



Aislamiento de la sala de receptores del radiotelescopio de 40 metros.

C. Albo

Informe Técnico IT-CDT-2023-07



UNIÓN EUROPEA
FONDO
EUROPEO DE
DESARROLLO
REGIONAL

Los trabajos descritos en este informe técnico han sido cofinanciados por el Programa Operativo Fondo Tecnológico FEDER de la UE bajo el convenio IGN-MINECO denominado “Infraestructuras para la actualización de los radiotelescopios del Observatorio de Yebes (YNART)”





Indice

1	Introducción.	2
2	Descripción de la sala.	2
3	Identificación de transmisión de calor.	3
3.1	Escalera de acceso.	3
3.2	Puerta de acceso a sala de compresores.	4
3.3	Superficies exteriores sin aislar.	5
3.4	Paredes visibles del yugo.	6
4	Ejecución del aislamiento.	7
4.1	Cerramiento de la escalera de acceso.	7
4.2	Aislamiento de las paredes del yugo.	8
4.3	Asilamiento de la sala de compresores.	11
4.4	Aislamiento de superficies sin aislamiento.	13
4.4.1	Paredes y visera del tubo vértice.	13
4.4.2	Pared vertical del cierre de la persiana del techo.	14
4.4.3	Trampillas del techo de la cabina	15
4.5	Mejora del aislamiento del resto de paredes.	15
5	Resultados.	17

1 Introducción.

La sala de receptores del radiotelescopio de 40 metros contiene todos los receptores y frontends utilizados para la captación de las señales durante las observaciones. Está situada en el segundo piso de la cabina acimutal del radiotelescopio. La sala de receptores debe tener la mayor estabilidad térmica posible. Ello contribuye a unas observaciones más precisas al evitar la influencia de los cambios de temperatura ambiente en la temperatura de los receptores o en la los equipos de calibración, afectando tanto a la estabilidad de fase y de ganancia del radiotelescopio.

Sin embargo, a pesar de contar con equipos de climatización, la temperatura de la sala varía de forma notable debido a la transmisión de calor con el exterior por ausencia de aislamiento o por ser éste deficiente.

Para mejorar los resultados de las observaciones del radiotelescopio, dentro del proyecto YNART bajo el convenio IGN-MINECO cofinanciado por el Programa Operativo Fondo Tecnológico FEDER de la UE, se han ejecutado varias acciones destinadas a mejorar la estabilidad de fase y de ganancia. Una de ellas es el aislamiento de la cabina de receptores, que tiene el objetivo de mejorar la estabilidad térmica de la sala. Otro objetivo secundario pero también importante, es que la mejora del aislamiento permitirá reducir el consumo energético para mantener la cabina a la temperatura de consigna.

2 Descripción de la sala.

La cabina acimutal es la parte del radiotelescopio con forma cúbica situada entre la torre de hormigón y la parábola reflectora. Está apoyada en el rodamiento de acimut, y por lo tanto gira en acimut. En la parte superior aloja los cojinetes de elevación, que permiten el giro en elevación de la parábola reflectora.

La estructura principal de la cabina es el yugo. Se trata de una estructura de hierro muy rígida que sostiene los dos cojinetes de elevación y transfiere todo el peso de la estructura que gira en elevación al rodamiento de acimut. A partir de dicha estructura se ha construido la cabina con dos niveles, que han sido cerrados por paneles sándwich a modo de paredes atornillados a una estructura de vigas metálicas

En el nivel inferior, dentro de la estructura rígida del yugo, se encuentran sendas salas de motores con los servomotores y las cajas reductoras que engranan con las coronas de los ejes principales. También se encuentran los armarios del servosistema del radiotelescopio con los equipos electrónicos de potencia y de control.

En el nivel superior se encuentra la sala de receptores con toda la instrumentación de recepción de las señales electromagnéticas. También hay un sistema de espejos móviles que permiten guiar la señal captada hacia uno o hasta tres receptores simultáneamente. Los receptores necesitan funcionar con las primeras etapas amplificadoras sometidas a temperaturas criogénicas para disminuir el ruido generado inherentemente por los componentes. Los compresores de Helio del sistema criogénico están alojados en una pequeña sala anexa a la de los receptores, existiendo una separación entre ambas

mediante paneles sándwich a modo de paredes y techo con una puerta corredera de acceso.

La cabina está aislada del exterior mediante paneles sándwich a modo de paredes. Sin embargo no existen barreras físicas de paso en todo el recorrido desde la base de la torre de hormigón hasta la cabina de receptores. A la bacina se accede desde la torre a través de una escalera en espiral, y los dos niveles de la cabina se comunican mediante una escalera que llega a un hueco que atraviesa el suelo de la sala superior. La escalera está completamente abierta, sin cerramiento alrededor excepto la pared exterior de la cabina. Tampoco existe puerta alguna de acceso desde la torre.

La sala dispone de una abertura de 3 metros de ancho a lo largo de la pared frontal y parte del techo que permite el desplazamiento del tubo vértice cuando la antena gira en elevación. Por dicho tubo atraviesan las ondas electromagnéticas captadas por la superficie parabólica después de rebotar en el espejo del subreflector. El hueco de la abertura que el tubo deja libre está tapado por sendas persianas aislantes colocadas a ambos lados del tubo.

3 Identificación de transmisión de calor.

Son varias las zonas por las que la sala intercambia calor en exceso con el exterior, que se describen a continuación.

3.1 Escalera de acceso.

El paso entre el nivel inferior y el superior de la cabina se realiza a través de una escalera entre ambos niveles. La sala de receptores tiene un hueco rectangular de 105x260 cm para el acceso. Dicho hueco está permanentemente abierto debido a la inexistencia de trampilla o puerta que lo mantenga cerrado.

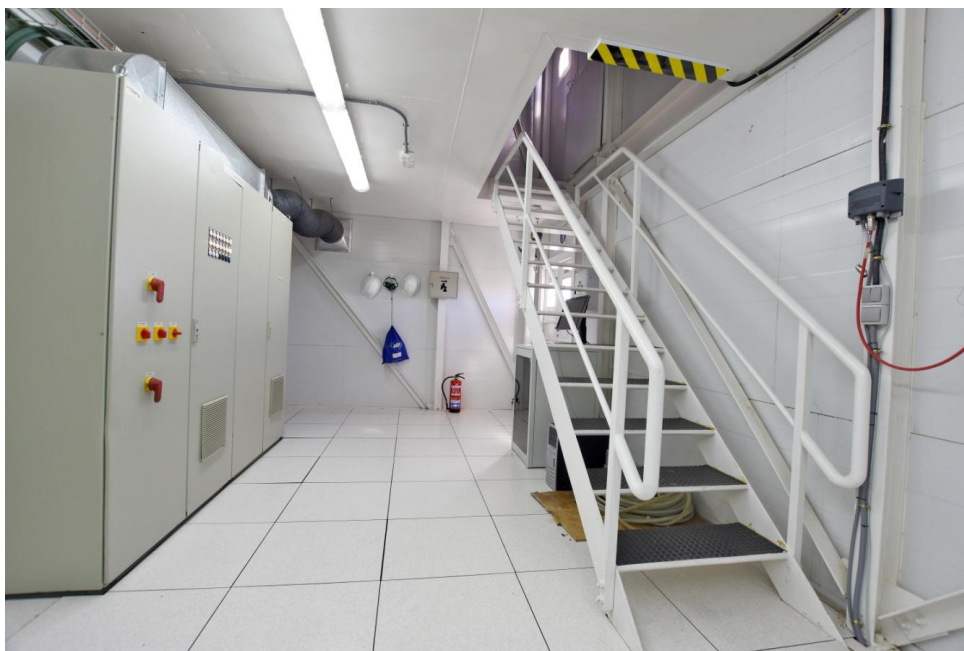


Figura 1. Escalera de acceso a la sala de receptores desde la sala de servos.

En el nivel inferior se encuentran los armarios de potencia y de control del servosistema. Los armarios de potencia disponen de una ventilación interior que aspira aire de la sala y lo expulsa al exterior a través de unos conductos, por lo que el calor que generan no afecta de manera importante a la sala. El accionamiento de los ejes principales también se encuentra en el nivel inferior. Dos salas anexas a la de servos contienen los motores, las cajas reductoras y las resistencias de frenado, que son elementos que se calientan con el uso. Este nivel no está climatizado, y el calor generado sube sin barreras a la sala de receptores.

Todas las salas están comunicadas por zonas de paso sin puertas u otro cerramiento. Además, el acceso a la cabina desde la torre tampoco se encuentra cerrado, por lo que el aire caliente en el interior de la torre acaba subiendo hasta la cabina llegando a la sala de receptores.

Si bien esto puede favorecer el calentamiento de la sala de receptores en invierno, es un serio inconveniente para su refrigeración en verano.

3.2 Puerta de acceso a sala de compresores.

La sala de compresores alberga un total de 4 compresores dobles que pueden llegar a disipar hasta 24 kW de potencia entre todos. La sala cuenta con diez ventanas abiertas al exterior protegidas con lamas que impiden la entrada de lluvia. Cinco de ellas están a nivel del suelo, y otras cinco por debajo del techo, de forma que se permite una ventilación natural de aire por convección. También se ha dotado a la sala con una ventilación forzada mediante ventiladores para expulsar el aire caliente que se pone en marcha cuando la temperatura es elevada.



Figura 2. Puerta de acceso a la sala de compresores.

El acceso a la sala de compresores se hace desde la sala de receptores. Se realiza a través de una puerta corredera fabricada in situ a partir de un panel sándwich igual que las paredes que se desliza lateralmente gracias a un carril superior.

Los lados de la puerta están aceptablemente sellados con sendos burletes. Sin embargo, existe un hueco sin sellar con el suelo se aproximadamente 1 cm de altura, y en la parte superior existe una importante separación de aproximadamente 10 cm de ancho debido a la inexistencia de pared por encima de la puerta.



Figura 3. detalle del mecanismo de cierre de la puerta de la sala de compresores.

Estos huecos son una importante vía de transferencia de calor. Cuando los ventiladores se ponen en marcha, el aire a una temperatura moderada de la sala de receptores es aspirado y expulsado por la sala de compresores, forzando la entrada de aire generalmente caliente desde principalmente la sala inferior. En caso de que no estén en marcha, el calor de la sala de compresores pasa fácilmente a la de receptores.

3.3 Superficies exteriores sin aislar.

La envolvente de sala de receptores tiene una superficie aproximadamente de 59,8 m² formada por una chapa metálica sin aislar (aproximadamente un 22 % del total). De dicha superficie, 16,3 m² es chapa expuesta directamente al exterior, y 43,5 m² es superficie metálica de la estructura del yugo.

Las superficies directamente expuestas al exterior son:

- Los sectores circulares laterales en aberturas del tubo vértice (8,9 m², resaltadas con color azul en la Figura 4).
- La visera del tubo vértice (5,2 m², resaltadas con color naranja en la Figura 4).

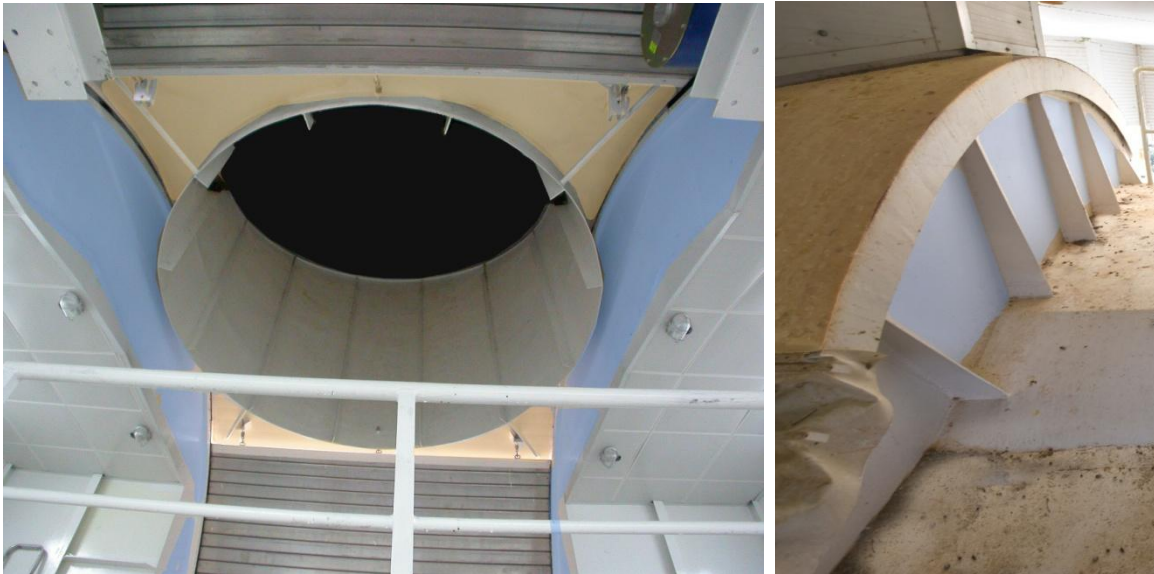


Figura 4. Paredes y visera del tubo vértice a aislar.

- La pared vertical situado en el cierre de la persiana del techo ($0,8 \text{ m}^2$).
- Las dos trampillas del techo de la cabina ($1,4 \text{ m}^2$).



Figura 5. Trampilla del techo de la sala de receptores

Todas estas superficies, hechas de acero o aluminio (en el caso de las trampillas), tienen un coeficiente de conductividad elevado. Teniendo además en cuenta el pequeño espesor de las mismas, la transferencia de calor con el exterior es importante.

3.4 Paredes visibles del yugo.

La estructura del yugo tiene directamente los laterales inclinados sobresalientes situados a ambos lados de los espejos Nasmyth expuestos al ambiente de la cabina de receptores. Dicha superficie no se encuentra expuesta al exterior por la otra cara, sino que forma parte de una estructura de tres dimensiones con un hueco en el interior. No obstante, el hecho de que esta pared no esté aislada implica dos inconvenientes importantes.



Figura 6. Estructura lateral del yugo en la sala de receptores.

Por un lado, la falta de aislamiento implica una transferencia de calor entre la sala y el exterior. Por otro lado, la estructura del yugo queda sometida a gradientes de temperatura altos entre dichas paredes y el resto de la estructura, lo que puede llevar consigo una posible deformación a pesar de su rigidez. Esta deformación podría afectar a la forma parabólica de la estructura trasera del reflector principal, provocando efectos no deseados como astigmatismo.

El aislamiento de dichas paredes está pues doblemente justificado.

4 Ejecución del aislamiento.

Los trabajos de aislamiento de la cabina han sido realizados dentro del proyecto YNART de mejora de la eficiencia del radiotelescopio, mediante el expediente de contratación 2022-0000072 del CNIG, denominado “Aislamiento térmico de la cabina acimutal del radiotelescopio de 40m del Observatorio de Yebes dentro del marco del proyecto YNART cofinanciado con fondos FEDER”.

Los trabajos fueron adjudicados a la empresa Inserdyka S.L.U. por un importe de 39.760,00 €.

Salvo que se mencione lo contrario, el aislamiento se ha realizado utilizando paneles sándwich de 40 mm de espesor con chapado metálico ondulado lacado en color blanco y relleno aislante de poliuretano de 40 Kg/m³ de densidad.

4.1 Cerramiento de la escalera de acceso.

El cerramiento de la escalera se ha realizado instalando una pared lateral en el lado libre y una plancha bajo los escalones. Para poder aprovechar el hueco disponible bajo la

escalera, la plancha inferior se ha colocado siguiendo la inclinación de la escalera. También se ha colocado una capa de aislamiento adicional a la pared lateral que transcurre al lado de la escalera.

El acceso a la escalera ha quedado cerrado con una puerta abatible con una ventana traslúcida que permita ver si hay algún obstáculo antes de abrir la puerta según se baja de la sala de receptores. El espacio disponible que deja la puerta es de 72 x 276 cm. La puerta es de carpintería de aluminio blanco relleno de aislante de poliuretano de 40 Kg/m³ de densidad, con manillas a ambos lados.



Figura 7. Cerramiento de la escalera de acceso desde la sala de servos, con detalle de barandilla y pared al exterior.

La puerta ha quedado instalada en el primer escalón por motivos prácticos a la hora de instalar el aislamiento, al ser recomendable anclar su marco a la viga vertical localizada en ese punto. Ha sido necesario cortar el final de la barandilla para poder colocarla en dicha posición. También ha sido necesario cambiar la localización del módulo interface del HHP del servosistema así como los interruptores de iluminación situados originalmente en una columna metálica al inicio de la subida por las escaleras.

4.2 Aislamiento de las paredes del yugo.

El aislamiento ha consistido en cubrir con panel sándwich toda la superficie visible de la estructura del yugo en la sala de receptores. Esta tarea ha sido complicada debido a la existencia de múltiples elementos anclados a dichas superficies:

- soportes de los espejos M4 y M4'
- escalera vertical de acceso al techo
- suelo del nivel de los espejos Nasmyth

- canaletas de cables
- cajas auxiliares del servosistema
- estructura de anclaje de codificadores
- estructura de soporte de bandeja de cables hacia el enrollador de cables de elevación.

Para salvar estos elementos ha sido necesario realizar múltiples recortes a medida y cubrir las uniones mediante perfiles.



Figura 8. Detalle de los recortes realizados en el aislamiento de la estructura lateral del yugo.

En el caso de las cajas auxiliares, todas excepto las cajas con los inclinómetros han sido desmontadas y vuelto a montar sobre los paneles fijándolas con tornillos para chapa. Las cajas con los inclinómetros no se pueden desmontar. Estos sensores se utilizan para medir la inclinación del yugo de cara a realizar la pertinente corrección de puntería en función de la desviación de la normal del suelo de la cabina respecto del cenit. Para disponer de una medida fiable, están directamente anclados a la pared del yugo a través de unos orificios practicados en la pared trasera de la caja, y no se pueden sujetar fijar en otra superficie. Para evitar desmontar las cajas (y los inclinómetros), la superficie del yugo por detrás de estas se ha aislado con trozos de aislante de espuma introducidos entre la caja y la pared salvando todos los tornillos de fijación. Posteriormente se ha cerrado el hueco con perfiles.



Figura 9. Detalle del aislamiento de las cajas con los inclinómetros.

Los paneles se han sujetado pegándolos con silicona, evitando la realización de taladros en la pared. El aislamiento no se ha colocado bajo el suelo técnico ya que la existencia de las estructuras de soporte de los sistemas de receptores hace que sea muy complicado realizar el trabajo en muchas zonas. Además, la superficie a cubrir es muy pequeña y el propio suelo de la sala supone cierto aislamiento.

Se ha realizado un cajeadado en la zona donde se encuentran las trampillas de mantenimiento laterales (para el acceso a los límites de seguridad de elevación y a una boquilla de engrase del cojinete de elevación). El cajeadado permite a las trampillas cubrir todo el espacio abierto y tener un sellado estanco especialmente en la arista inferior, que se encuentra a nivel de la superficie de la pared del yugo.

También se ha cubierto el refuerzo colocado sobre esta estructura del yugo durante el montaje de la antena, y que sirvió para colocar unos gatos hidráulicos con los que se liberó de tensiones los cojinetes de elevación tras una primera carga con la parábola.



Figura 10. Detalle del aislamiento del refuerzo superior de la estructura lateral del yugo.

Las paredes metálicas alrededor de los espejos Nasmyth tiene soldados unos soportes para la colocación temporal de dianas de una estación total. Este sistema permite realizar medidas 3D de la cabina y determinar la posición de los espejos Nasmyth respecto del eje de elevación. Consisten en un cilindro de 60 mm de diámetro y 17.5 de altura, con un orificio central donde se coloca la diana. El aislamiento se ha cajeadado alrededor de dichos soportes para dejarlos accesibles ante futuras necesidades, realizándose círculos de un diámetro de 100 mm.



Figura 11. Detalle de un soporte de diana.

4.3 Aislamiento de la sala de compresores.

Las paredes y el techo de la sala están fabricados con paneles sándwich de 60 mm de espesor rellenos de lana de roca. Una puerta corredera, fabricada a partir de otro panel de las mismas características, permite el acceso a la sala desde la sala de receptores. Para mejorar el aislamiento, se han llevado a cabo varias acciones.

Se han sustituido los cuatro paneles frontales que la separan de la sala de receptores por paneles sándwich nuevos, que tienen con un coeficiente de transferencia de calor menor (peor transferencia de calor) y son más ligeros a la hora de manipularlos. En este caso, los paneles utilizados son de 60 cm para mejorar el aislamiento, dado el calor generado por los compresores. El cuadro de control de los ventiladores de la sala de compresores, colocado en uno de los paneles, se desmontó y volvió a montar en la misma posición sobre el panel nuevo.

Se ha añadido panel nuevo sobre el existente en el techo. Reemplazar dichos paneles es muy complicado debido a que del techo cuelgan las luminarias, el detector de humos y varias mangueras y cajas registro de instalación eléctrica. Ha sido necesario cajear los paneles colocados para permitir el paso de algunas mangueras y encajar en la estructura metálica de la que cuelgan los paneles originales.



Figura 12. Aislamiento del techo de la sala de compresores.

Se ha cambiado la puerta de acceso por otra corredera con cierre estanco. La puerta se desplaza por un carril superior, y en la posición de cierre es forzada a apretarse contra el marco y a bajar unos milímetros gracias al mecanizado del carril y a un tope inferior. El sellado por arriba y por los laterales se hace al apretarse el burlete contra el marco. El

sellado por abajo se consigue con otro burllete en el canto inferior de la puerta. De esta manera el paso queda despejado. La apertura de la puerta se realiza por sendas palancas, una en el exterior y otra en el interior de la sala.



Figura 13. Nueva puerta de la sala de compresores.

Se ha eliminado un travesaño horizontal de la estructura de la sala existente en el hueco de la puerta a una altura de 1,7 metros. Este travesaño tiene la única función de sujetar los paneles. El travesaño en la posición de la puerta mantuvo originalmente a pesar de no ser necesario, y se ha optado por quitarlo aprovechando la ejecución de estos trabajos (líneas rojas en la Figura 14).



Figura 14. Frontal nuevo de la sala de compresores desde el interior.

Por último, se ha procurado aislar la zona de la sala de compresores de la sala de receptores por debajo del suelo técnico. Se han utilizado trozos de planchas de aislante de fibras textiles, que pueden moldearse para cubrir el máximo espacio posible entre los cables y tubos que cruzan de una sala a otra bajo el suelo. En la siguiente imagen se observa el aislante recuadrado de rojo.



Figura 15. Detalle del aislamiento de la sala de compresores bajo el suelo.

También se ha sellado con espuma de poliuretano otros huecos existentes en aristas de unión de superficies de las paredes y en orificios para el paso de cables y de la tubería de desagüe del techo.



Figura 16. Detalle del aislamiento de huecos en la sala de compresores.

4.4 Aislamiento de superficies sin aislamiento.

4.4.1 Paredes y visera del tubo vértice.

Las paredes se han aislado por fuera colocando trozos de paneles cortados a medida entre los nervios existentes. Los paneles se han pegado a la pared con silicona debido a la prohibición de taladrar la chapa para evitar problemas de oxidación y entrada de agua en la cabina.

La visera se ha aislado por tramos rectos paralelos al eje de elevación. Se ha seleccionado la anchura de los tramos de manera que por un lado no haya excesivos tramos y por otro que los extremos de estos no queden muy separados de la superficie.

Los tramos se han encajado por debajo del aislamiento existente en el tubo, y se han pegado con silicona debido a la prohibición de taladrar la chapa de la visera para evitar problemas de oxidación y entrada de agua en la cabina.

Las uniones entre tramos y al final del aislamiento se han rematado con perfiles sujetos con remaches. El canto del aislamiento también se ha cubierto con perfiles similares.



Figura 17. Aislamiento de los laterales y de la visera del tubo vértice.

4.4.2 Pared vertical del cierre de la persiana del techo.

Este tramo se ha realizado con un panel sándwich cortado a medida con los orificios necesarios para el paso de los cables de tensado de la persiana y el cable del codificador de lectura de posición de esta. El panel se ha colocado por el exterior, bajo la persiana horizontal del tubo vértice, donde apoya en la superficie del techo y por lo tanto no tiene riesgo de caída. La fijación se ha realizado pegándolo a la chapa con silicona debido a la prohibición de taladrar la chapa de la visera para evitar problemas de oxidación y entrada de agua en la cabina.



Figura 18. Aislamiento de la pared bajo la persiana del techo.

4.4.3 Trampillas del techo de la cabina

Las trampillas se han aislado colocando un panel sándwich por encima. La existencia de las manetas de cierre y el actuador del interruptor de apertura están en el lado inferior, imposibilitando aislar la trampilla por dicha cara.

El panel ha sido pegado a la chapa con silicona debido a la prohibición de taladrar la chapa de la visera para evitar problemas de oxidación y entrada de agua en la cabina. Una vez instalado, se han cubierto el canto con perfiles sujetos mediante remaches tanto al panel como al lateral de la trampilla. Puesto que los laterales de la trampilla sobresalen del hueco que ésta tapa, los orificios para los remaches en dichos laterales no provocan problemas en el interior de la cabina.

Dado el aumento de peso de la trampilla de la escalera vertical, se ha comprobado que el estado de los carriles hace difícil el deslizamiento de ésta para abrirla o cerrarla. Para mejorar la situación se han intercambiado con los de la otra trampilla, que está condenada por el espejo M5. Además, se ha reforzado el canto y se ha colocado un tirador tipo asa para manipularla con mayor facilidad.



Figura 19. Trampilla recubierta del techo de la sala de receptores.

4.5 Mejora del aislamiento del resto de paredes.

Los paneles sándwich que forman las paredes de las cabinas están rellenos de lana de roca. Su conductancia térmica es mayor que los paneles que se están utilizando para el aislamiento, y puede haber aumentado con el tiempo. Por lo tanto, se ha decidido cubrir todas las paredes de la sala con paneles nuevos aunque ya existan otros. Los paneles nuevos se han cortado a medida según los huecos que permiten las vigas que forman el esqueleto de las paredes.

Las paredes laterales se han cubierto por el interior. Ha sido necesario desmontar todos los elementos que estaban sujetos a los paneles originales y a los travesaños en L para poder montar los nuevos paneles. Entre dichos elementos se encuentra el armario de herramientas, elementos del sistema de detección de incendios o soportes de cables.

El armario de herramientas se fija a dos travesaños soldados a la estructura de la pared debido a su peso. En este caso, ha sido necesario cortar dichos travesaños

Las trampillas de mantenimiento de las paredes han sido sustituidas por otras fabricadas a medida a partir de paneles nuevos, mejorando tanto su aislamiento como su rigidez.



Antes



Después

Figura 20. Lateral izquierdo de la sala con la trampilla de mantenimiento.



Antes



Después

Figura 21. Lateral derecho de la sala con la trampilla de mantenimiento.

La pared trasera se ha cubierto desde el exterior dada la complejidad y dificultad de trabajar por el interior. La ubicación de los equipos de aire acondicionado sobre la sala de compresores y el hueco en el suelo para la escalera de acceso desde la sala inferior hacen complejo este trabajo desde el interior, mientras que por el exterior es fácil acceder a las zonas por el balcón. Los operarios trabajaron sobre escalera o desde el techo, siempre anclados a la línea de vida existente en el techo de la cabina. La pared de la sala de compresores no ha sido cubierta por no ser necesario. En la siguiente imagen se ha resaltado en verde el recubrimiento adicional instalado.



Figura 22. Aislamiento de la pared trasera de la sala de receptores.

La pared frontal de la sala es de chapa, y cuenta con una capa de aislamiento por el exterior. A pesar de ello, para mantener una similitud con el resto de paredes, también se han cubierto con paneles nuevos por el interior.



Figura 23. Detalle del aislamiento de la pared frontal de la sala de receptores.

5 Resultados.

Se ha comparado la evolución de la temperatura ambiente de la sala durante el mes de mayo antes (año 2022) y después (año 2023) de los trabajos de aislamiento de la cabina. Los datos se han obtenido de la base de datos de hera.oan.es. Las gráficas obtenidas se muestran en las siguientes figuras.

A simple vista se observa una mayor estabilidad después del aislamiento, lo que viene reforzado por una desviación típica mucho menor para dicha situación. Las variaciones intradía han disminuido notablemente, y apenas se observa variación media a lo largo del mes. La siguiente tabla resume los datos. La temperatura de consigna de la climatización ha sido de 18 grados en ambas situaciones.

Antes	Después
-------	---------

Variación máxima intradía	8.5	4.6
Variación mínima intradía	1.9	1
Variación promedio intradía	4.2	2.3
Desviación típica	1.54	0.67
Valor máximo mensual	24.9	20.9
Valor mínimo mensual	13.7	15.9

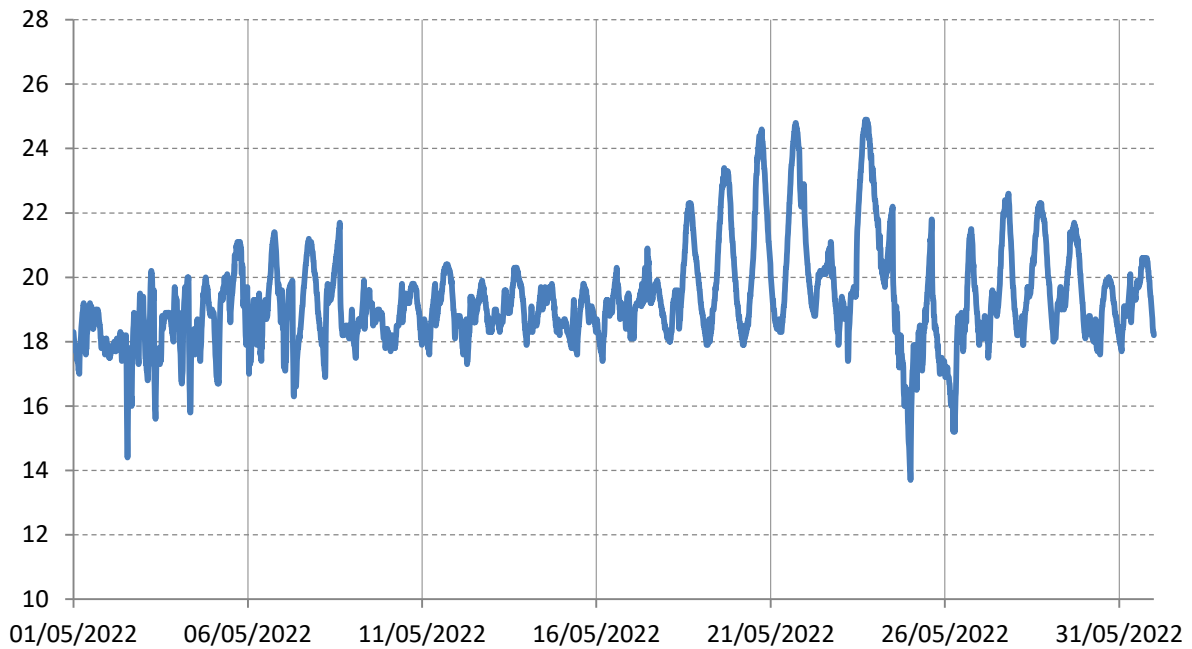


Figura 24. Evolución de la temperatura de la sala durante mayo de 2022

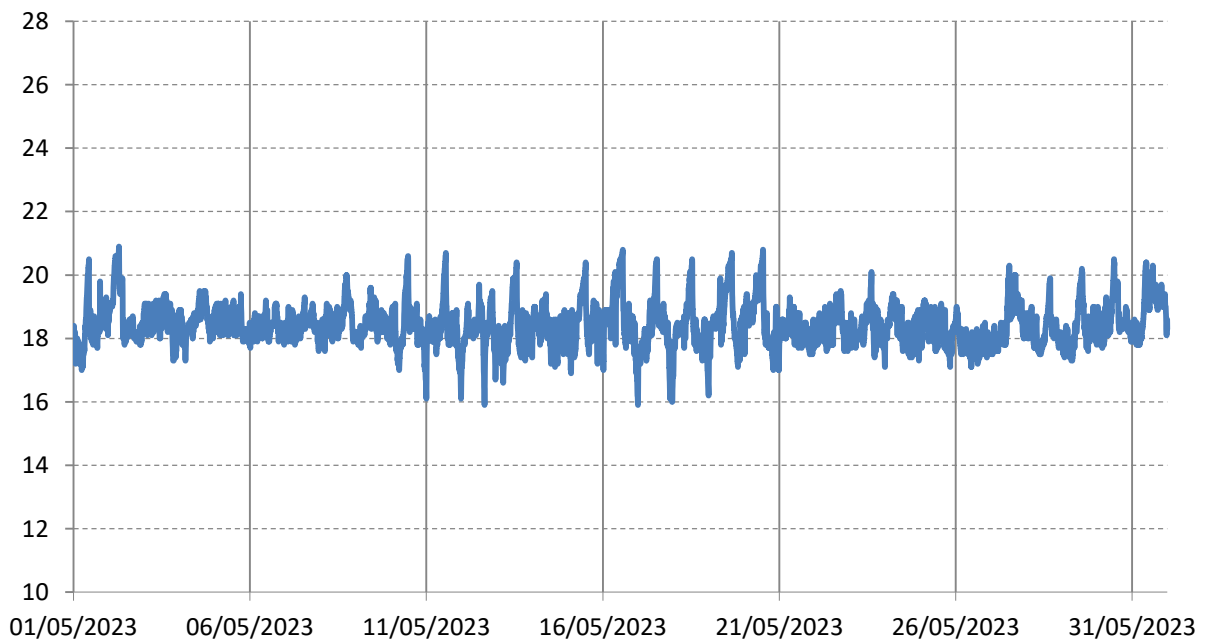


Figura 25. Evolución de la temperatura de la sala durante mayo de 2023