</i>
0.1	3.125	60	1.3	17
0.05	1.8	50	1.3	16
0.01	0.5	45	1.3	15

Tabla III: Cargas térmicas estimadas en el criostato S/X para distintas emisividades de la pantalla de radiación.

Es evidente que una disminución de la emisividad del material de la etapa intermedia produce una disminución importante en la temperatura de esta etapa.

2 *Mecanismos de aumento de la presión.*

El aumento de la presión dentro del criostato puede ser debido a un mecanismo de fugas externo pero también a la desorción térmica, como ya se apreciaba en (2). Debido a la importancia de este fenómeno en nuestro criostato, el vacío previo con bomba rotatoria debía seguir hasta que la temperatura interior fuera del orden de 40 K. A esta temperatura el bombeo criogénico es importante y domina a la desorción.

La desorción térmica (6) es el desprendimiento de gases previamente adsorbidos en las paredes de un sólido. Es función de la atracción molecular, la temperatura y el número de capas adsorbidas. Un gas puede ser adsorbido por fisi-adsorción, donde la unión de sus moléculas al sólido es de baja energía, o por quimi-adsorción, para la cual la unión de las moléculas es mediante enlaces de alta energía.

El mecanismo de la adsorción puede explicarse como sigue. Las fuerzas de cohesión de los sólidos no están balanceadas en su superficie y mantienen una débil atracción para otras moléculas. Estas fuerzas ejercen una determinada atracción a moléculas de cualquier fluido similar a una atracción magnética y provoca que se adhieran a su superficie. El ejemplo más común es el fenómeno de la condensación del agua sobre el espejo del cuarto de baño. El agua condensada en el espejo es el resultado de la adhesión de muchas capas de moléculas de agua. En un adsorbente comercial el agua es adsorbida en no más de 2 ó 3 capas de moléculas. Por lo tanto, para tener una adsorción significativa es necesario disponer de un área muy grande.

No obstante, tras un cierto periodo llamado tiempo de residencia, las moléculas comienzan a desprenderse de las superficies frías y como consecuencia de ello la presión interior aumenta. El tiempo de residencia de las moléculas de agua en la superficie de un metal es del orden de 10^5 segundos a temperatura ambiente, aproximadamente un día. Este tiempo desciende bruscamente si la temperatura aumenta y por el contrario aumenta drásticamente cuando desciende (a temperaturas criogénicas las moléculas se congelan).

3 Reducción de la carga térmica.

Cualquier reducción de la carga térmica del criostato implica dos acciones: impedir que la presión aumente dentro del criostato (en el argot criogénico “que se rompa el vacío”) y reducir la emisividad de la etapa intermedia.

3.1 Estabilización de la presión dentro del criostato.

Es posible mantener la presión dentro de unos determinados niveles mediante cualquiera de los siguientes procesos: estimulación térmica de la desorción, aumento del bombeo criogénico, limpieza química y bombardeo de partículas. Las dos primeras producirán un efecto de reducción sobre la fisi-adsorción y las dos segundas sobre la quimi-adsorción.

Como ya se ha visto anteriormente, el aumento de la temperatura provoca una reducción drástica del tiempo de residencia de las moléculas. Si esto se usa en combinación con una bomba exterior se conseguirá un bombeo muy eficaz.

El aumento de la velocidad de bombeo de una bomba criogénica se logra aumentando la superficie de bombeo. La manera más común de conseguirlo es mediante el empleo de adsorbentes. Las zeolitas, aluminosilicatos cristalinos, son un tipo de adsorbentes que presentan una gran superficie efectiva de bombeo. Esto es debido a su particular estructura interna (7,8). Diez gramos de zeolitas presentan una superficie equivalente de 800 metros cuadrados. Además de este hecho, también presentan el fenómeno de condensación por capilaridad: cuando el diámetro de los poros del adsorbente es del orden del diámetro de la molécula del gas, las fuerzas de condensación aumentan.

El gas adsorbido en las zeolitas puede ser evacuado posteriormente si estas se calientan, el proceso se conoce con el nombre de regeneración. Después de nuestras pruebas, estimamos que un calentamiento entre 50 y 100 grados es suficiente.

Finalmente, el único proceso para eliminar los enlaces de alta energía (quimi-adsorción) es el de la limpieza química, si obviamos el bombardeo de partículas. Los productos más recomendados son: freon, etanol y tricloroetano.

3.2 *Reducción de la emisividad.*

Aunque la emisividad térmica no es un factor determinante en la carga térmica que soportan las etapas de nuestro criostato, el efecto de reducirla puede ser notable.

Es posible reducir la emisividad en al menos un factor 10 si se realiza un pulido especular de la etapa intermedia. Esta estimación se ha hecho a partir de medidas realizadas en nuestro laboratorio con el criostato del receptor de 22 GHz.

4 *Mejoras en el criostato S/X.*

En la fotografía se muestra el aspecto del criostato S/X después de realizar las siguientes mejoras:

- Pulido especular de la pantalla de radiación.
- Limpieza química con etanol.
- Incorporación de dos trampas criogénicas de zeolitas, una en cada etapa.
- Cableado adicional para la incorporación de resistencias de regeneración y termostatos de seguridad.

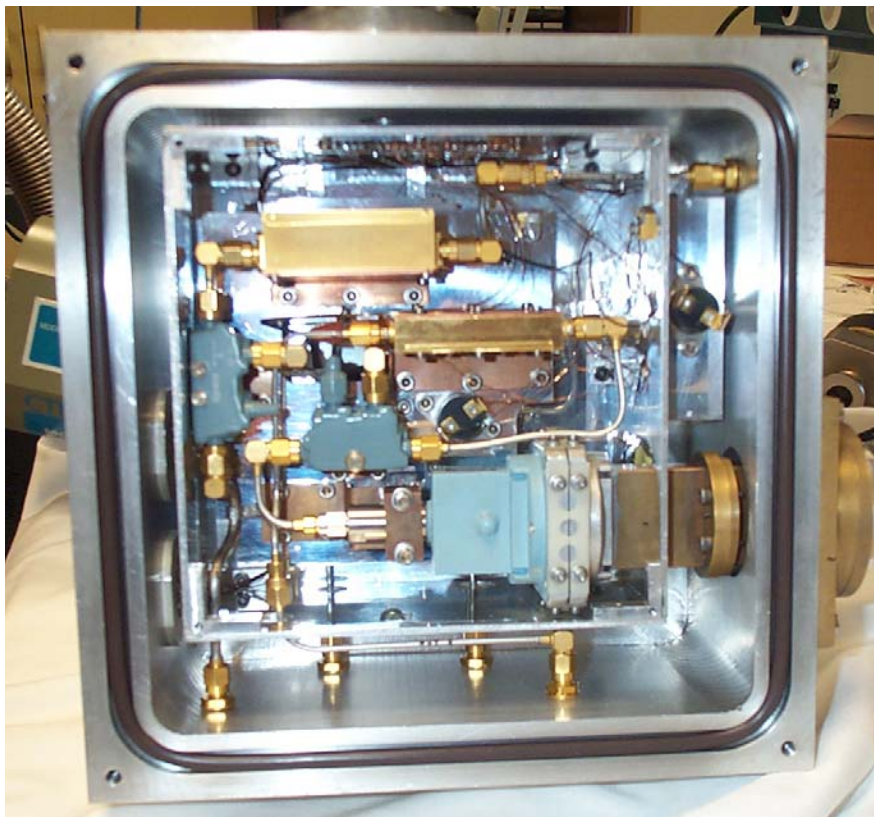


Figura 1: Aspecto del criostato S/X tras la reparación. La trampa criogénica de la etapa intermedia se observa en la parte superior derecha. La trampa de la etapa fría se encuentra bajo el amplificador de la banda S (parte superior izquierda).

4.1 Cargas de zeolitas

En la figura 2 se muestra el diseño de las bombas criogénicas. Como se observa consiste en un recipiente donde se introducen las zeolitas, bolas de aproximadamente un milímetro de diámetro. En una de las caras más grandes se ha realizado una malla de taladros para que el gas pueda ser atrapado por las zeolitas. Otra de las caras dispone de dos conectores pasamuros, donde se conecta la resistencia de regeneración que es de 100 ohmios y 7 vatios. En contacto con las cargas se han instalado dos termostatos de 70°C que permiten la desactivación de la regeneración cuando se alcanza dicha temperatura. Dadas las dimensiones del criostato esta es la temperatura que se alcanza en su interior, lo que hace que se estimule la desorción térmica y usado con la bomba rotatoria permite un vaciado más eficaz.

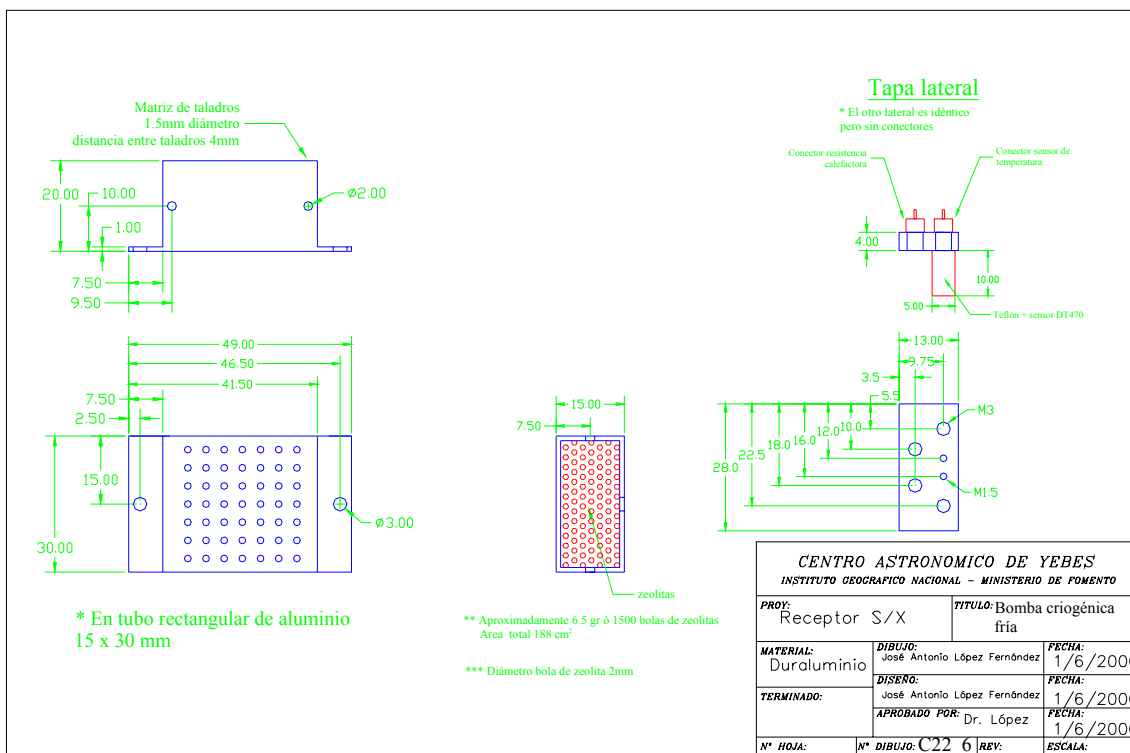


Figura 2: Carga de zeolitas.

4.2 Modificaciones en el control de la criogenia.

La unidad de control de criogenia OAY-12 (4) se ha modificado al añadirle un interruptor que activa o desactiva la regeneración. Cuando se activa la regeneración, la carga de zeolitas se calienta hasta que se alcanzan los 70° C, un indicador LED encendido muestra que la regeneración está en marcha. Cuando esta temperatura es alcanzada el termostato se abre y el LED se apaga. Cuando la temperatura desciende a 45° C, el termostato vuelve a cerrarse y el LED se vuelve a encender. En la figura 3 se muestra el esquema de esta configuración.

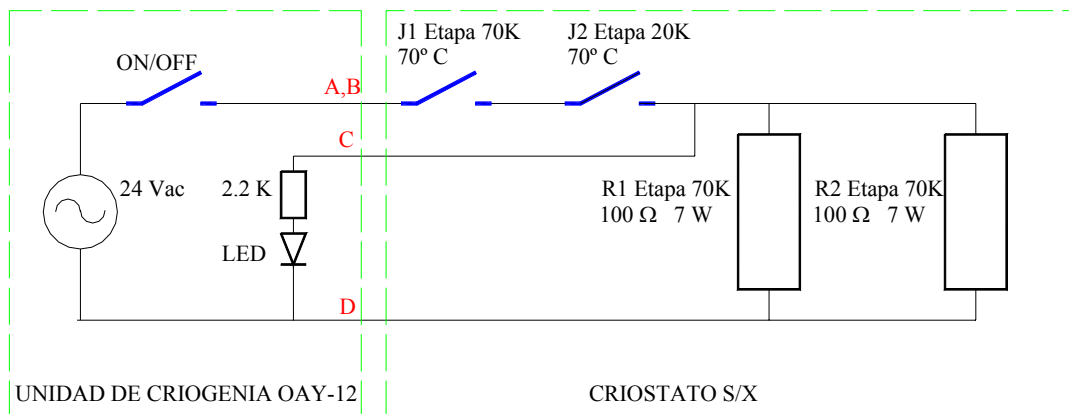


Figura 3: Configuración del sistema de regeneración.

4.2 Modificaciones en el pin-out general.

En las tablas IV y V se presenta el pin out resultante de las modificaciones:

<i>Pin lado criostato</i>	<i>Pin lado OAY-12</i>	<i>Señal</i>
A	A	24 Vac in
B	B	24 Vac in
C	C	24 Vac out (LED)
D	D	24 Vac in (retorno)
G	G	Sensor 22K +
J	J	Sensor 77K -
S	S	Sensor 22K -
T	T	Sensor 77K +

Tabla IV: Pin out del conector de temperaturas.

<i>Pin conector Microtech</i>	<i>Pin lado criostato</i>	<i>Señal</i>
3 Banda S	N	Vd2 Banda S
4 “	P	Vg2 “
5 “	R	Vd1 “
6 “	L	Vg1 “
7 “	D	GND Banda S
1 Banda X	U	Vd1 Banda X
2 ”	H	Vg1 “
3 ”	G	Vd2 “
4 “	F	Vg2 “
5 “	E	Vd3 “
6 “	K	Vg3 “
7 “	V	GND Banda X
LED S +	S	Led Banda S
LED X +	T	Led Banda X
GND	J	GND Led's

Tabla V: Pin out del conector de amplificadores. La numeración de los conectores Microtech sigue el convenio habitual. El pin número 1 es el primer pin de la derecha en la cara de soldaduras en el conector aéreo. Los siguientes pines se numeran en el sentido de las agujas del reloj.

5 Resultados.

El criostato S/X con las modificaciones expuestas ha sido probado con éxito. La primera conclusión es que el criostato no necesita ser bombeado mientras se enfría. Es suficiente con bombear durante un día y posteriormente dejar de bombear y comenzar a enfriar. Esto reduce los problemas de absorción de gases no deseados.

La segunda conclusión es que el criostato se mantiene frío por periodos superiores a dos meses. En las figuras 4 y 5 se muestra la evolución de la temperatura de ambas etapas y de la presión interior por un periodo de una semana. El tramo pendiente muestra el enfriado del criostato. El pequeño pico es consecuencia de un corte de luz. Como se muestra, las temperaturas permanecen constantes en los rangos estimados: 50 K para la etapa intermedia y 20 K para la fría. La lectura de la presión es sin duda errónea debido a la falta de precisión del medidor y es sólo orientativa.

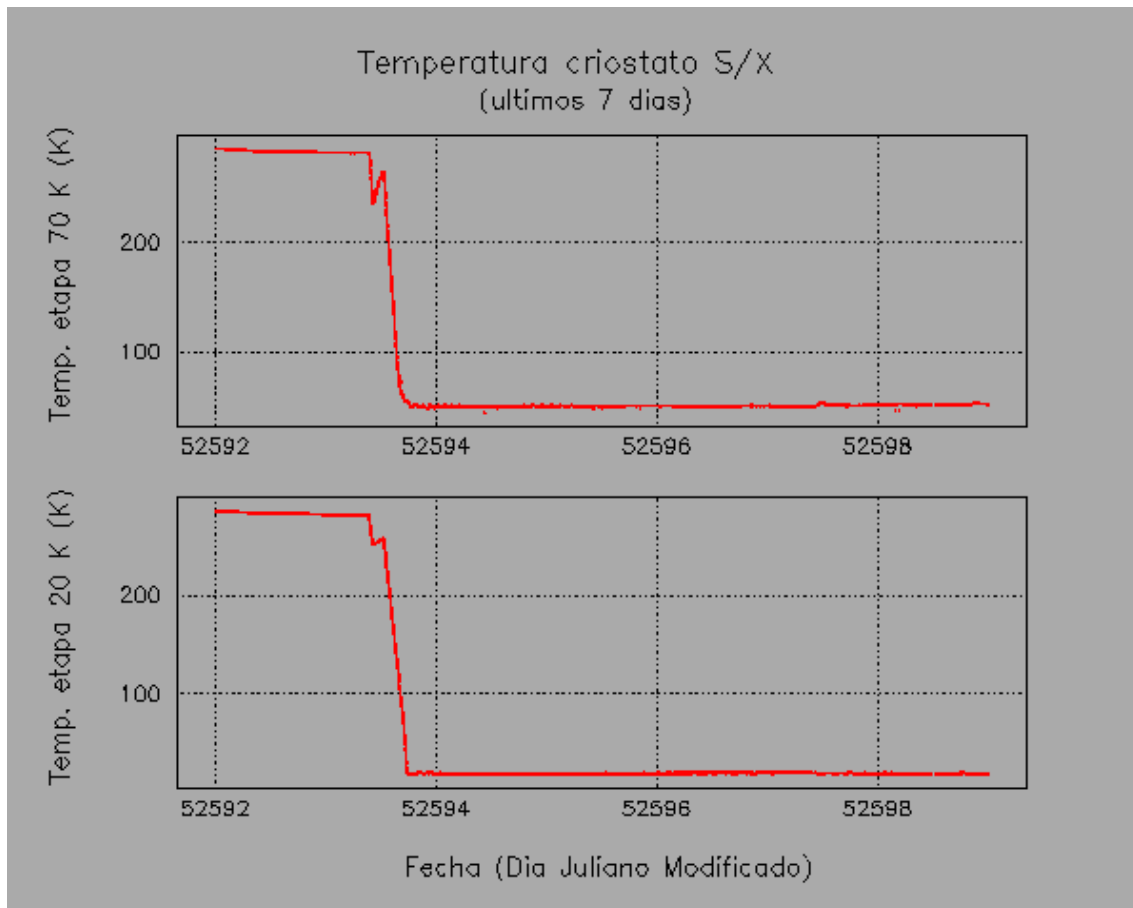


Figura 4: Comportamiento de la temperatura del criostato para ambas etapas en una semana.

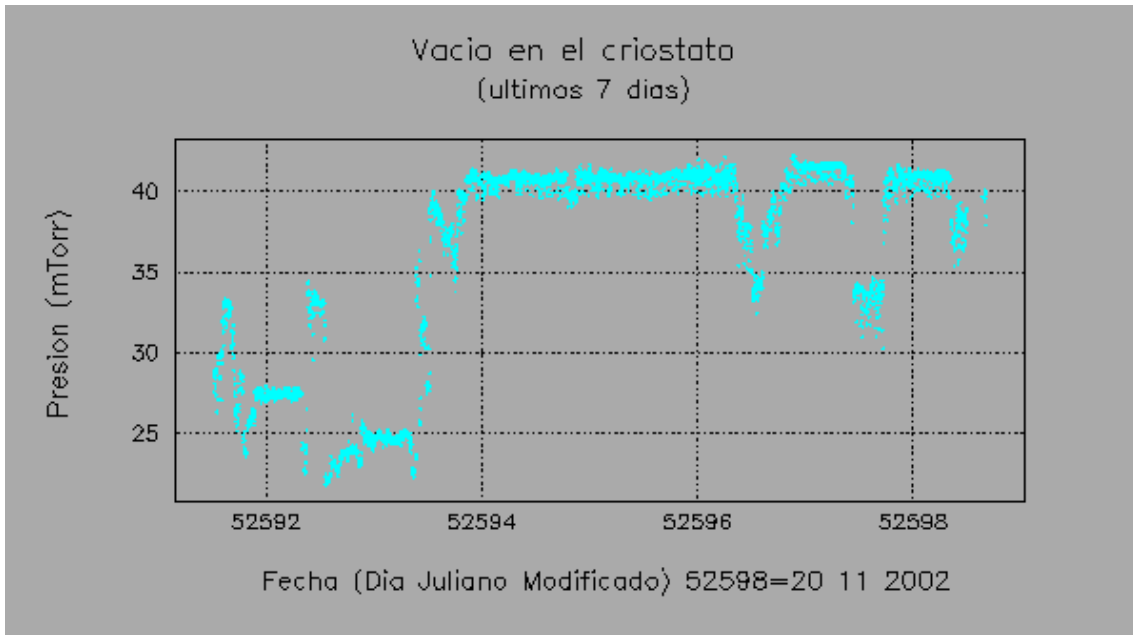


Figura 5: Comportamiento de la presión del criostato en una semana.

En las figuras 6 y 7 se muestran los mismos parámetros monitorizados las últimas 24 horas.

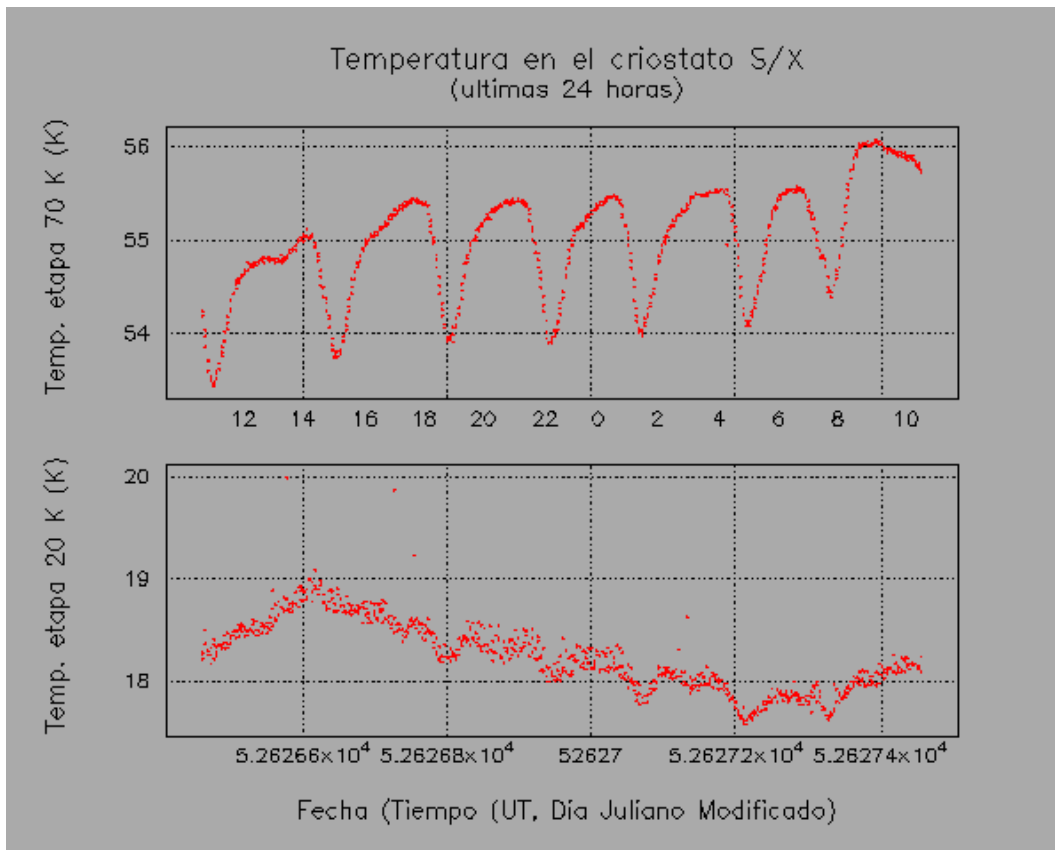


Figura 6: Comportamiento de la temperatura del criostato para ambas etapas en 24 horas.

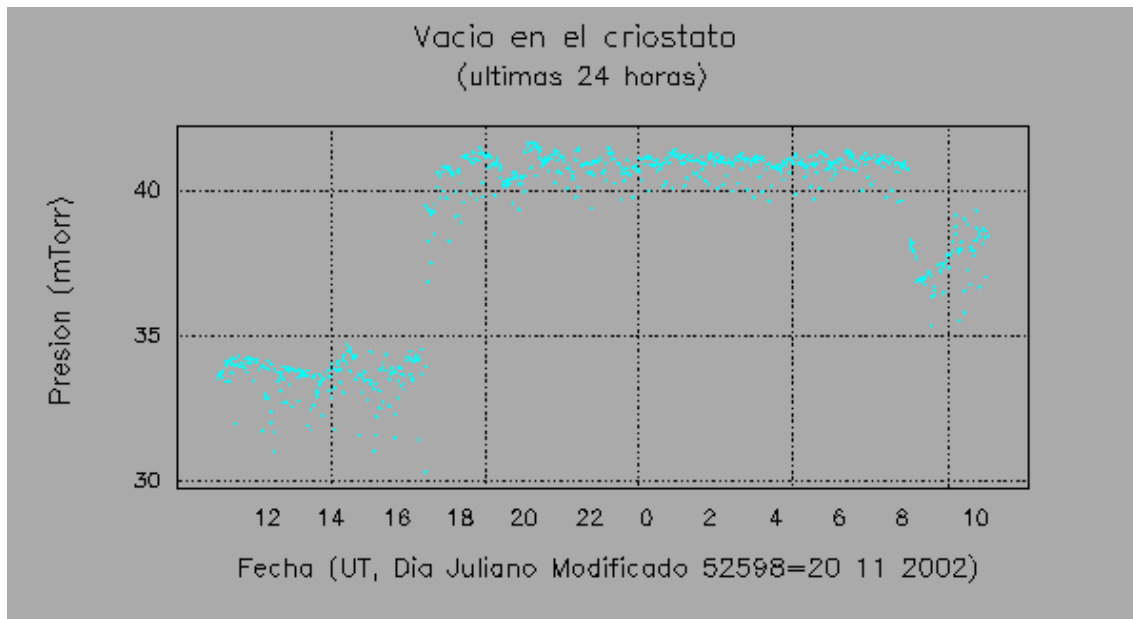


Figura7: Comportamiento de la presión del criostato en 24 horas.

6 Bibliografía.

- (1) “Entrada en guía WR-112 del criostato de VLBI”, Informe Técnico N° 1, 1994
- (2) “Criostato del receptor S/X de VLBI del CAY”, Informe Técnico N° 6 1994
- (3) “Characteristics of the 14 m radiotelescope at S and X bands”, Informe Técnico N° 13, 1995.
- (4) “Unidad de Control de la Criogenia del receptor en bandas S/X del CAY. OAY-12” Informe Técnico N° 4, 1994.
- (5) “Nueva calibración del receptor banda X” Informe Técnico N° 1, 1999.
- (6) Cryogenic System, Randall F. Barron, Oxford Science Publication, 1985
- (7) Fundamentals of Adsorption, Zeochem, 1995
- (8) Fundamentals of Molecular Sieve Design, Zeochem, 1992