



**Sistema de medida de temperatura de la  
estructura metálica del radiotelescopio de  
40 metros del Observatorio de Yebes.**

C. Albo

Informe Técnico IT-CDT-2023-12



**UNIÓN EUROPEA**  
FONDO  
EUROPEO DE  
DESARROLLO  
REGIONAL

Los desarrollos 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

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Estudio previo de la red de sensores.....</b>	<b>1</b>
2.1	Descripción de la estructura metálica. ....	2
2.2	Trabajos a realizar. ....	3
2.3	Comportamiento térmico de la estructura.....	3
2.4	Requisitos de la red de sensores de temperatura. ....	5
2.4.1	Tipo de sensores. ....	5
2.5	Numero de sensores y puntos de instalación.....	5
2.5.1	Sensores en la estructura trasera.....	6
2.5.2	Sensores en el tetrápodo.....	8
2.5.3	Sensores en el interior del yugo. ....	8
2.5.4	Sensores en los contrapesos. ....	9
2.6	Características de la toma de datos.....	10
<b>3</b>	<b>Red de sensores de temperatura.....</b>	<b>10</b>
3.1	Características de la red de sensores.....	10
3.2	Tipo de sensores utilizados. ....	11
3.3	Equipos de adquisición de datos.....	11
3.4	Instalación de la red de sensores.....	12
3.4.1	Arquitectura del sistema. ....	12
3.4.2	Ubicación de los sensores.....	13
3.4.3	Sensores en la estructura trasera.....	13
3.4.4	Sensores en el tetrápodo.....	15
3.4.5	Sensores en los contrapesos. ....	16
3.4.6	Sensores en el yugo. ....	18
3.4.7	Colocación de los sensores.....	18
3.4.8	Estudio del material de la capota. ....	19
3.4.9	Métodos de fijación.....	20
3.5	Adquisición de datos.....	21
3.5.1	Elementos del sistema de adquisición. ....	21



3.5.2	Instalación de la adquisición de datos.....	24
3.6	Interface con el usuario. ....	25
3.6.1	Acceso a las lecturas. ....	25
3.6.2	Configuración de sensores. ....	28
<b>4</b>	<b>Anexo I. Identificación de sensores .....</b>	<b>30</b>

## 1 Introducción.

Las deformaciones de la estructura metálica de un radiotelescopio de alta sensibilidad, como el de 40 metros del Observatorio de Yebes, juegan un papel importante en las variaciones de eficiencia del radiotelescopio. Una causa importante de dichas deformaciones son los gradientes de temperatura a los que está sometida toda su estructura metálica. Así mismo las diferencias de temperatura entre la cabina de receptores, el yugo de la antena y la estructura trasera del reflector principal introducen una aberración de tipo astigmático. Para mejorar la eficiencia, es importante tomar medidas para compensar los gradientes de temperatura en toda la estructura. La instalación de una red de sensores térmicos permite conocer cómo afectan las condiciones meteorológicas a la estructura, así como buscar una solución para su compensación.

Con este objetivo, y con la cofinanciación de los fondos FEDER concedidos dentro del proyecto YNART, se ha procedido a la implementación de una red de sensores de temperatura estratégicamente repartidos por toda la estructura metálica del radiotelescopio. En una primera actuación, se ha procedido a realizar un estudio para determinar el número de sensores, las especificaciones técnicas requeridas y los lugares donde situarlos.. Una vez definidos estos parámetros, se ha procedido con la instalación completa del sistema de medida de la temperatura, formado por los sensores y el sistema de adquisición y almacenamiento de los datos. Ambas actuaciones se han llevado a cabo mediante contratos de servicios por parte del Centro Nacional de Información Geográfica.

## 2 Estudio previo de la red de sensores.

Antes de proceder con la instalación del sistema de medida, es fundamental determinar los puntos de la estructura que permiten determinar los gradientes de temperatura con suficiente exactitud. El número de sensores debe ser el mínimo necesario para reducir en lo posible el número de componentes del sistema, pero con la condición de no perder información importante y poder determinar convenientemente la temperatura en toda la estructura.

El mejor método para determinar los puntos donde realizar las medidas es mediante el análisis térmico por elementos finitos. Este análisis puede determinar el comportamiento de la estructura en función de los gradientes de temperatura que se establezcan. En función de este, se puede determinar cuáles son aquellos puntos de la estructura que más información aportan sobre dicho comportamiento, y cuantos puntos son los mínimos para determinar, a partir de ellos, el comportamiento de toda la estructura.

El estudio ha sido realizado mediante un contrato menor de servicios con por le empresa OHB Digital Connect GmbH, encargada del diseño del radiotelescopio. La empresa dispone de un modelo de elementos finitos con el que se realizaron estudios durante el diseño, y conoce con detalle los planos y materiales utilizados en la construcción.

Como condiciones de contorno para el modelo, se ha recopilado la variación de la temperatura ambiente durante los últimos cinco años, teniendo en cuenta los siguientes datos:

- La temperatura mínima registrada en los últimos cinco años ha sido  $-7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- La temperatura máxima registrada en los últimos cinco años ha sido  $39,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- La máxima variación diaria de la temperatura ha sido de  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 2.1 Descripción de la estructura metálica.

El radiotelescopio está formado por diferentes partes, representadas en la siguiente figura 1.

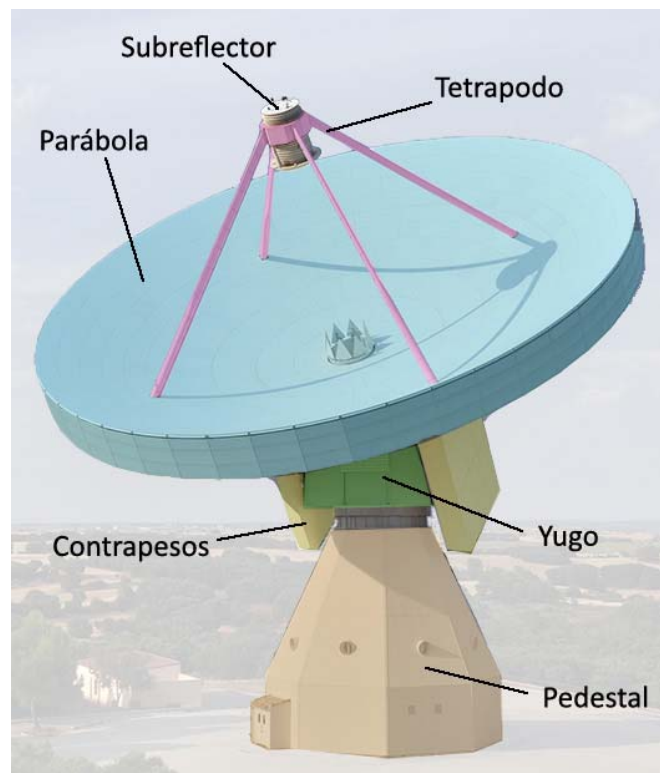


Figura 1. Partes del radiotelescopio.

El pedestal es una construcción de hormigón que sirve como base del radiotelescopio. Sobre el pedestal se encuentra el rodamiento de acimut, que permite el giro en acimut de toda la estructura metálica. La cabina acimutal está construida a partir de una estructura muy rígida denominada yugo. Contiene dos niveles, el inferior donde se encuentra el servosistema que mueve la antena, y el superior donde se encuentra la sala de receptores. El yugo soporta la parte móvil en elevación mediante dos cojinetes situados a cada lado. Las estructuras móviles en elevación son la parábola, los contrapesos y el subreflector. La parábola es una estructura formada por una viga anular muy rígida de la que parten radialmente un total de 48 cerchas que dan forma parabólica y soportan los paneles de la superficie reflectora. El subreflector es una pequeña cabina con un reflector hiperbólico que refleja la señal reflejada en la parábola hacia el interior de la cabina de receptores. Está unido a la estructura de la

parábola mediante una estructura con cuatro patas denominadas tetrápodo. Los contrapesos, están ensamblados a los cojinetes de elevación. Por un extremo están sólidamente unidos a la viga anular de la estructura de la parábola, y en el otro contienen un lastre que sirve para contrarrestar el peso de la parábola y subreflector.

El análisis del subreflector se ha excluido del estudio, al considerarlo un elemento pequeño sometido a pequeños gradientes de temperatura y por lo tanto poco influyente.

## **2.2 Trabajos a realizar.**

El estudio ha incluido los siguientes análisis:

- **Estudio del comportamiento térmico de la estructura.**

Se trata de un estudio de la influencia de la temperatura en la deformación de la estructura trasera de la parábola, el tetrápodo, los contrapesos y el yugo.

El estudio incluye tanto la deformación producida por un cambio homogéneo de la temperatura en toda la estructura como la aparición de gradientes (diferencias de temperatura) entre diversas partes y entre distintos puntos de la misma parte.

- **Establecimiento de requisitos para la instalación de la red de sensores.**

En base del estudio realizado en el punto anterior, se han establecido los requisitos necesarios para realizar una instalación adecuada de la red de sensores de temperatura. Entre dichos requisitos, se establecieron los siguientes:

- El número de sensores necesarios.
- Los puntos de instalación de dichos sensores en la estructura metálica.
- El tipo de sensores recomendado.
- El modo recomendado de fijación de los sensores a la estructura.
- La precisión óptima necesaria en los sensores de temperatura.
- La precisión necesaria en la lectura.
- El periodo de medida apropiado.

## **2.3 Comportamiento térmico de la estructura.**

El estudio ha realizado una simulación del error de superficie y de puntería para un gradiente de temperatura entre extremos ortogonales de la parábola y entre la superficie inferior y superior de ésta. Se ha considerado también las patas del tetrápodo. El estudio se ha repetido para un gradiente de un grado y de cinco grados excepto entre las caras superiores e inferiores, donde un gradiente de 5 grados es muy imprevisible. Los resultados obtenidos son los siguientes:

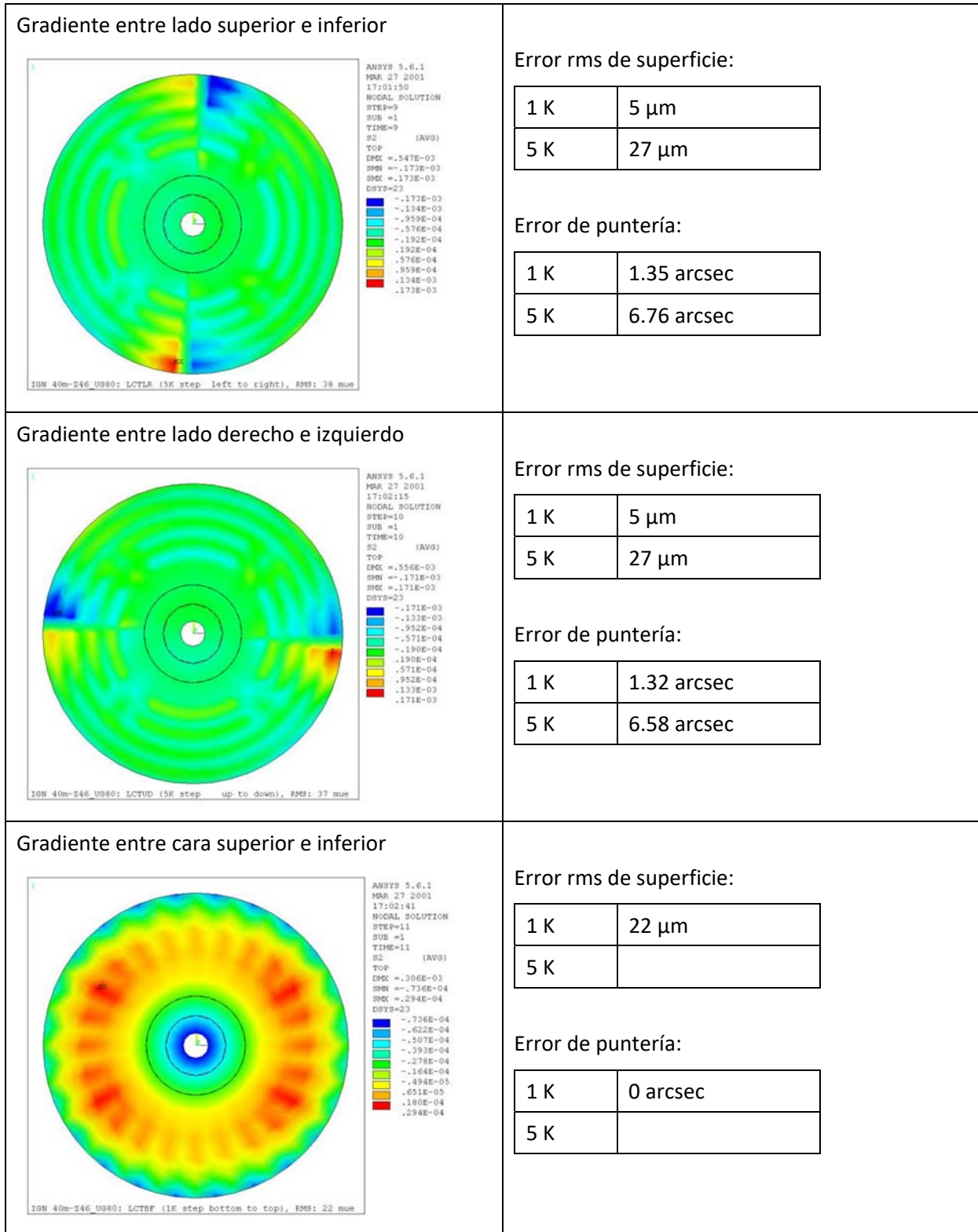


Figura 2. Resultados del análisis de elementos finitos.



Los resultados demuestran una influencia importante de los gradientes de temperatura. Hay que tener en cuenta que estos gradientes son muy comunes debido a la acción del sol y a la acumulación de aire caliente en las zonas superiores.

## 2.4 Requisitos de la red de sensores de temperatura.

### 2.4.1 Tipo de sensores.

Para medida de temperatura superficial, se recomendó el uso de sensores tipo PT100. Estos sensores son fácilmente sustituibles en caso de necesidad dada su extenso uso en la industria.

La precisión mínima recomendada es la clase A según el estándar IEC60751:2008. Estos sensores generan un error de calibración inferior a  $\pm 0.35^\circ\text{C}$  en el rango de uso en el radiotelescopio, alcanzando un error total (teniendo en cuenta el error de lectura) inferior a  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ . La siguiente figura muestra el error cometido para diferentes tipos de sensores:

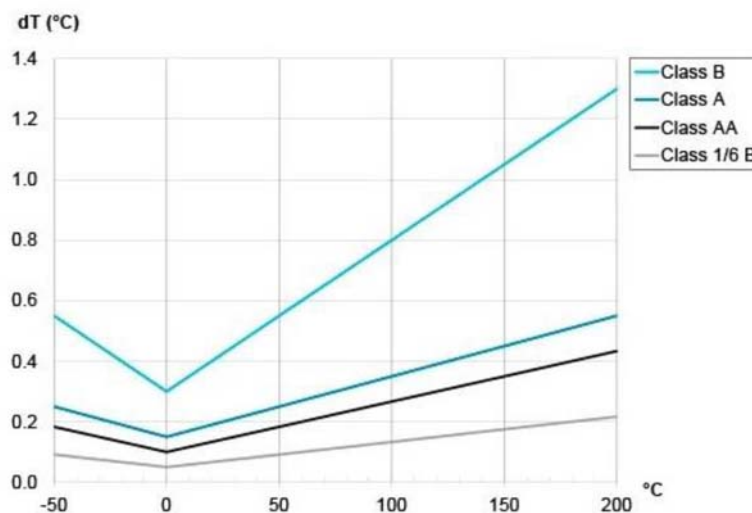


Figura 3. Error característico del sensor PT100 según su clase.

El método de fijación de los sensores puede ser pegado, magnético o por tornillo. Se recomienda este último, eliminando la pintura del punto de instalación y protegiendo la zona con puntura protectora tras la instalación.

También se recomienda aislar el sensor de temperatura del exterior con la instalación de una capa de espuma a su vez protegida del exterior mediante cinta de aluminio.

Se recomienda implementar una medida a tres hilos para eliminar el error producido por los propios cables.

## 2.5 Numero de sensores y puntos de instalación.

La determinación del número y puntos de instalación se ha realizado teniendo en cuenta la forma constructiva de la estructura, la experiencia en otros radiotelescopios y el análisis del

modelo de elementos finitos. Sin embargo, el análisis de elementos finitos no puede considerarse determinante debido a la cantidad de factores influyentes que no pueden considerarse.

La cantidad de sensores determinada es un total de 192, distribuidos de la siguiente manera:

- 96 sensores en la estructura trasera de la parábola.
- 24 sensores del aire en el interior de la estructura trasera de la parábola.
- 24 sensores en las patas del tetrápodo.
- 12 sensores en el interior del yugo.
- 36 sensores en los contrapesos.

### **2.5.1 Sensores en la estructura trasera.**

El alma de la estructura trasera es la denominada viga anular. Se trata de una estructura poligonal cerrada cuyo interior es transitable. Esta viga soporta todas las cerchas, tanto exteriores como interiores, que soportan los paneles de la superficie reflectora y le dan forma parabólica. Adicionalmente, las cerchas interiores sujetan en el centro el tubo vértice por el que atraviesa la señal captada y rebotada en el subreflector.

La distribución recomendada de los sensores en esta estructura ha seguido un patrón igual de sensores en un total de ocho cerchas exteriores situadas cada 45 grados y cuatro interiores ortogonales. Las cerchas exteriores seleccionadas han sido las cuatro que soportan las patas del tetrápodo, la paralela al eje de elevación y la ortogonal a esta. En el caso de las cerchas interiores, se han seleccionado cuatro ortogonalmente opuestas próximas a ser paralelas y ortogonales al eje de elevación.

Además de los sensores para medir la temperatura de la estructura, se ha recomendado instalar sensores para medir la temperatura del aire en el interior del recubrimiento de la estructura. La temperatura del aire se considera muy influyente en la temperatura de la estructura y ayuda bastante a simular el comportamiento térmico general de esta. En este caso, solo se recomienda su instalación en las cerchas exteriores

La Figura 4 muestra esta distribución. La viga anular está resaltada. Los sensores colocados en la estructura metálica se muestran en amarillo, y los que miden temperatura del aire en verde.

En cada cercha se establecen tres niveles. El nivel superior corresponde a las vigas superiores que soportan los paneles. El nivel inferior corresponde a las vigas inferiores a las que está sujeto el recubrimiento. El nivel medio corresponde a vigas que unen el superior y el inferior, a mitad de altura entre ambos. Los sensores de temperatura del aire están colocados en el nivel medio. En la viga anular también se establecen tres niveles, pero en las cerchas interiores solo se contemplan el superior y el inferior. La Figura 5 muestra esta distribución. También se muestra la localización recomendada para los sensores de temperatura ambiente en caso de que la cercha los incluya.

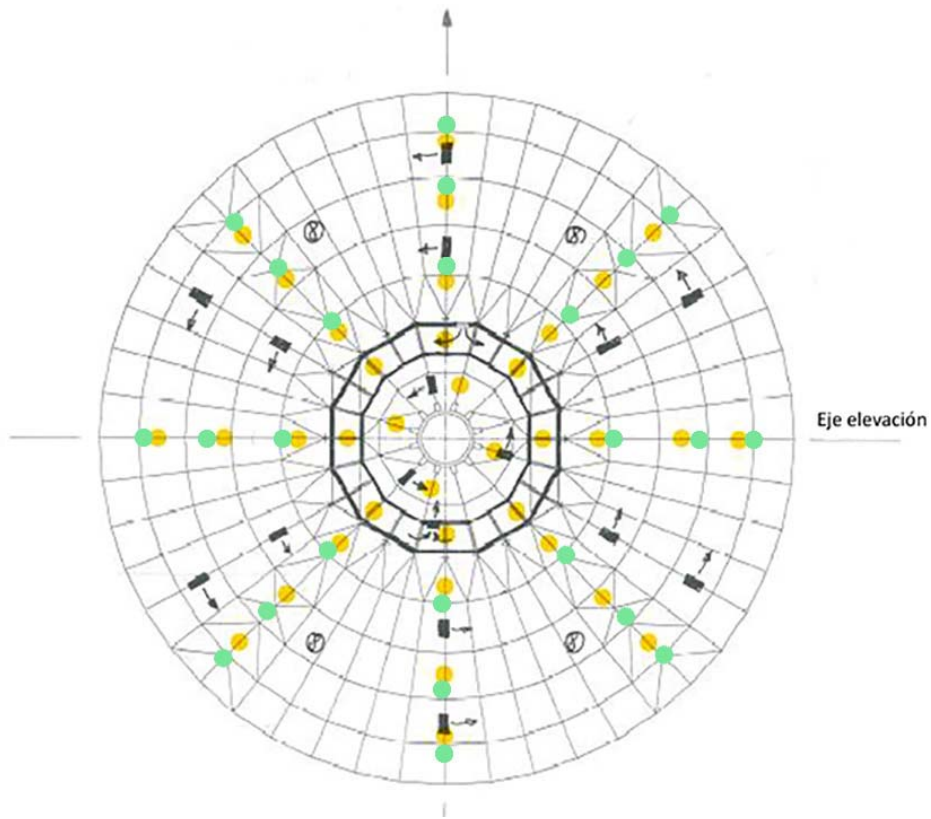


Figura 4. Distribución recomendada de sensores en parábola. Vista superior.

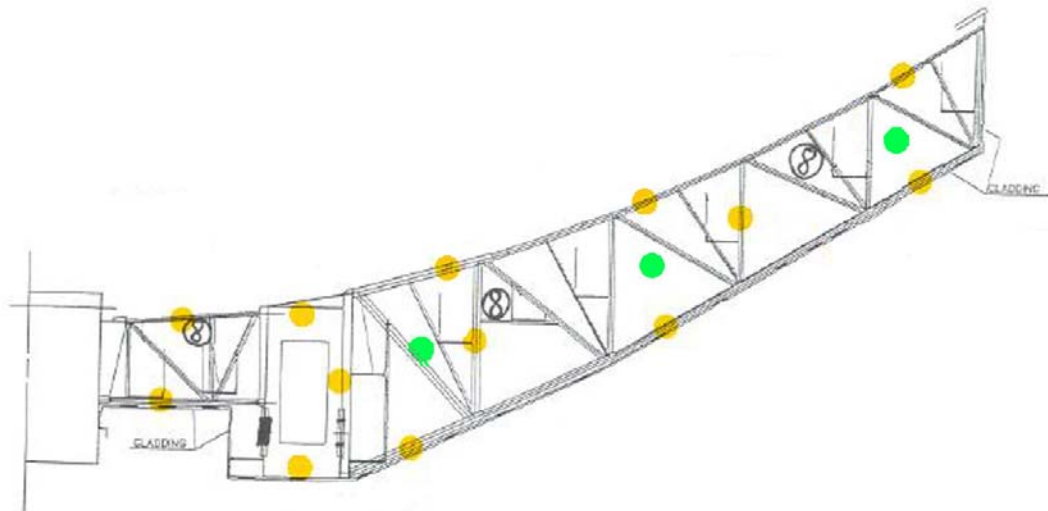


Figura 5. Distribución recomendada de sensores en una cercha.

Se recomienda instalar los sensores del nivel superior en la cara inferior de las vigas, y los del nivel inferior en la cara superior. De esta forma el trabajo es más sencillo y se evitan posibles influencias de las superficies de los paneles y recubrimiento. Se recomienda colocar los sensores de aire lejos de la estructura para evitar posibles influencias de esta.

### 2.5.2 Sensores en el tetrápodo.

El estudio determina que el conocimiento de la temperatura en las patas del tetrápodo es especialmente importante debido a la influencia directa que ejerce la posición del subreflector en la puntería y eficiencia del radiotelescopio.

Se recomienda medir la temperatura en tres alturas de cada pata, una en el medio y otra cercana a cada extremo. Se sugiere instalar cuatro sensores ortogonalmente dispuestos en la base de cada pata, ya que se trata de una estructura circular de 500 mm de diámetro. En el resto de niveles, se instalaría un solo sensor.

Será necesario tener especial cuidado con la protección de dichos sensores al estar directamente instalados en el exterior.

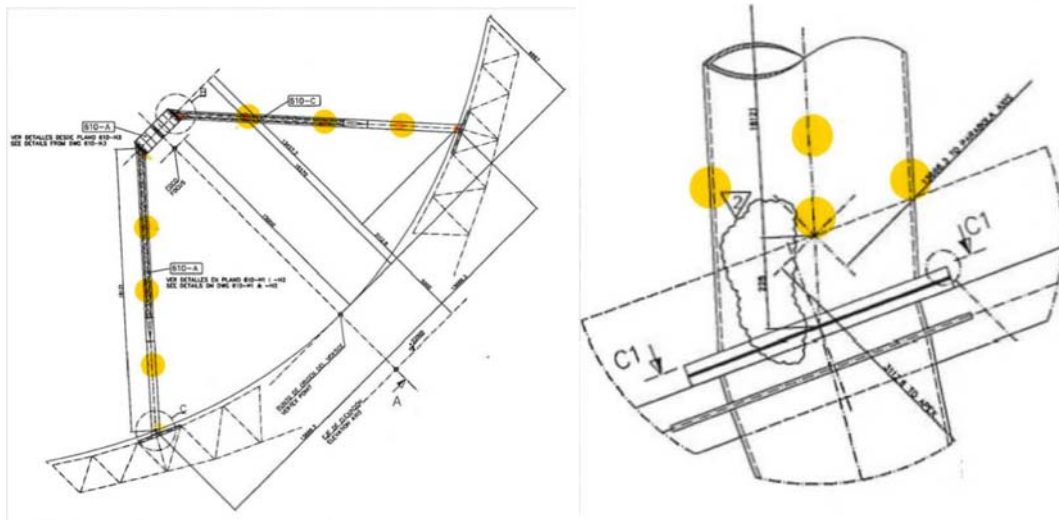


Figura 6. Distribución recomendada de sensores en las patas del tetrápodo.

### 2.5.3 Sensores en el interior del yugo.

El yugo dispone de dos laterales suficientemente reforzados para soportar el peso de toda la estructura móvil en elevación. Las deformaciones de dichos brazos afectan directamente a la puntería y eficiencia del radiotelescopio, por lo que medir su temperatura es importante a pesar de disponer de un inclinómetro en cada lado acoplados cerca del alojamiento de los cojinetes de elevación.

La cara exterior está cubierta por paneles aislantes, y además está protegida del viento y de la radiación solar por los contrapesos. Las caras interiores están vistas en la cabina de receptores, cuya temperatura es bastante estable, y también están cubiertas por paneles aislantes. Por estas razones, el estudio determina que el número de sensores necesarios en el yugo es reducido, colocándose en cada vértice de la estructura tanto en la cara exterior como en la interior, tal y como muestra la siguiente figura.

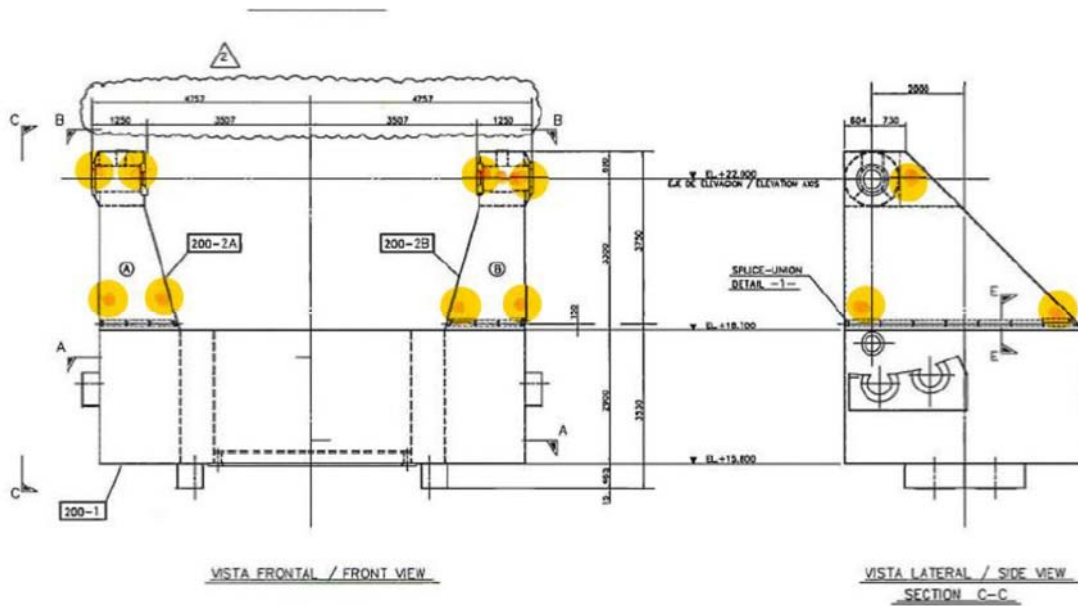


Figura 7. Distribución recomendada de sensores en el yugo.

### 2.5.4 Sensores en los contrapesos.

Una deformación no simétrica de los contrapesos afecta directamente a la forma de la parábola. En caso de que la deformación sea distinta en cada contrapeso, también afecta a la puntería.

Se estima que la zona cuyas deformaciones deben considerarse es alrededor de los cojinetes de elevación. El estudio determina una distribución equitativa en toda la estructura del contrapeso excepto en el extremo, que puede deformarse libremente y omitirse en las simulaciones. Con esta distribución es fácil extrapolar las medidas a otras zonas de la estructura. Se indica además la conveniencia de instalar sensores en ambas caras para determinar cómo se deforman las caras exteriores (más expuestas) y las interiores. La siguiente figura muestra la disposición recomendada.

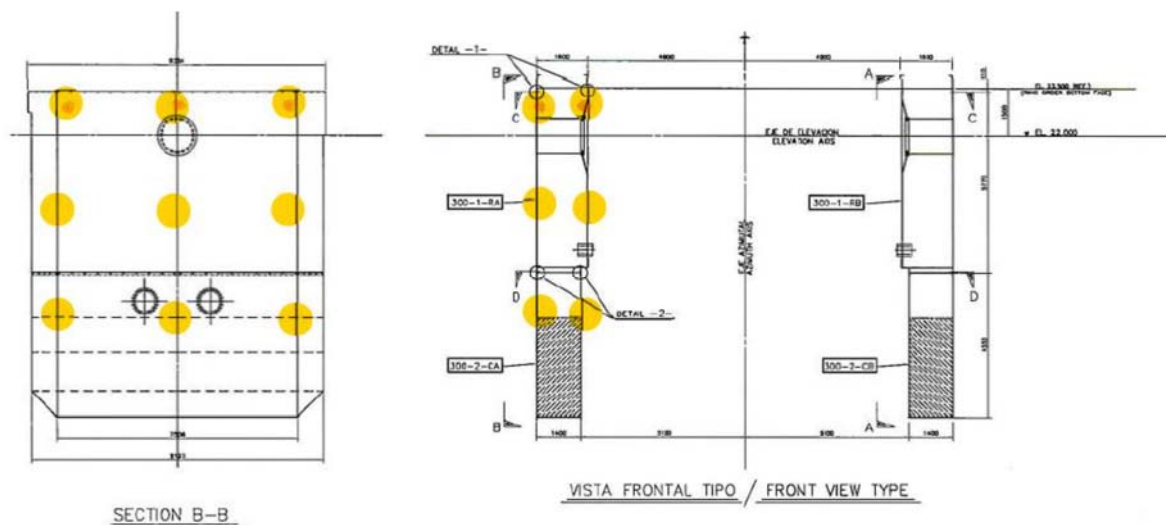


Figura 8. Distribución recomendada de sensores en los contrapesos.

## **2.6 Características de la toma de datos.**

El estudio recomienda toma de datos cada minuto con el objetivo de detectar los cambios rápidos de temperatura durante la salida y ocaso del sol.

El periodo de medida debe incluir el verano y el invierno, al ser los periodos con temperaturas más extremas y con las variaciones diarias más importantes.

Se recomiendan dos tipos de sistemas:

1. Instalación de unidades de adquisición de datos con capacidad de hasta 16 sensores repartidos por la estructura cerca de los sensores, con un sistema de lectura centralizado.
2. Instalación de una adquisición y lectura de datos centralizada, llevando los cables de todos los sensores a dicha unidad.

## **3 Red de sensores de temperatura.**

Con la información obtenida del estudio descrito en el apartado anterior, se procedió con un segundo expediente de contratación para la instalación de un sistema de medida de temperatura para el radiotelescopio. Dado el coste de los trabajos, se ha tratado de un contrato de servicios por el procedimiento abierto con publicidad, y fue adjudicado a la empresa Arquimea Aerospace, Defence and Security S.L.U.

El contrato ha incluido el suministro, la instalación y la puesta en marcha de todos los elementos necesarios para el sistema, contemplando los sensores de temperatura, las unidades de adquisición de datos, un equipo de recopilación de datos e interface del usuario y todos los componentes adicionales para su puesta en marcha (cableado, cuadros eléctricos, fuentes de alimentación, etc.).

### **3.1 Características de la red de sensores.**

Las características del sistema están principalmente basadas en el informe previo descrito en el apartado 2, con algunas modificaciones llevadas a cabo para mejorar el comportamiento general del sistema. Estas modificaciones son principalmente las siguientes:

1. Se ha reducido el número de sensores en algunas zonas, instalando un total de 165.
2. Se ha disminuido la frecuencia máxima de muestreo a 1 lectura cada 5 minutos.
3. Se ha mejorado el tipo de sensores de temperatura.

El principal motivo para reducir el número de sensores ha sido el coste económico especialmente de la mano de obra de la instalación. Aun así, el presupuesto destinado al sistema ha sido mayor de lo inicialmente estipulado debido al aumento desorbitado de los precios de los materiales provocado por la parada de producción debido a la pandemia del COVID-19.

### 3.2 Tipo de sensores utilizados.

Se han instalado sensores PT100 tal y como recomienda el informe, pero con las mejoras descritas a continuación.

En lugar de a tres hilos, la medida se realiza a cuatro hilos. La medida a cuatro hilos es más precisa que a tres hilos ya que compensa completamente el error provocado por la resistencias de los cables. Esto es especialmente importante en esta instalación donde se esperan longitudes de cable de más de 60 metros.

También se ha mejorado la clase de los sensores. El tipo sugerido en el informe es el tipo A (según IEC 60751:2008), con una precisión de  $\pm(0,15^{\circ}\text{C} + 0,2\%)$ . Todos los sensores instalados han sido de tipo 1/10B DIN, con una precisión de  $\pm(0,03^{\circ}\text{C} + 0,5\%)$ . Esto significa un error menor para temperatura medidas por debajo de  $40^{\circ}\text{C}$ , rango en el que se encuentra la temperatura ambiente durante prácticamente el 100% del año.

El elemento sensor se encuentra dentro de una vaina de acero inoxidable A-316 de 100 mm de longitud y 3 mm de diámetro. Se han fabricado bajo pedido con el cable de la longitud que se ha estimado necesaria. No obstante, en algunos casos ha sido necesario empalmar el cable con otro para llegar al módulo de adquisición de datos. El cable está formado por cuatro conductores trenzados y apantallados con vaina de cobre estañada, con una cubierta de PVC excepto los sensores instalados en las patas y exterior de contrapeso que disponen de una cubierta de teflón FEP resistente a los rayos UV. La estanqueidad del sensor está garantizada mediante un sello de resina epoxi. Para proteger la unión del cable con el cuerpo del sensor, se han suministrado con un muelle metálico en dicha zona.



Figura 9. Imagen de un sensor de temperatura.

### 3.3 Equipos de adquisición de datos.

Para la adquisición de datos se han utilizado productos del fabricante Campbell Scientific. Se han utilizado multiplexores de hasta 16 canales de 4 hilos conectados a equipos de lectura (registradores). Cada registrador controla una serie de multiplexores conectando la entrada de datos a medir con el sensor seleccionado A/D el Como equipos de lectura se ha optado por el registrador CR6. Se trata de un equipo inteligente de lectura y almacenamiento de datos con las siguientes especificaciones:

- 72 MB de memoria no volátil para datos.
- Almacenamiento adicional en tarjeta SR hasta 16 GB.
- Temperatura de funcionamiento entre  $-40$  y  $70^{\circ}\text{C}$ .
- Conversión A/D a 24 bits.
- Precisión de medida de 0,025%.

### 3.4 Instalación de la red de sensores.

#### 3.4.1 Arquitectura del sistema.

Los sensores utilizados son componentes pasivos consistentes en una resistencia eléctrica cuyo valor varía con la temperatura. No disponen de un módulo que permita su conexión a un bus de datos, de hecho así se ha querido para no arriesgarse a producir ruido electromagnético en la estructura. Cada sensor debe ser leído independientemente, de manera que el sistema tiene que disponer de un canal de lectura para cada sensor. Para reducir el coste del sistema, se utilizan multiplexores que conectan cada canal a una salida común que a su vez está conectada a un dispositivo de adquisición de datos, comúnmente conocidos como registrador. De esta manera, un único registrador lee varios sensores.

La adquisición de datos se ha centralizado en la viga anular, en la misma zona donde están los cuadros eléctricos de distribución a la estructura trasera. Allí se encuentran los tres registradores del sistema, y hasta allí llegan todos los cables de los sensores instalados en estructura trasera, contrapesos y tetrápodo. Estos sensores se conectan a un total de diez multiplexores. Estos equipos están repartidos en dos cuadros eléctricos. Los sensores instalados en el yugo se conectan a otro multiplexor situado en la cabina de receptores (dentro del yugo), que se conecta con uno de los registradores del sistema. El esquema de la siguiente figura representa la instalación.

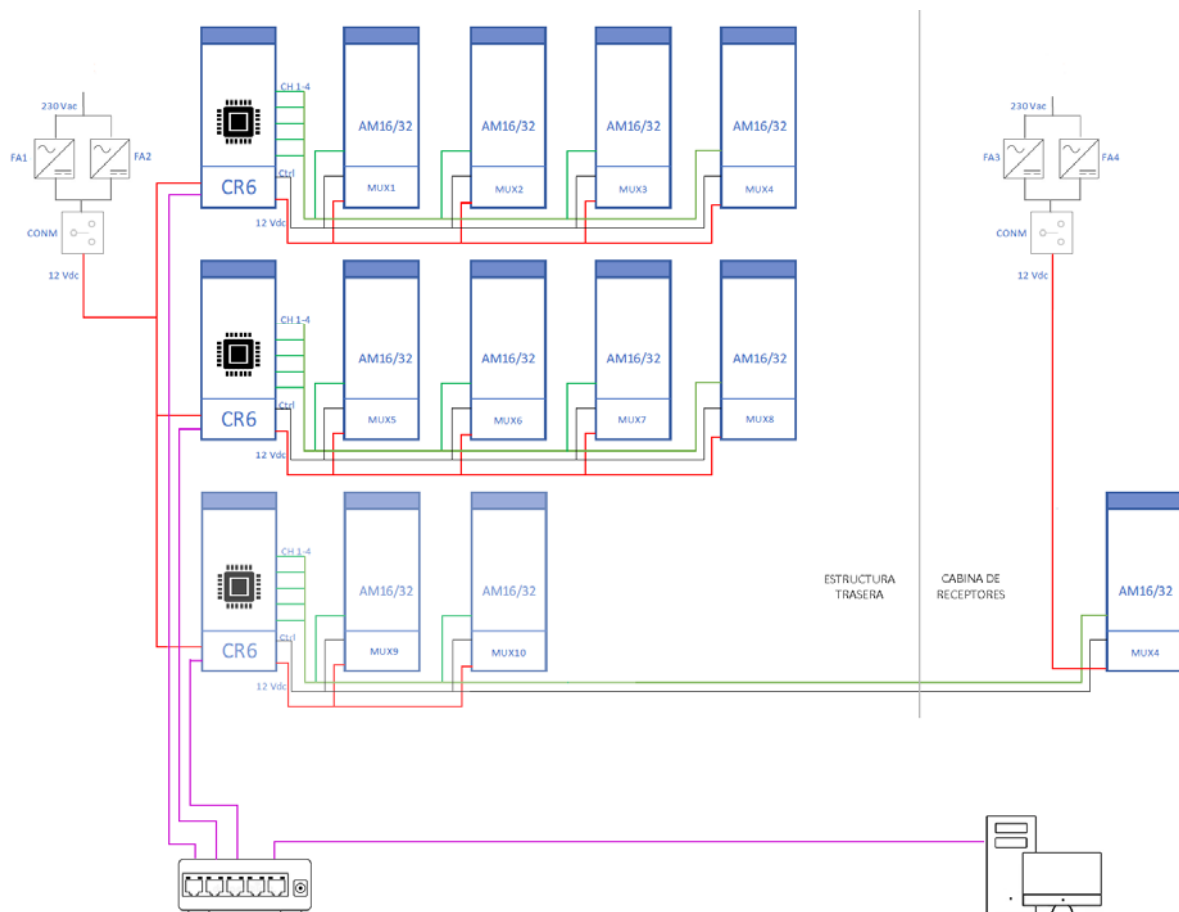


Figura 10. Arquitectura hardware del sistema



### 3.4.2 Ubicación de los sensores.

La Figura 11 muestra una visión global de la ubicación de todos los sensores de temperatura. Los sensores están representados mediante puntos rojos. Las partes de la estructura están coloreadas de forma diferente para su mejor identificación.

Dada la rugosidad de las superficies metálicas, para cada punto de instalación se ha buscado un punto de fijación en el que los 4 imanes de la capota entran en contacto con la superficie y el sensor se encuentra presionado entre la capota y la superficie.

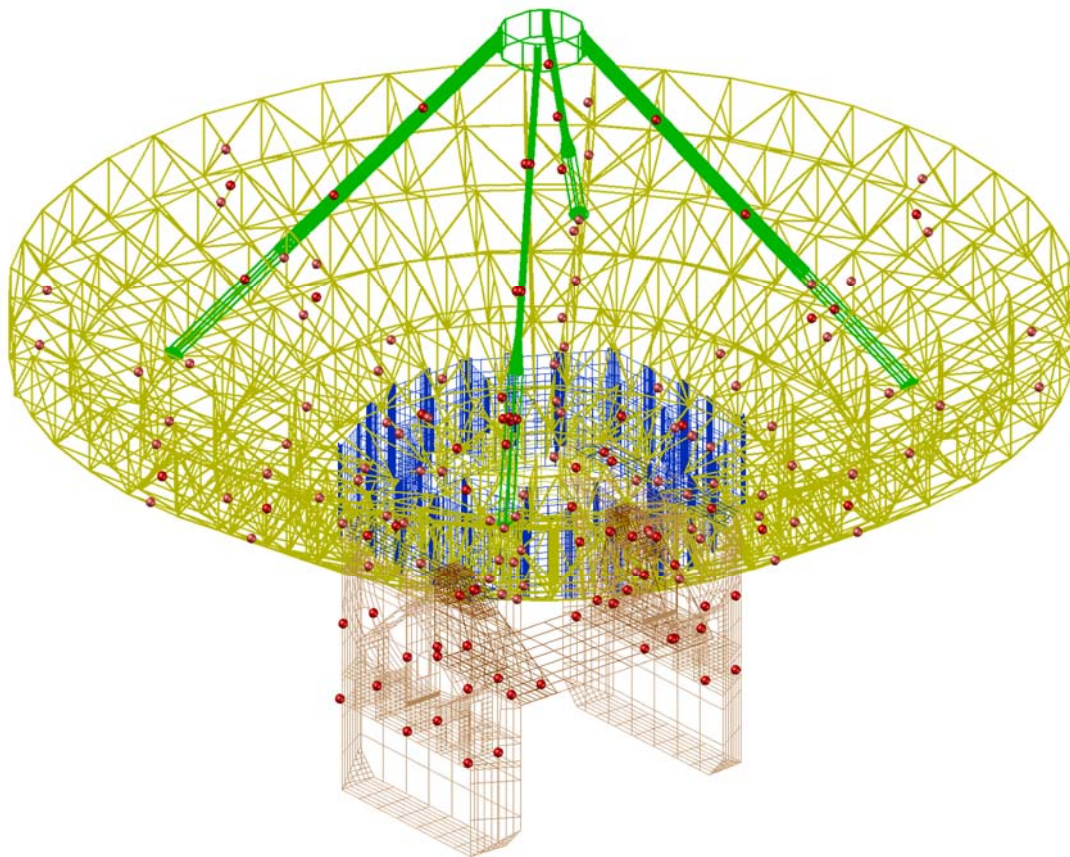


Figura 11. Distribución 3D de los sensores instalados

### 3.4.3 Sensores en la estructura trasera.

Los sensores para medir la temperatura de la estructura metálica se han distribuido y colocado en los puntos recomendados en el informe previo. En el caso de los sensores instalados en la viga anular, se han colocado en las chapas, nunca en los perfiles L de refuerzo. Los sensores del suelo se han colocado por debajo del saliente de los perfiles L para protegerlo de posibles pisadas.

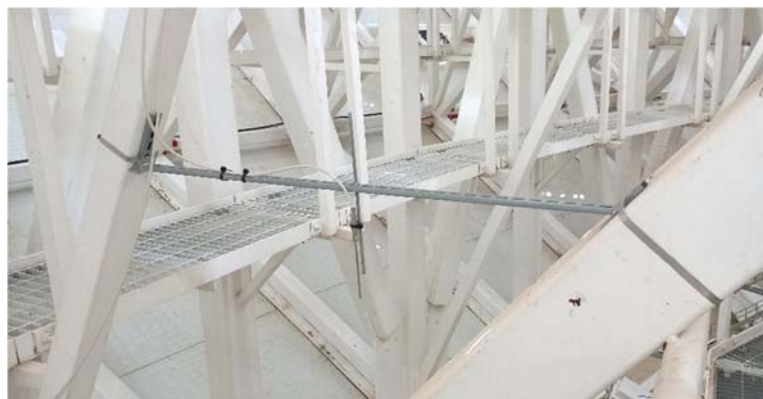
Los sensores de medida de la temperatura ambiente también se han colocado según las recomendaciones del informe previo. La instalación se ha realizado colocando unos perfiles adicionales de los que cuelgan los sensores. Los perfiles se han fijado a la estructura mediante bridas de acero inoxidable. Se han realizado cortes para doblarlos adaptándolos a la estructura. Los cortes se han protegido con galvanizado en frío para evitar su oxidación.



Sensores en la viga anular



Sensores en la cercha exterior



Sensor de ambiente

Figura 12. Ejemplos de instalación de sensores en la estructura trasera.

El tendido de los cables se ha realizado en parte utilizándolas canaletas existentes de otras instalaciones y en parte mediante la fijación de soportes adicionales en la estructura. La

entrada a la viga anular se ha realizado por los orificios existentes para el paso de cables, situados todos en la sección donde se encuentran los cuadros eléctricos (parte superior según la figura anterior).

Las fijaciones adicionales han consistido en bases adhesivas para la fijación con bridas de plástico. Estas se han repartido aproximadamente cada metro de distancia.

En el interior de la viga anular se ha instalado una canaleta adicional para soportar los cables desde uno de los orificios de paso, situado lejos de los cuadros y por el que atraviesan un alto número de cables.

### 3.4.4 Sensores en el tetrápodo.

El tetrápodo está formado por cuatro patas iguales distribuidas simétricamente cada 90 grados en planos girados 45 grados con el horizonte. La pata tiene tres secciones, una redonda en su base, otra rectangular con extremos redondeados en el extremo superior, y una transición suave de una a otra entre ellas. La sección rectangular tiene los lados paralelos al plano en el que se encuentra la pata.

Su comportamiento térmico va a depender especialmente de la incidencia de la radiación solar. Y de la temperatura del aire encerrado en su interior. Dada esta disposición, se espera que la distribución de la temperatura en la superficie de las patas tenga una componente simétricamente opuesta según la dirección de incidencia de la radiación solar. Por este motivo, se considera que se puede reducir el número de sensores colocándolos en las superficies adecuadas.

Se ha tomado una pata como referencia, colocando sensores en cuatro puntos de su sección circular y en los dos lados de su sección rectangular. En el resto de patas se han colocado sensores en un solo lado, alternando el lado según se cambia de pata. La disposición se muestra en el siguiente dibujo 3D. La pata inferior derecha según se mira a la parábola desde el suelo es la que se ha tomado como referencia.



Figura 13. Distribución de los sensores instalados en las patas del tetrápodo.

La instalación de los sensores se ha realizado teniendo en cuenta que se encuentran expuestos a la intemperie. Para reforzar su fijación, se han utilizado flejes de acero inoxidable alrededor de la pata, como se explica más adelante en el apartado 3.4.9 *Métodos de fijación*.

Las dos patas inferiores según la figura anterior disponen de una canaleta para el paso de cables desde la estructura trasera de la parábola hasta el subreflector. El tendido de los cables en ambas patas. Los cables se han introducido por las ranuras existentes y se han fijado con bridas de plástico. Los cables en las otras dos patas se han tendido por el exterior, fijándolos mediante soportes adhesivos para bridas de plástico. Tanto los soportes como las bridas son aptos para exteriores, fabricados con plástico resistente a los rayos UV. La fijación de los soportes también ha sido especial con el fin de asegurar su resistencia a la intemperie. Se ha retirado la capa adhesiva y se ha utilizado un pegamento bicomponente para su fijación.



Sensores en para.



Sensores en base de pata.

Figura 14. Ejemplos de instalación de sensores en las patas del tetrápodo.

Al final de las patas los cables han seguido su recorrido hasta los cuadros utilizando las canaletas para los cables ya existentes del subreflector.

### 3.4.5 Sensores en los contrapesos.

En el caso de los contrapesos, los sensores han sido ubicados según el estudio previo. Todos los sensores se han colocado en el interior de la estructura, excepto cuatro que se han instalado por el exterior debido a la imposibilidad de alcanzar a la zona desde el interior por no existir un acceso. En la siguiente figura se muestra la colocación de los sensores. En naranja se resalta la zona donde el sensor tiene que ser colocados en el exterior en ambas caras del contrapeso.

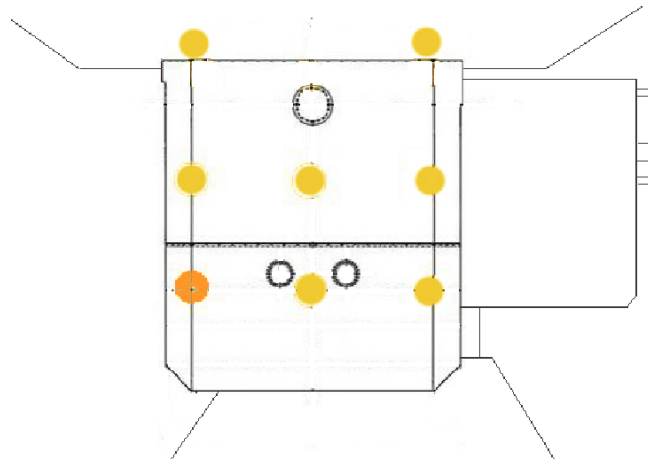


Figura 15. Distribución de los sensores instalados en el contrapeso izquierdo.

Los sensores han sido colocados sobre la superficie de la chapa exterior. En el caso de los sensores colocados en el exterior, dado que se encuentran expuestos a la intemperie, se han fijado adicionalmente con tornillos tal y como se explica más adelante en el apartado 3.4.9 *Métodos de fijación*.

El tendido de los cables en el interior de los contrapesos se ha realizado por las aperturas existentes con el fin de evitar taladros en las chapas que forman su estructura interna. Se ha procurado que estos no interfieran con el paso de personas. La fijación de los cables se ha realizado con soportes adhesivos para bridas. El paso a la viga anular se ha realizado por el hueco existente en la trampilla de acceso, sin interferir en su cierre. En la viga anular se han tendido por las canaletas existentes.

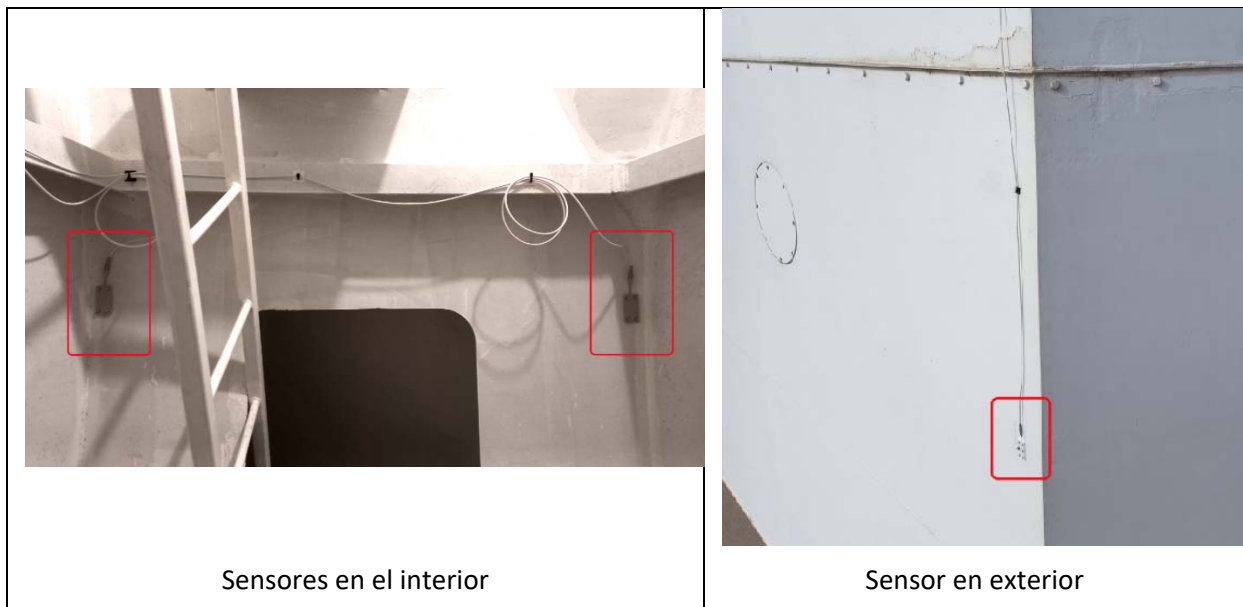


Figura 16. Ejemplos de instalación de sensores en las patas del tetrápodo.

El cable de los sensores colocados en el exterior se ha realizado mediante un agujero practicado en la chapa exterior lo más cerca posible en vertical a la zona accesible por el interior. Una vez pasado el cable, el agujero se ha sellado con silicona resistente a exteriores.

El tramo entre el sensor y el orificio de paso se ha fijado con una brida con el mismo material que el utilizado en las patas del tetrápodo.

### 3.4.6 Sensores en el yugo.

Los sensores del yugo se han colocado en las posiciones recomendadas en el informe previo, haciendo contacto con la chapa de la pared. En el caso de los sensores superiores, se han colocado pegados a la pared pero haciendo contacto con la chapa que cruza de un lado a otro.

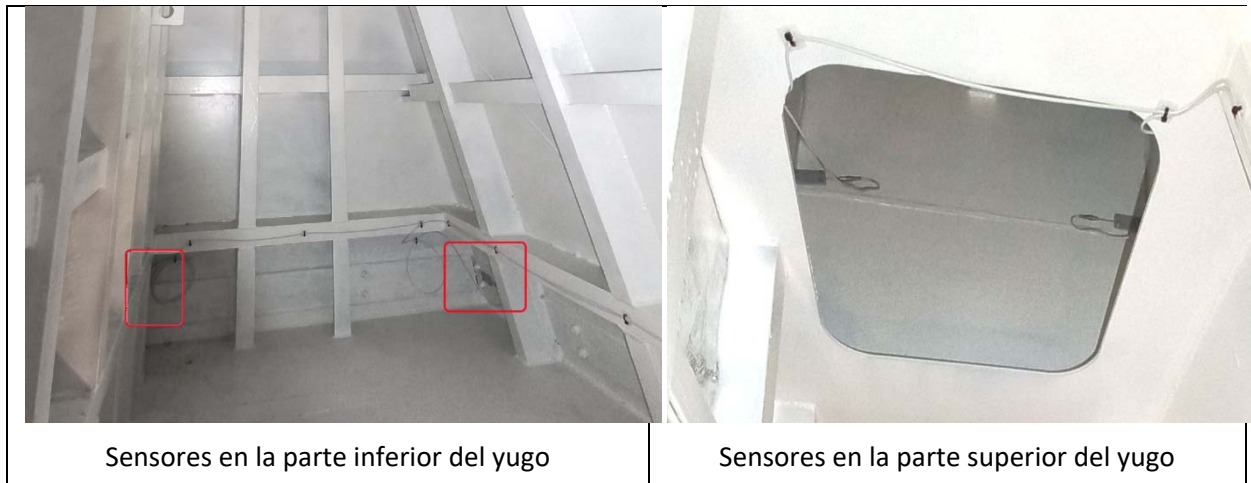


Figura 17. Ejemplos de instalación de sensores en el yugo.

El tendido de los cables se ha realizado hasta un cuadro situado en la sala de receptores. Los cables se han fijado utilizando soportes autoadhesivos para bridas. El paso de los cables desde los laterales del yugo hasta la sala de compresores se produce por varios agujeros practicados en la base de la pared del yugo por debajo del suelo técnico

### 3.4.7 Colocación de los sensores.

Los sensores de medida de temperatura de la estructura se han fijado a esta mediante capotas metálicas con fijación magnética. Se trata de una pieza metálica de forma rectangular con cuatro imanes de neodimio en cada extremo en la superficie de contacto y un surco a lo largo de esta de 70 mm de longitud para acoger el cuerpo del sensor. Las piezas se han mecanizado con precisión de manera que tanto los imanes como el sensor quedan enrasados con la superficie de contacto a la estructura. La siguiente figura muestra el modelo 3D de la capota.

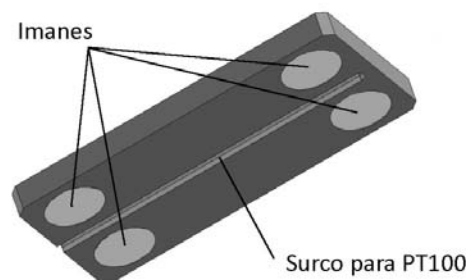


Figura 18. Capota metálica de fijación de los sensores.

### 3.4.8 Estudio del material de la capota.

Previo a la instalación de los sensores, la empresa realizó un análisis de la efectividad de varios materiales de la capota a la hora de medir la temperatura real de una superficie metálica. Los materiales utilizados han sido acero al carbono y plástico PLA. Para el estudio se realizó un montaje en el que se medía la temperatura ambiente, la temperatura superficial de un perfil de acero de construcción y la superficie medida por dos sensores sujetos mediante carcasas de diferente material. La medida real de la superficie del bloque se midió con una sonda similar introducida en un agujero realizado aproximadamente a 1 mm de la superficie expuesta al sol y relleno de pasta térmica.



Figura 19. Montaje de prueba de sensores.

Se practicaron varios montajes y se compararon los resultados obtenidos durante varios días. La siguiente figura muestra los resultados obtenidos:

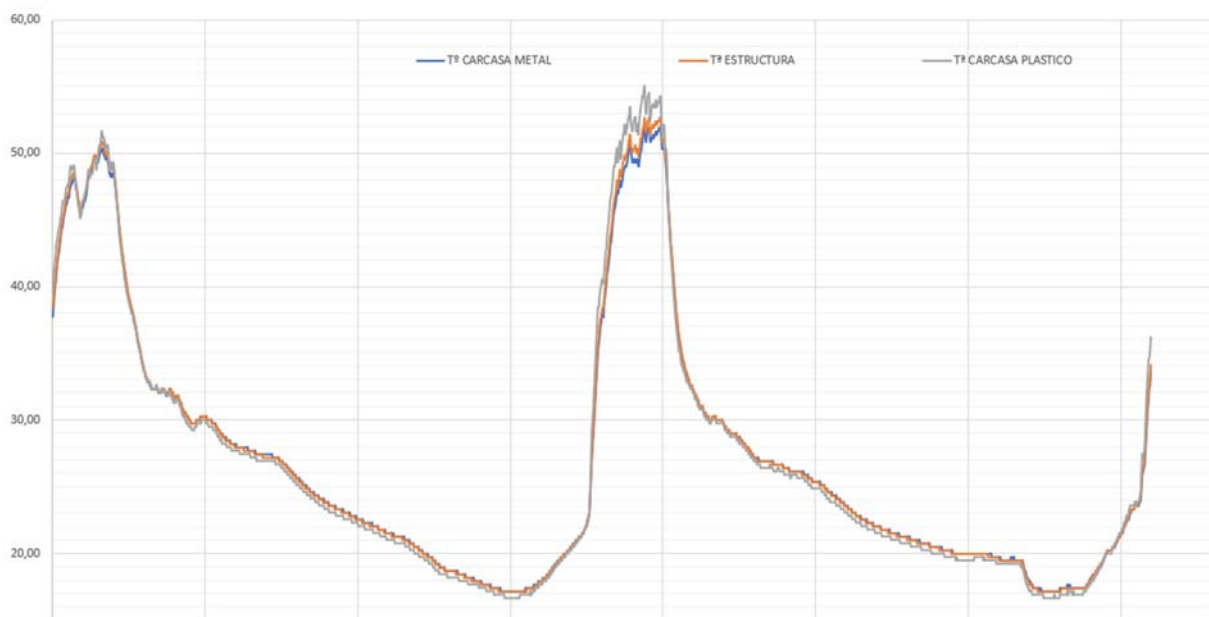


Figura 20. Resultado de prueba de sensores.

La medida de temperatura con la carcasa metálica sigue fielmente la temperatura de la superficie excepto con temperaturas altas, con un error de aproximadamente 1°C. En el caso de la carcasa de plástico, se observaron errores de hasta 3°C con un error de seguimiento generalizado de aproximadamente 0,5°C. Además, se concluyó que no es necesario cubrir el sensor con aislante. Según la experiencia de la empresa, la sombra que dicho aislante produce sobre la superficie alrededor de donde está colocado el sensor puede perjudicar más, y el hecho de utilizar el mismo material que la estructura cubriendo todo el sensor asegura una buena transmisión térmica de la estructura al sensor.

### 3.4.9 Métodos de fijación.

La fijación mediante estas capotas ha demostrado ser efectiva, con una adhesión que impide su desplazamiento sin aplicar una fuerza importante. Además permite cambiar la ubicación de los sensores fácilmente si se considerase necesario. Con este objetivo, se ha dejado una longitud extra de 1 metro de cable enrollado junto a cada sensor. Las siguientes imágenes son ejemplos de instalación.



Figura 21. Ejemplos de fijación general.

En el caso de los sensores a colocar en la base de las patas del tetrápodo, la superficie de contacto no es plana, sino que hace la forma circular de la pata. Dado su exposición a los fenómenos atmosféricos y a la acción de los pájaros, se ha instalado una brida de acero inoxidable abrazando todas las capotas instalados a la misma altura. De esta forma quedan totalmente fijados sin necesidad de perforar la estructura hueca de la pata lo que podría provocar corrosión. Posteriormente, se ha sellado todo el perímetro de contacto entre la capota y la pata para evitar la entrada de agua. Finalmente se ha pintado la capota de blanco. La siguiente imagen muestra un ejemplo de esta instalación.



Figura 22. Ejemplo de fijación en pata del tetrápodo.



En el caso de los sensores instalados en el exterior de los contrapesos no se puede utilizar una cincha dada la envergadura de la estructura. En este caso no hay otra posibilidad que fijarlos con tornillos. Para ellos se han practicado dos taladros de 6 mm de diámetro, se ha taladrado y roscado con rosca M5 la chapa de la pared y se ha procedido a la instalación. El hermetismo de la unión roscada se ha conseguido aplicando sellante para roscas antes de colocar el tornillo. Al igual que los sensores de las patas del tetrápodo, se ha sellado el perímetro de la capota y se ha pintado de blanco.

Cabe destacar que antes de colocar los sensores exteriores de la cara interior, se ha procedido a limpiar la zona con quitagrasas para eliminar cualquier rastro de grasa. En la siguiente figura se observa uno de los sensores colocados en la cara exterior.

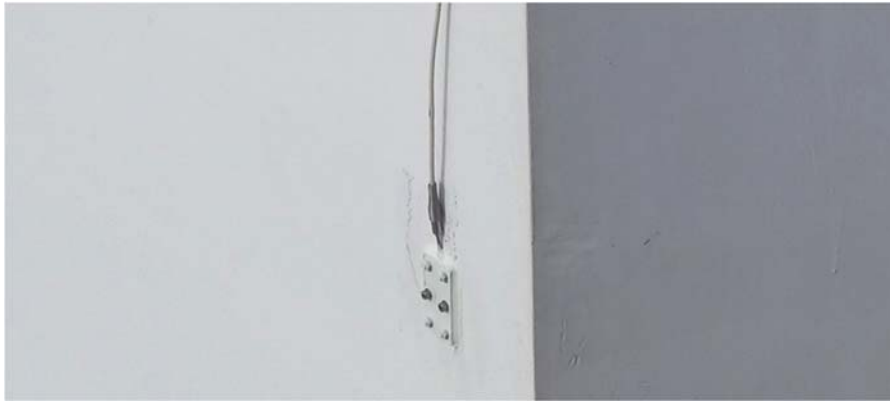


Figura 23. Ejemplo de fijación en el exterior de los contrapesos.

### **3.5 Adquisición de datos.**

La adquisición de datos se realiza según la topología indicada en el apartado *3.4.1 Arquitectura del sistema*. A continuación se describe brevemente los elementos utilizados y el software de adquisición de datos.

#### **3.5.1 Elementos del sistema de adquisición.**

Como multiplexores, donde se conectan todos los sensores de temperatura, se ha utilizado el modelo AM16/32 de CAMPBELL SCIENTIFIC. Se trata de un multiplexor configurable de 32 canales de dos hilos o 16 canales de cuatro hilos con un tiempo máximo de conmutación de relés de 20 ms. Disponen de una señal de sincronización y otra de reset del estado. Aparte están las señales de comunicación con el registrador. En esta aplicación se utilizan sensores de cuatro hilos, por lo que cada uno de ellos puede manejar un total de 16 sensores. Estas unidades requieren una tensión de alimentación entre 9,6 – 16 Vdc, siendo alimentados por 12 Vdc en este sistema.

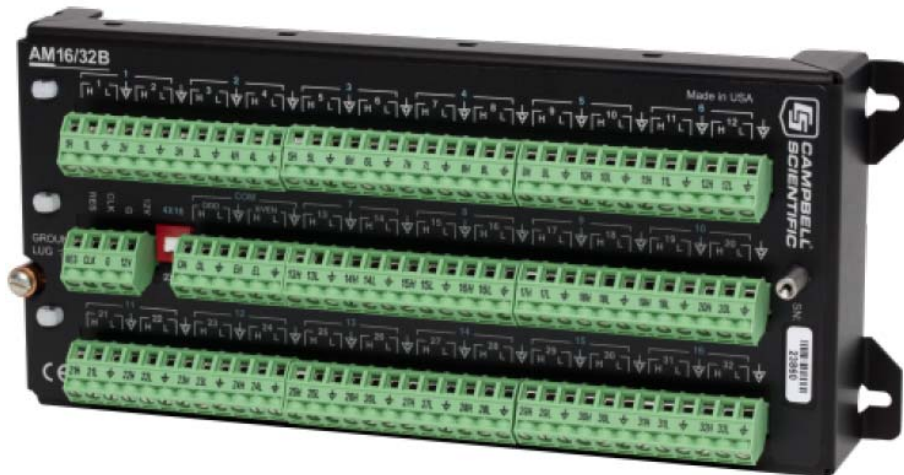


Figura 24. Multiplexor.

Los registradores gestionan varios multiplexores a la vez y controla el canal a leer de cada uno de ellos. El equipo utilizado es el modelo CR6 de CAMPBELL SCIENTIFIC. Este equipo es capaz de gestionar hasta 6 multiplexores (96 sensores). Dispone de un puerto de comunicación independiente para cada multiplexor, además de generar la señal de sincronismo y las de reset. La comunicación de las lecturas las puede realizar por Ethernet o RS-232. Es capaz de muestrear señales con un frecuencia de 1 KHz y con una resolución del convertor A/D de 24 bits. Requiere una tensión de alimentación entre 16 – 32 Vdc, siendo suministrada 24 Vdc. Es capaz de alimentar a los multiplexores proporcionándoles la tensión de 12 Vdc necesaria. Se le ha insertado una tarjeta de 16 GB como backup para el almacenamiento de datos. En caso de pérdida de lecturas por parte del servidor, permitirá adquirir los datos almacenados en la tarjeta mediante una conexión directa a un portátil.

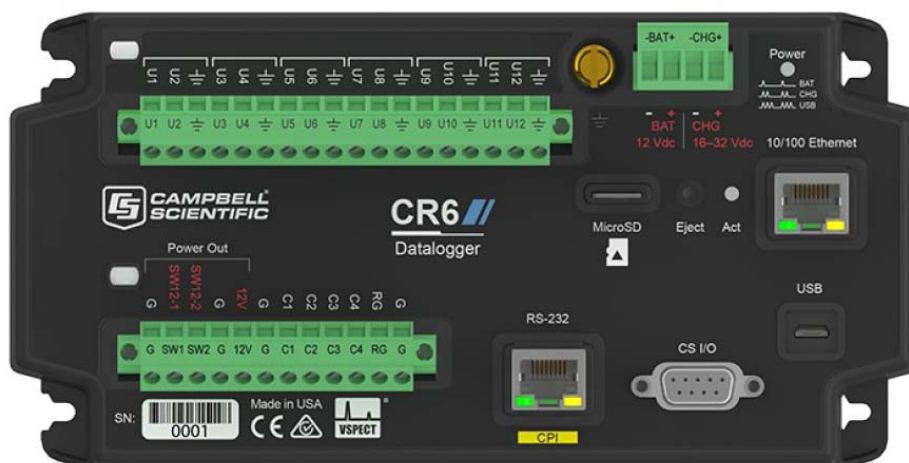


Figura 25. Registrador.

Como fuente de alimentación se han utilizado un sistema redundante por cada ubicación (viga anular y cabina de receptores). Las fuentes de alimentación utilizadas en la instalación de la viga anular son diferentes a las de la sala de receptores. En el caso de la viga anular, donde están los tres registrador del sistema, se utilizan dos fuentes de alimentación monofásicas modelo 83133 del fabricante MURR ELEKTRONIC, con una tensión de salida de

24 Vdc y una corriente máxima de salida de 5 A. En el caso de la sala de receptores, donde solo hay un multiplexor, se utilizan dos fuentes de alimentación modelo HDR-15-12 del fabricante MEAN WELL con una tensión de salida de 12 Vdc y de una capacidad de 1,25 A. En ambos casos, se dispone además de un módulo de alimentación redundante modelo DRD40N-48 del fabricante MEAN WELL.



Fuente de alimentación en viga  
anular



Fuente de alimentación en sala  
de receptores



Módulo redundante

Figura 26. Dispositivos de alimentación.

El servidor está formado por un PC de sobremesa ThinkStation P360 de LENOVO junto con un monitor de 22 pulgadas, un teclado y un ratón. El PC dispone de un procesador Intel® Core™ i7-12700 vPro®, memoria RAM de 32 GB DDR5, un disco duro de 4 TB SATA y dos tarjetas de red Ethernet para independizar la red formada por los registradores con la red del resto del observatorio.



Figura 27. Servidor.

La comunicación entre el servidor y los tres registradores se realiza por una red Ethernet local administrada por un switch modelo TSW100 del fabricante TELTONIKA, que dispone de 5 puertos Ethernet, 4 de ellos alimentados.



Figura 28. Switch.

### 3.5.2 Instalación de la adquisición de datos.

Los tres registradores y todos los multiplexores que adquieren los datos de la estructura móvil en elevación se encuentran en la viga anular. Se han instalado dos armarios metálicos colgados de la pared simétrica a la que tiene los cuadros de distribución eléctrica. Estas paredes tienen la ventaja de que los cuadros allí colocados descansan sobre la pared cuando la antena está apuntando al horizonte. La alimentación a ambos cuadros llega desde el cuadro CBUS-SAI, donde se ha instalado un automático con diferencial para su acometida.

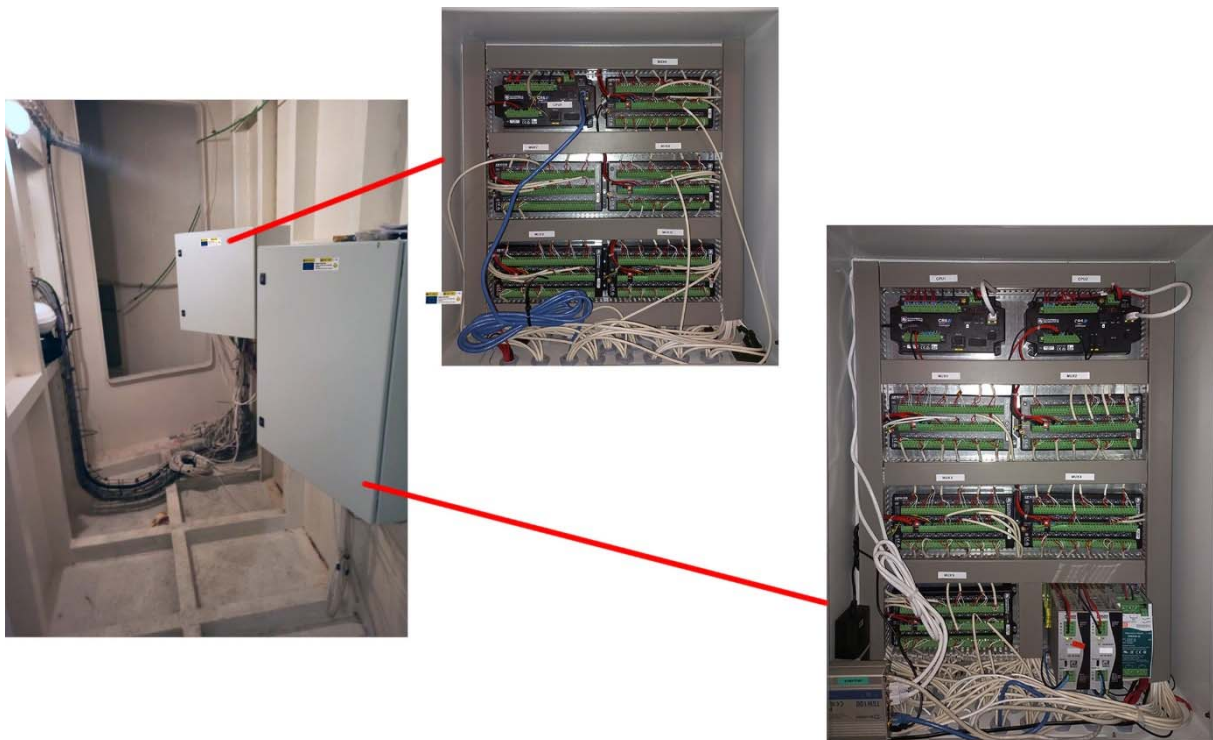


Figura 29. Cuadros en la viga anular de la estructura de la parábola.

Los sensores del yugo se han conectado a un multiplexor dentro de la sala de receptores. El multiplexor, junto con la fuente de alimentación requerida, se ha instalado dentro de un cuadro eléctrico que se ha colocado debajo del suelo técnico de los espejos Nasmyth. La alimentación de dicho cuadro se ha sacado del cuadro de distribución CS-SAI, localizado en la sala y donde se ha colocado un automático para su acometida.



Figura 30. Cuadro en sala de receptores.

### **3.6 Interface con el usuario.**

El servidor del sistema permite el acceso a las lecturas localmente. Para ello dispone de una interface gráfica a la que se accede desde el navegador. El usuario puede navegar por diferentes ventanas a través de las cuales verá las lecturas actuales de los sensores y la localización de éstos en la estructura, identificando rápidamente la temperatura de la estructura en cualquier punto.

Según el nivel de acceso, el usuario accederá únicamente a las lecturas o podrá acceder a la configuración de los sensores.

Junto con la documentación del sistema, se ha entregado el manual de usuario en un archivo titulado "Manual\_de\_uso\_YebesRT\_v1.0.3.pdf". A continuación se describe brevemente el uso y funcionalidades.

#### **3.6.1 Acceso a las lecturas.**

El acceso visual a las lecturas solo se puede hacer por zonas. En un menú inicial se selecciona la zona que se quiere consultar. En el caso de la parábola, aparecerá otra pantalla para seleccionar entre las tres alturas a las que se han colocado sensores en la estructura y la medida de los sensores de temperatura ambiente.

En la pantalla inicial se puede descargar en un único fichero las lecturas de todos los sensores del sistema en un periodo de tiempo. Las lecturas pueden ser instantáneas (tomadas cada 5 minutos) o los valores estadísticos medios, máximos y mínimos, en cuyo caso se puede seleccionar el periodo de tiempo para realizar los cálculos, entre 5 y 60 minutos. Los archivos se descargan en un fichero csv con el tiempo (fecha y hora con

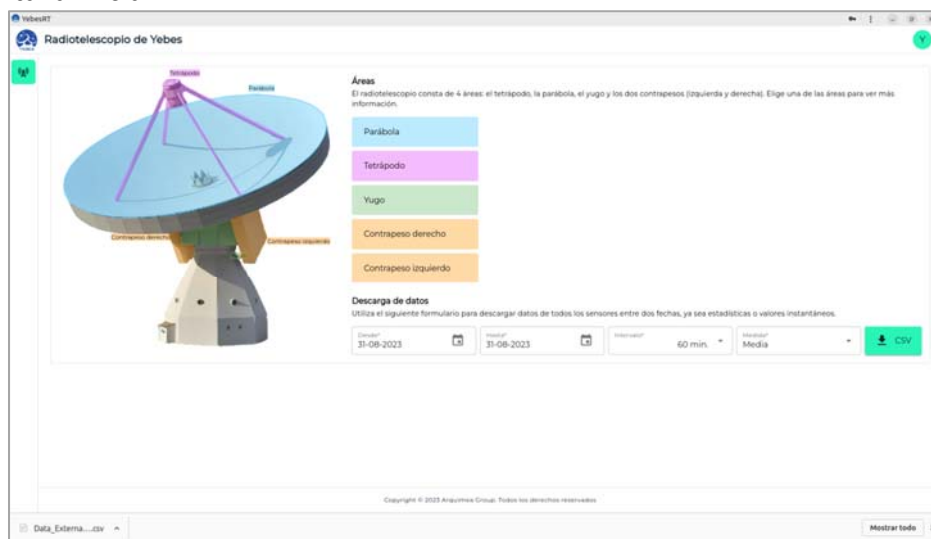
décimas de segundo de la lectura), y las lecturas de los sensores (etiquetados con el identificador del sensor) colocados en las columnas. En caso de elegir cualquier valor estadístico, se descargan los tres valores en las columnas “min”, “max” y “avg”.

Una vez seleccionada la zona, otra pantalla muestra el grupo de sensores correspondientes a dicha zona, visualizando la localización de los sensores en una imagen y las lecturas actuales en una tabla. Los sensores se muestran como círculos cuyo color puede variar con la temperatura según un código de colores que da a entender rápidamente la magnitud de la lectura.

Accediendo a “Evolución”, se puede ver una gráfica de la evolución de la temperatura para todo el grupo. La aplicación permite seleccionar el periodo de tiempo a mostrar. Se puede seleccionar el intervalo de tiempo con el que se quiere representar los datos y el tipo de lectura (instantáneo, medio, máximo o mínimo). Una vez seleccionados estos campos, se pulsa sobre “Mostrar” para que se represente la gráfica. El sistema no permite mostrar los valores instantáneos, aunque si valores estadísticos con un periodo de 5 minutos que equivale a los instantáneos. También se permite descargar los datos de la gráfica o los instantáneos a un archivo csv con el mismo formato que el de descarga general de datos.

Las siguientes imágenes son ejemplo de las diferentes ventanas de la aplicación.

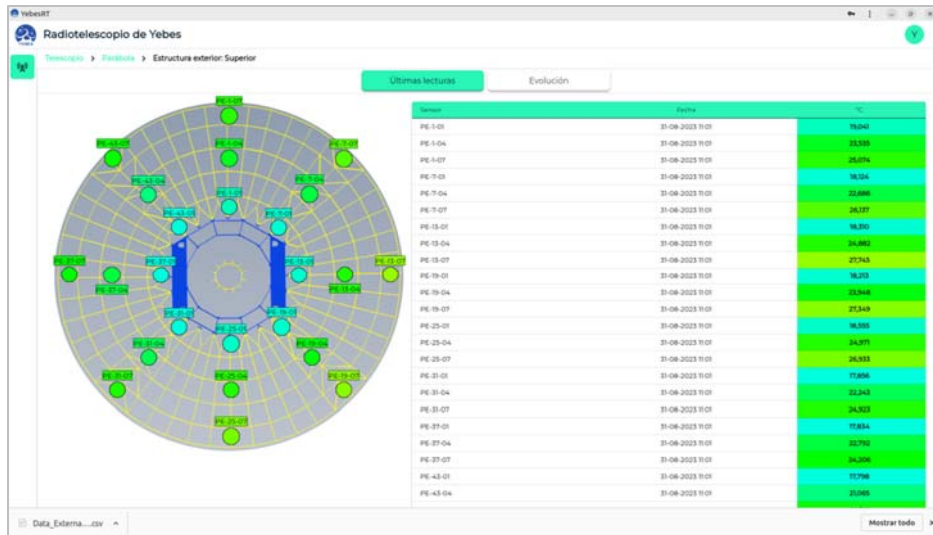
a) Pantalla inicial:



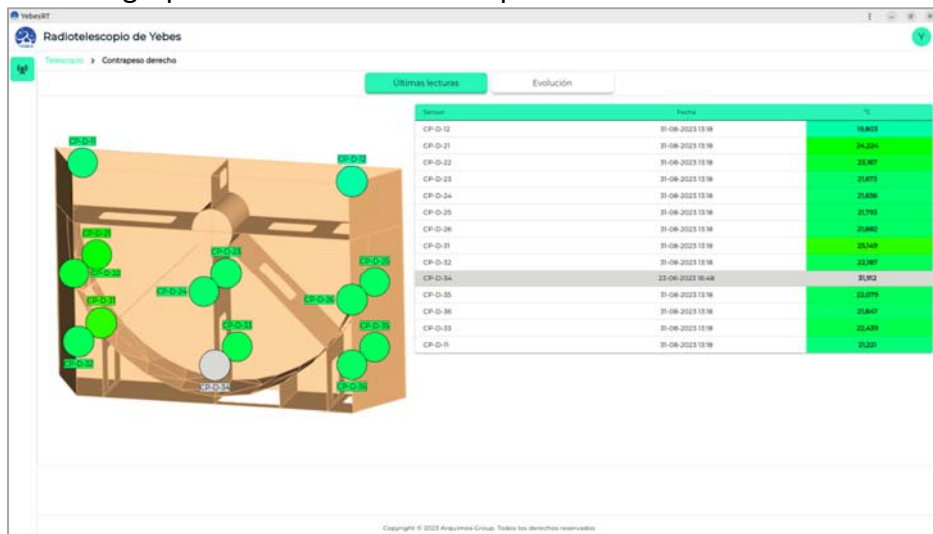
b) Pantalla de zona de la parábola:



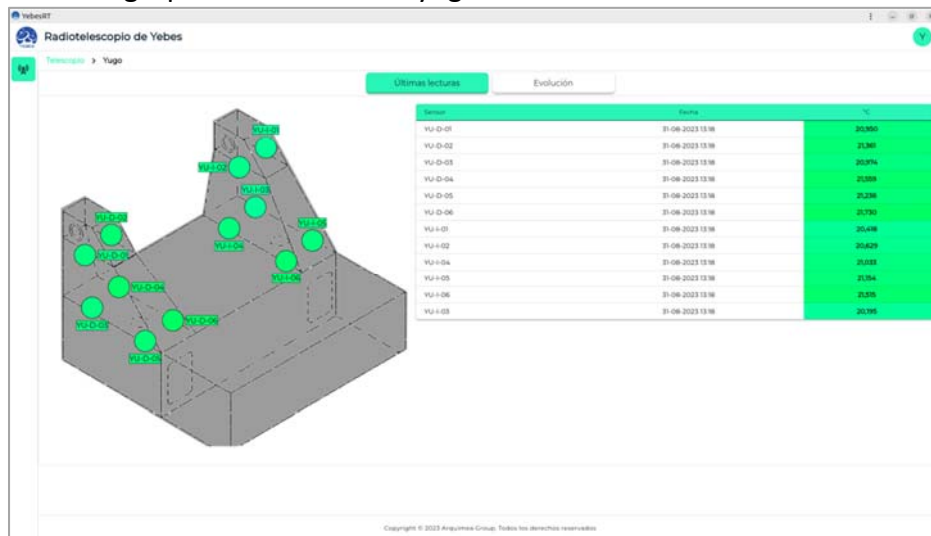
c) Pantalla del grupo de sensores del nivel superior de la parábola:



d) Pantalla del grupo de sensores del contrapeso derecho:



e) Pantalla del grupo de sensores del yugo:



f) Evolución de temperatura:

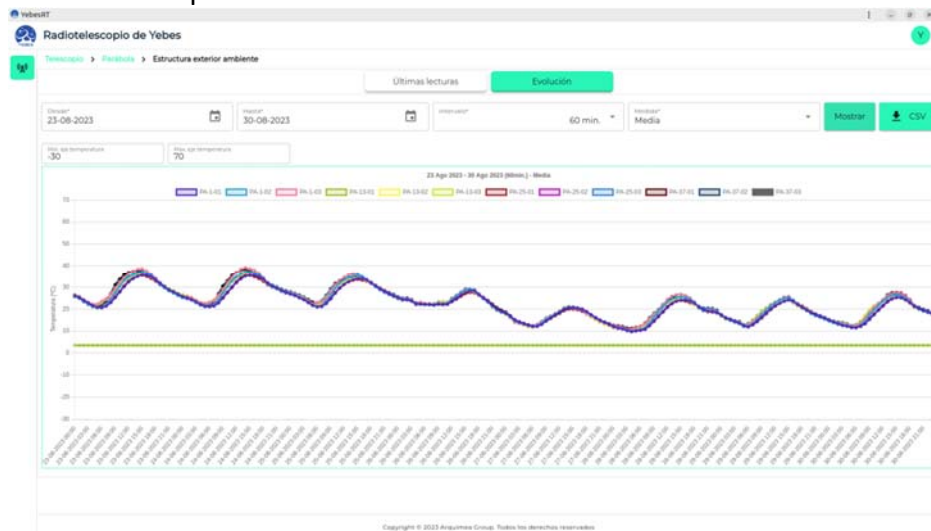


Figura 31. Pantallas de la interface con el usuario.

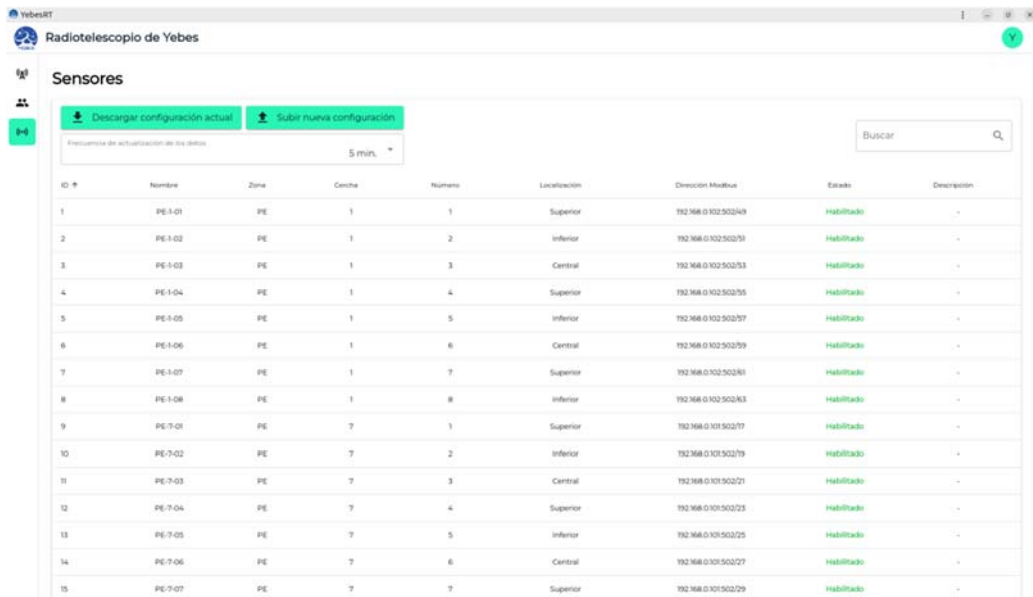
### 3.6.2 Configuración de sensores.

El sistema permite acceder a un archivo de configuración de los sensores en el que se puede modificar los siguientes parámetros:

- Frecuencia de muestreo del sistema, pudiendo elegir desde 5 hasta 60 minutos en saltos de 5 minutos.
- La etiqueta.
- El puerto al que está conectado (dirección Modbus)
- Si está habilitado o deshabilitado.
- Una descripción.

El sistema permite leer la configuración actual y cargar la nueva. También permite buscar un sensor determinado introduciendo por ejemplo su etiqueta. Por último, se puede guardar la configuración actual a un archivo o cargar la configuración deseada desde un archivo.





YebesIT  
Radiotelescopio de Yebes

Sensores

Descargar configuración actual   Subir nueva configuración

Frecuencia de actualización de los datos: 5 min.

Buscar

ID #	Nombre	Zona	Codice	Numero	Localización	Dirección	Modulo	Estado	Descripción
1	PE-1-01	PE	1	1	Superior	192.168.0.102.502/49		Habilitado	-
2	PE-1-02	PE	1	2	Inferior	192.168.0.102.502/50		Habilitado	-
3	PE-1-03	PE	1	3	Central	192.168.0.102.502/51		Habilitado	-
4	PE-1-04	PE	1	4	Superior	192.168.0.102.502/55		Habilitado	-
5	PE-1-05	PE	1	5	Inferior	192.168.0.102.502/57		Habilitado	-
6	PE-1-06	PE	1	6	Central	192.168.0.102.502/59		Habilitado	-
7	PE-1-07	PE	1	7	Superior	192.168.0.102.502/61		Habilitado	-
8	PE-1-08	PE	1	8	Inferior	192.168.0.102.502/63		Habilitado	-
9	PE-7-01	PE	7	1	Superior	192.168.0.101.502/77		Habilitado	-
10	PE-7-02	PE	7	2	Inferior	192.168.0.101.502/79		Habilitado	-
11	PE-7-03	PE	7	3	Central	192.168.0.101.502/21		Habilitado	-
12	PE-7-04	PE	7	4	Superior	192.168.0.101.502/23		Habilitado	-
13	PE-7-05	PE	7	5	Inferior	192.168.0.101.502/25		Habilitado	-
14	PE-7-06	PE	7	6	Central	192.168.0.101.502/27		Habilitado	-
15	PE-7-07	PE	7	7	Superior	192.168.0.101.502/29		Habilitado	-

Figura 32. Pantalla de configuración de los sensores.

## 4 Anexo I

### Identificación de sensores

#### Sensores en la estructura trasera de la parábola.

Los sensores se identifican con el siguiente formato:

XX-N-YY

donde:

XX = PE si es una cercha exterior, PV si es viga anular, PI si es cercha interior

N = número que identifica la cercha, siendo 1 la correspondiente a la flecha en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y aumentando en una unidad en sentido CW.

YY = Numero que identifica el sensor dentro de la cercha según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

#### Sensores de temperatura ambiente en la parábola.

Los sensores se identifican con el siguiente formato:

PA-N-YY

donde:

PA identifica el grupo

N = número que identifica la cercha, siendo 1 la correspondiente a la flecha en la Figura 35. Instalación de sensores al aire en la estructura trasera de la parábola. Vista superior. y aumentando en una unidad en sentido CW.

YY = Numero que identifica el sensor dentro de la cercha según la Figura 36.

#### Sensores en patas del tetrápodo

Los sensores se identificarán con el siguiente formato:

TP-N-YY

donde:

TP identifica el grupo

N = número que identifica la pata, siendo 1 la situada arriba a la derecha vista desde el frente, y aumentando en una unidad en sentido CW (ver Figura 37).



YY = Numero que identifica el sensor dentro de la pata según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

### **Sensores en contrapesos.**

Los sensores se identificarán con el siguiente formato:

CP-N-YY

donde:

CP = Hace referencia a los contrapesos

N = I para el contrapeso izquierdo y D para el contrapeso derecho (visto según se mira en dirección al apuntado de la antena)

YY = Numero que identifica el sensor dentro del contrapeso según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

### **Sensores en el yugo.**

Los sensores se identificarán con el siguiente formato:

YU-N-YY

donde:

CP = Hace referencia al yugo

N = I para el soporte izquierdo y D para el soporte derecho (visto según se mira en dirección al apuntado de la antena)

YY = Numero que identifica el sensor dentro del soporte según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

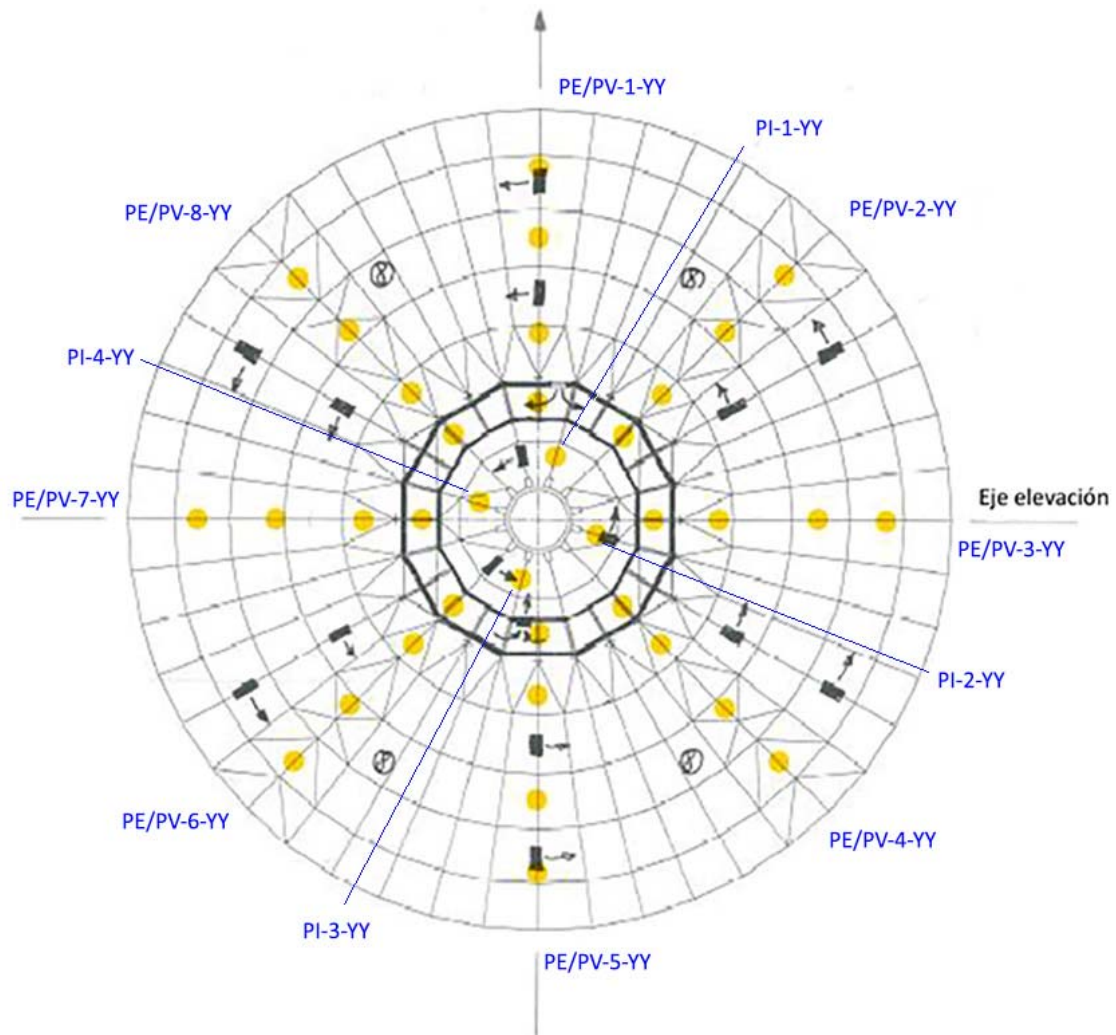


Figura 33. Instalación de sensores en la estructura trasera de la parábola. Vista superior.

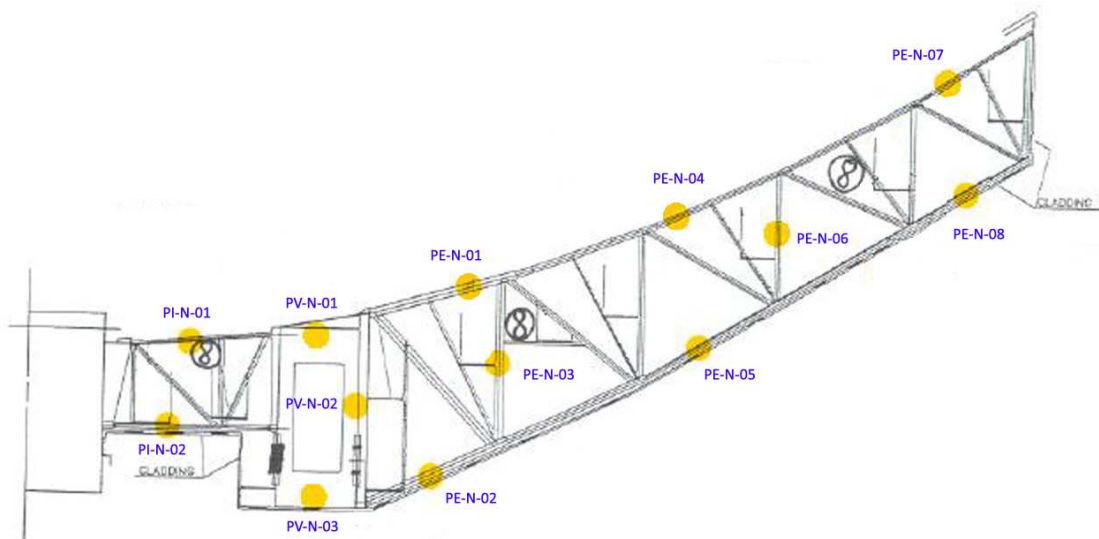


Figura 34. Instalación de sensores en la estructura trasera de la parábola. Sección.

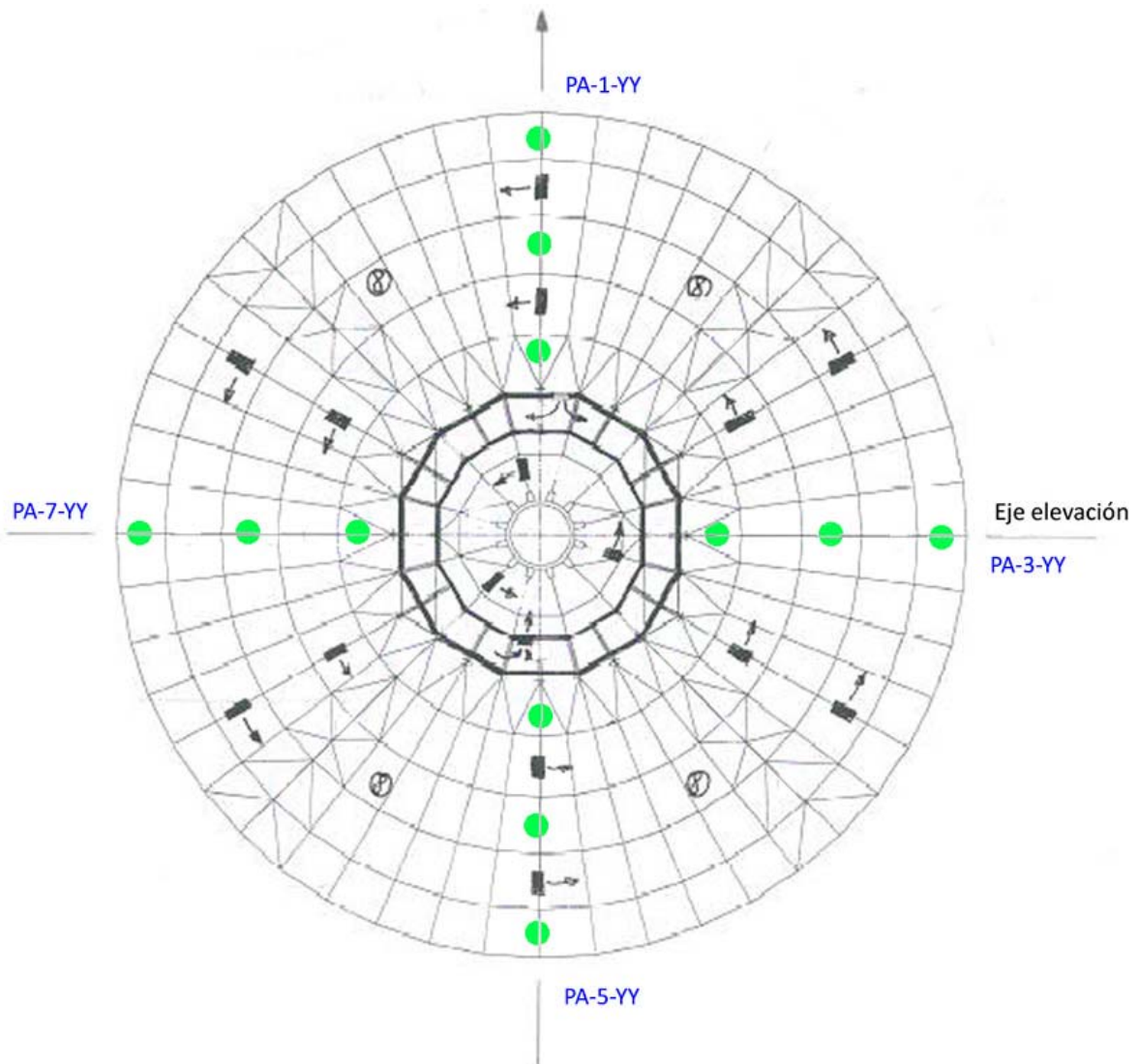


Figura 35. Instalación de sensores al aire en la estructura trasera de la parábola. Vista superior.

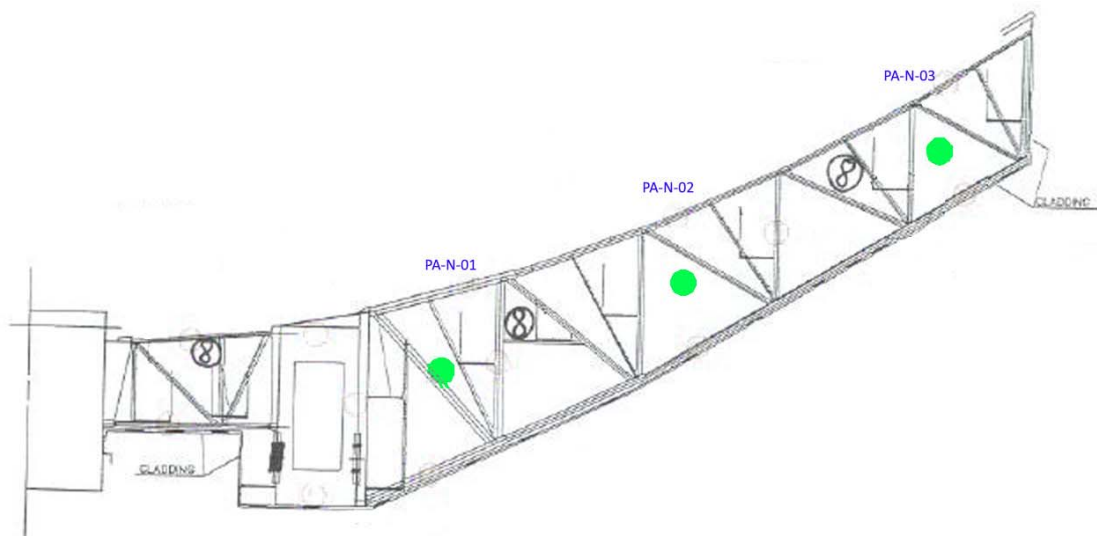


Figura 36. Instalación de sensores al aire en la estructura trasera de la parábola. Sección.

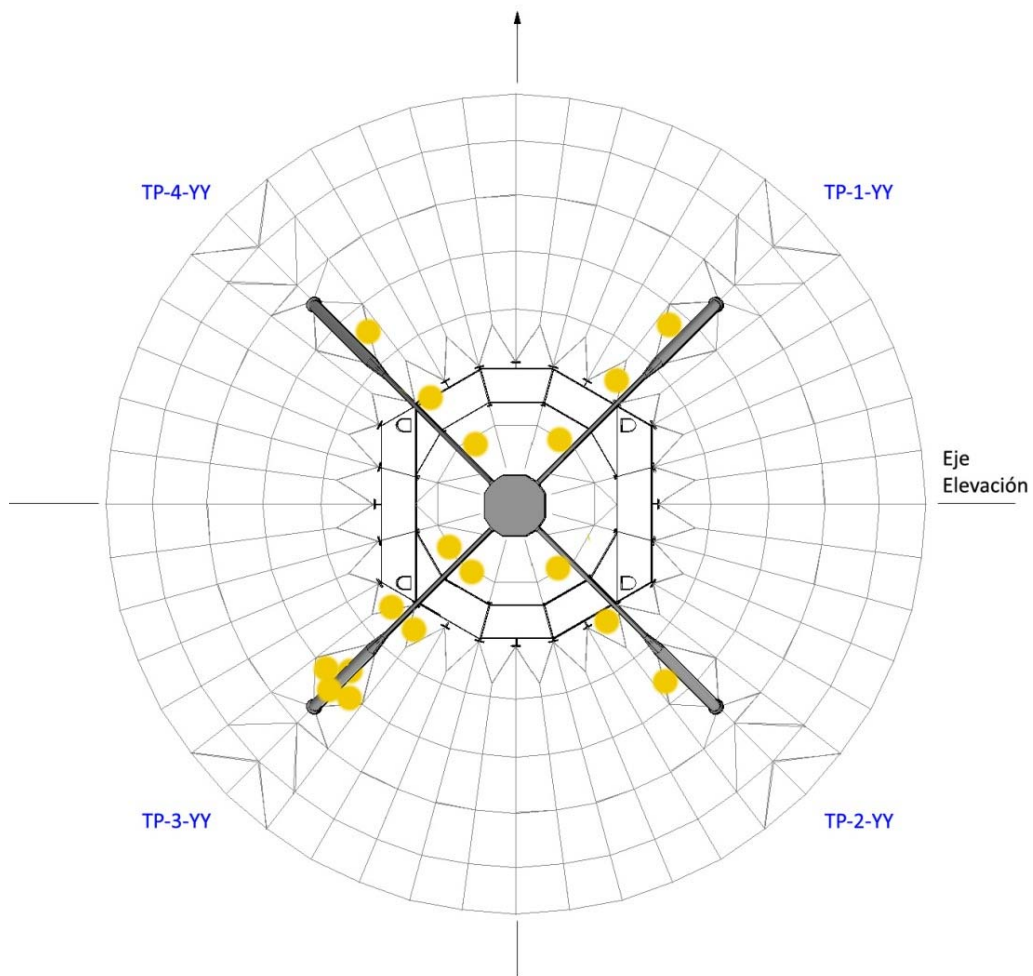


Figura 37. Instalación de sensor en patas del tetrápodo. Vista superior.

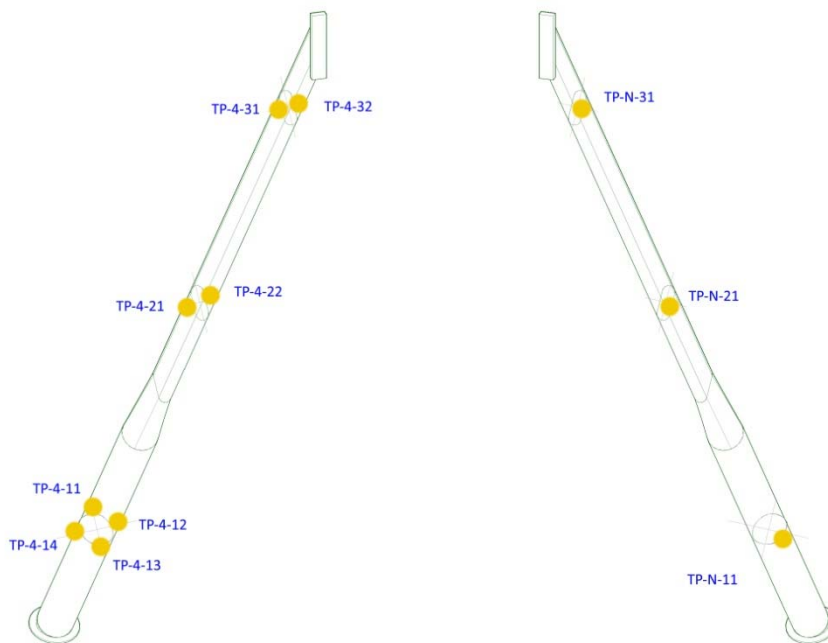


Figura 38. Instalación de sensor en patas del tetrápodo.

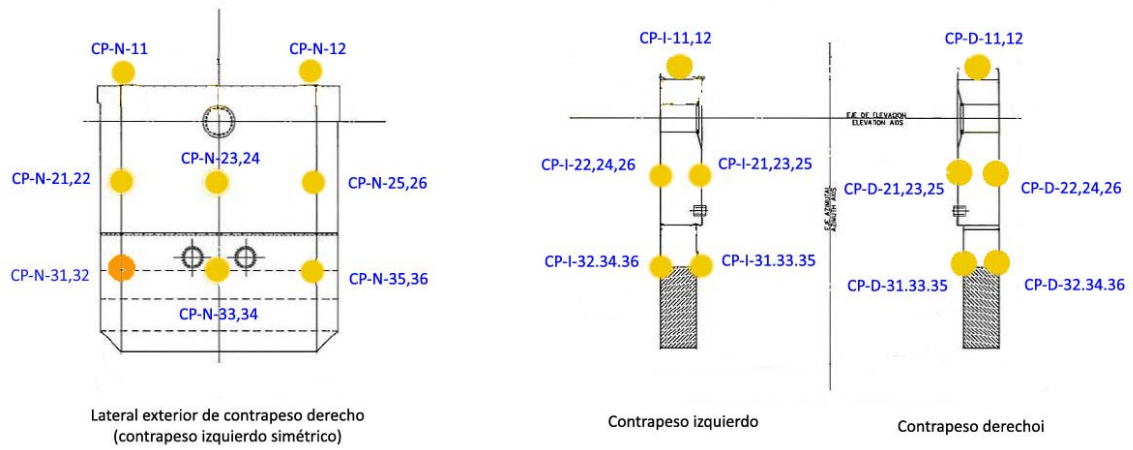


Figura 39. Instalación de sensores en los contrapesos.

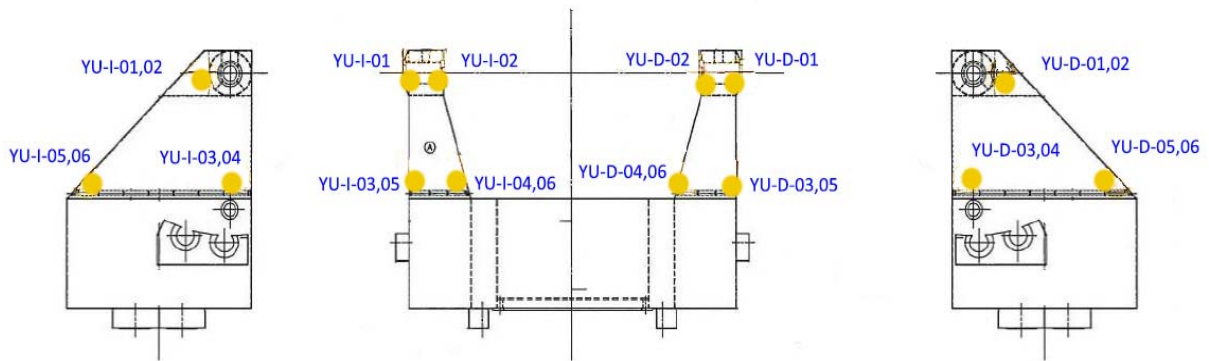


Figura 40. Instalación de sensores en el yugo.