



# **Reparación del enrollador acimutal de cables del radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yebes**

R. Brozyna, C. Albo, J.M. Yagúe, J. Fernández.

Informe técnico IT-CDT-2023-06



## Reparación del enrollador acimutal de cables del radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yebes



## Índice

1.	Introducción.....	3
1.1	Descripción del enrollador.....	3
2.	Antecedentes.....	4
3.	Descripción de la avería.....	6
4.	Análisis de la avería.....	7
4.1	Análisis tensional teórico.....	7
4.2	Análisis de las características que presenta la grieta.....	7
4.3	Análisis de la zona de rotura.....	8
5.	Posibles soluciones y reparación final de la avería.....	9
5.1	Solución temporal.....	9
5.2	Posibles soluciones.....	10
5.3	Solución final.....	11
5.4	Trabajos previos.....	11
5.5	Procedimiento de la reparación.....	12
5.5.1	Normas de seguridad.....	12
5.5.2	Historial de reparación.....	13
6.	Conclusiones.....	21
7.	Anexos.....	22



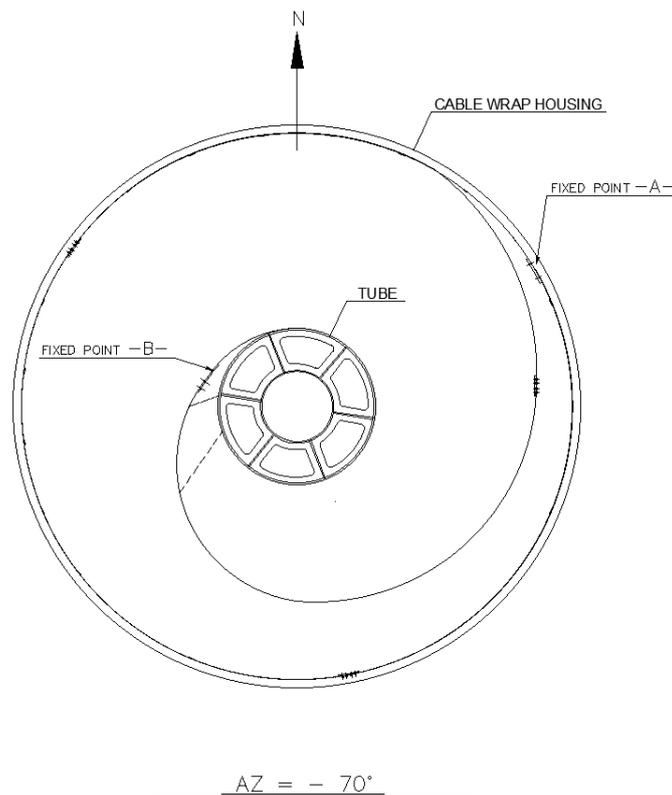
## Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Partes del enrollador.....	3
Ilustración 2. Punto de rotura de la pletina superior en 2013.....	4
Ilustración 3. Fijación de la pletina al tubo. ....	5
Ilustración 4. Rotura detectada en 2020 en ambas pletinas. a) Pletina inferior. b) Pletina superior. ...	5
Ilustración 5. Refuerzo soldado a la pletina.....	6
Ilustración 6. Rotura de la pletina inferior en 2023.....	6
Ilustración 7. Zona de la rotura ampliada. ....	7
Ilustración 8. Cambio de sección en la zona de rotura. ....	8
Ilustración 9. Elemento de seguridad pasivo de la pletina inferior del enrollador.....	9
Ilustración 10. Elemento de refuerzo temporal.....	10
Ilustración 11. Unión pletina-cáncamo-grillete-cadena de seguridad.....	12
Ilustración 12. Corte de la pletina del enrollador. ....	13
Ilustración 13. Puntos de soldadura entre la pletina de interfase y la unión en forma de T al tubo. ...	14
Ilustración 14. Estado tornillo aleatorio retirado del mecanismo del enrollador. ....	14
Ilustración 15. Pletina de interfase con el chaflan y los puntos de soldadura ya completados. ....	15
Ilustración 16. Extremo de la pletina del enrollador con los agujeros perforados y el recubrimiento aplicado.....	16
Ilustración 17. Extremo de la pletina de interfase con el recubrimiento aplicado.....	16
Ilustración 18. Sistema de tracción y sujeción en la unión al tubo.....	17
Ilustración 19. Escalón generado en la unión al tubo.....	18
Ilustración 20. Elemento añadido para facilitar el paso de rueda horizontal.....	18
Ilustración 21. Unión al tubo finalizada. ....	19
Ilustración 22. Ejemplo de unión con la cabeza del tornillo cizallada. ....	20
Ilustración 23. Conjunto de tornillos sustituidos con cabeza cizallada. ....	20

## 1. Introducción.

### 1.1 Descripción del enrollador.

El enrollador de cables del radiotelescopio de 40 metros es una estructura metálica con forma de espiral que guía los cables existentes entre la torre de hormigón y la cabina acimutal durante el giro de la antena en acimut. Su propósito es evitar que los cables sufran daño alguno durante dicho movimiento de la antena. Está situado debajo de la escalera espiral de acceso a la cabina. El extremo exterior de la espiral está anclado a la torre en la zona donde los cables entran desde la torre al enrollador. El extremo interior está conectado al tubo central con la escalera espiral que baja desde la cabina de acimut, y donde los cables suben hacia la cabina por dos bandejas verticales colocadas en el tubo. Cuando la antena está en la posición  $Az = -70^\circ$  la espiral está en su posición más abierta contra la estructura que lo rodea. Cuando  $Az = 420^\circ$  la espiral está en su posición más cerrada, enrollada en el tubo.



*Ilustración 1. Partes del enrollador.*

A lo largo del enrollador existen un total de 38 columnas con 6 soportes para cables, cada una colocados a distintas alturas. Estas columnas están unidas mediante pletinas metálicas de alta flexibilidad, una en la parte inferior y otra en la superior, las cuales conforman la estructura móvil del enrollador. Estas pletinas son las que dan la forma espiral al enrollador.

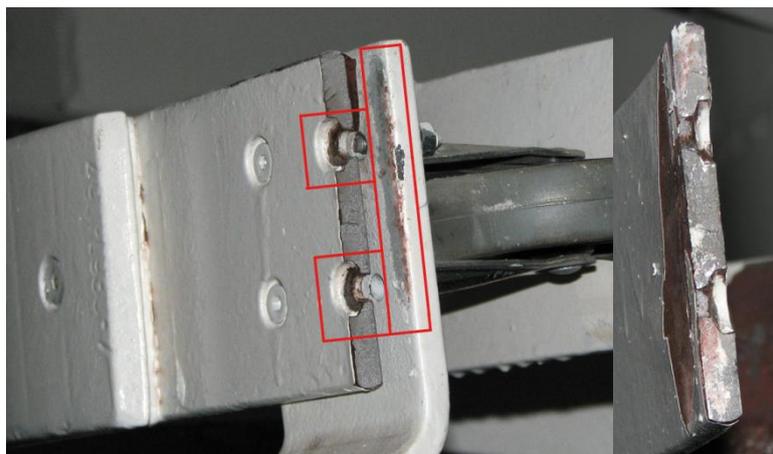
En un extremo (punto A) están fijadas a la estructura fija en la torre y en el otro (punto B) al tubo central. La longitud del enrollador es de 19m, y está formado por un total de cuatro tramos unidos mediante tornillos. Una serie de rodamientos verticales y horizontales colocados a lo largo de las pletinas facilitan el movimiento de la espiral. Los rodamientos verticales permiten el desplazamiento de la espiral por el suelo de la estructura. Consisten básicamente en unas bolas de acero de 45 mm de diámetro, y están colocados alternativamente en la base las columnas. Los rodamientos horizontales por otro lado permiten el deslizamiento de una vuelta de la espiral con otra, e imponen una separación mínima de 124 mm entre vueltas para evitar choques entre las columnas. Consisten en ruedas colocadas horizontalmente en la parte superior e inferior de cada columna, justo a la altura donde se fijan a las pletinas. De esta forma una vuelta de la espiral apoya con sus ruedas en la siguiente vuelta más interna.

## 2. Antecedentes.

Las averías en el enrollador de cables han sido varias durante la última década. El funcionamiento de este mecanismo se realiza bajo grandes esfuerzos y a variaciones de la temperatura ambiente.

La primera avería ocurrió en 2013. La pletina superior se partió por la unión atornillada de la primera columna de cables en la unión del enrollador con el tubo central. En esa zona de las pletinas sufren la mayor fatiga debido a estar más flexionadas. A ello se sumó posibles esfuerzos provocados por la deformación del suelo por el que se desplazan las columnas, causado por las dilataciones térmicas. La avería se solucionó aplanando el suelo todo lo que fue posible, sustituyendo la pletina superior por otra nueva y colocando un refuerzo en la pletina inferior en el punto donde rompió la superior. Estos trabajos están descritos con detalle en el informe técnico *IT-CDT-2014 Reparación del enrollador de cables del radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yebes*.

A continuación, se muestran los puntos críticos de la rotura y la diferencia entre el montaje y los planos de la unión de la pletina al tubo:



*Ilustración 2. Punto de rotura de la pletina superior en 2013.*

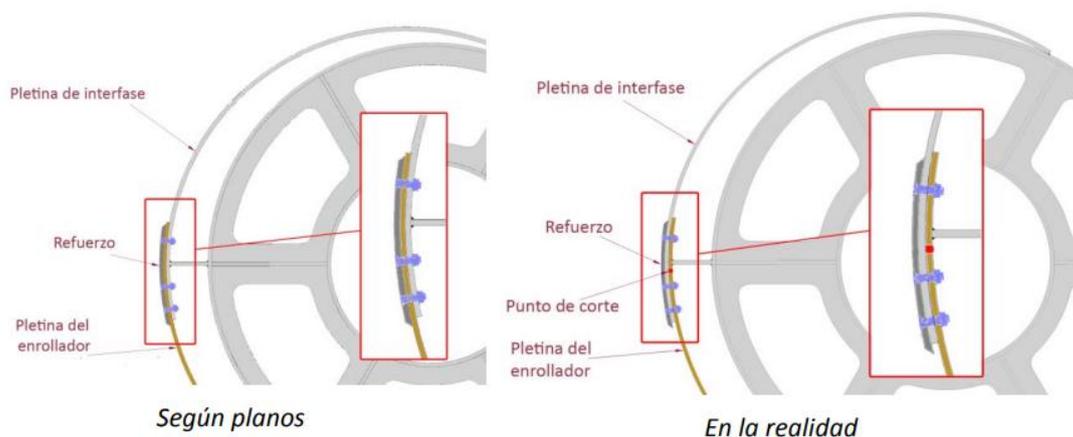


Ilustración 3. Fijación de la pletina al tubo.

La segunda avería ocurrió en 2020. En este caso se detectó una rotura tanto de la pletina superior como de la inferior en la misma zona. La pletina inferior se rompió en el mismo punto que la superior en 2013 a pesar del refuerzo. La pletina superior rompió esta vez en la unión al punto de anclaje del tubo central.

En la pletina inferior se volvió a dar en el concentrador de tensiones ocasionado por los agujeros de las uniones atornilladas. En la pletina superior se dio en el cambio de sección entre el refuerzo y la pletina, otro tipo de concentrador de tensiones.



Ilustración 4. Rotura detectada en 2020 en ambas pletinas. a) Pletina inferior. b) Pletina superior.

Al detectar que esta zona era sensible a la concentración de tensiones se estableció que era conveniente poner un refuerzo de forma que las tensiones en dicha zona se viesen distribuidas de forma más equitativa. Para evitar el concentrador de tensiones que puede suponer un cambio brusco de la sección de la pletina al final del refuerzo, a este se le redujo progresivamente el área (manteniendo el espesor).



*Ilustración 5. Refuerzo soldado a la pletina.*

### 3. Descripción de la avería.

En abril de 2023 se detectó que la pletina inferior del enrollador se volvió a partir. Gracias a los elementos de seguridad pasivos formados por dos cadenas de seguridad que anclan el extremo de la pletina al tubo central, la antena pudo continuar con su operativa sin aparentes problemas.

Se ha analizado el comportamiento mecánico de la estructura en base a los planos del enrollador, el punto de rotura y las características que presenta.



*Ilustración 6. Rotura de la pletina inferior en 2023.*

## 4. Análisis de la avería.

### 4.1 Análisis tensional teórico.

El análisis de los planos se realizó con anterioridad en el documento *IT-CDT-2014-1*, en el cual encontraron evidencias de que el montaje original y el diseñado no eran el mismo tal y como se muestra en la *ilustración 3*. Esto conlleva una distribución de tensiones en las piezas del mecanismo diferente de la distribución con las que fueron diseñadas.

Los movimientos que realiza el mecanismo con forma de espiral generan una serie de cargas a compresión y tracción en las pletinas por el hecho de que el tubo tira y empuja a través de las estas durante su giro. A su vez, las pletinas sufren esfuerzos flectores y torsores debidos a la distribución de las cargas y el movimiento del enrollador. Además, existen esfuerzos cortantes en las pletinas debido al peso de las columnas y los cables que llevan junto al desplazamiento vertical por las deformaciones en las placas del suelo.

Las fibras internas de las pletinas se encuentran más sometidas a esfuerzos diferentes. Las fibras de la pletina más cercanas al tubo tienen mayor compresión, mientras que las fibras más alejadas se encuentran más traccionadas debido a la flexión que sufren.

### 4.2 Análisis de las características que presenta la grieta.

En la ilustración inferior se puede apreciar como el borde exterior de la pletina, zona en la cual se había soldado, tiene una superficie lisa. Esta superficie indica el inicio de la grieta.

A medida que se desplaza hacia la izquierda se pueden ver pequeños puntos que muestran una deformación de tipo plástico. En el extremo izquierdo se puede ver el despegue final de la pletina con esos pequeños hilillos.

Estas zonas en las que se divide la superficie de rotura se deben a las diferentes etapas de formación de una grieta ocasionada por fatiga. Dependiendo de los factores de origen y la velocidad de deformación que sufre, sumado al tipo de material y esfuerzos del material estudiado, el aspecto que presenta la superficie varía.



*Ilustración 7. Zona de la rotura ampliada.*

### 4.3 Análisis de la zona de rotura.

La rotura tiene lugar al final del refuerzo colocado en 2020. Refuerzo el cual iba soldado a las pletinas colindantes.

La soldadura proporciona una unión más fuerte y duradera, pero al aplicar calor y su posterior enfriamiento provoca otros efectos indeseados:

- La zona afectada por el calor (ZAC) es una zona en la que el metal puede debilitarse debido a que estas altas temperaturas pueden oxidar el metal y hacer que este pierda parte de sus propiedades mecánicas.
- Un metal que es calentado y que posteriormente sufre un enfriamiento modifica la estructura cristalina del metal debilitándolo. De esta forma puede reducir su resistencia mecánica.
- Si la soldadura no es ideal puede generarse porosidad, dando lugar a concentradores de tensiones que pueden llegar a formar grietas.

Al sumar dichos factores se puede deducir que la zona de rotura se encontraba bajo un comportamiento mecánico mermado debido al deterioro del material.

Sumado a ello, todas las tensiones que habían sido absorbidas por el refuerzo instalado con anterioridad tenían su fin en esa zona. Zona en la cual se da un concentrador de tensiones ya que la pletina sufre un cambio de sección al pasar de pletina-refuerzo a pletina.



*Ilustración 8. Cambio de sección en la zona de rotura.*

## 5. Posibles soluciones y reparación final de la avería.

En el momento en el que se detectó la avería se vio que el incidente no había llegado a más gracias a los elementos de seguridad pasiva, que en este caso corresponde a la cadena de seguridad.



*Ilustración 9. Elemento de seguridad pasivo de la pletina inferior del enrollador.*

Como se aprecia en la imagen la cadena absorbía la tensión suficiente como para que la pletina no se abriese como en el caso de 2013.

### 5.1 Solución temporal.

Con el fin de reforzar la seguridad durante el uso de la antena hasta su reparación se colocó una cincha cerca de la unión atornillada de la cadena a la pletina. De esta forma se distribuía la carga soportada por la cadena entre ambos elementos.



*Ilustración 10. Elemento de refuerzo temporal.*

Cuando la espiral del enrollador se encontraba más abierta, las pletinas quedaban una detrás de la otra tal y como se aprecia en la ilustración. Mientras que cuando se encontraba más cerrada, ambas partes se encontraban, aproximadamente, en la misma línea de curvatura. Lo cual proporciona en cierta medida una idea del tipo de esfuerzos que sufre este elemento.

## 5.2 Posibles soluciones.

Una vez detectada la zona problemática en el mecanismo y analizadas las diferentes causas que han ocasionado las roturas se evalúan diferentes soluciones.

### 1. Nuevo refuerzo ampliado:

A la vista de que el refuerzo que se puso en su momento ha permitido el correcto funcionamiento del mecanismo durante este periodo de tiempo se piensa en poner uno nuevo ampliado. El refuerzo soldado proporciona mayor resistencia y una distribución de tensiones más equitativa.

Esta opción no se ve descartada ya que los resultados obtenidos son positivos, tan solo que el cambio de sección que genera y la debilitación del metal por la soldadura son aspectos a estudiar en caso de optar por ello.

### 2. Sustitución de las pletinas:

Al analizar el mecanismo junto con sus antecedentes se determina que las pletinas son elementos críticos. Estas absorben gran cantidad de esfuerzos repetitivos y de un nivel elevado que, además, sufren deformaciones durante su uso. Es por ello por lo que el comportamiento mecánico exigido por el mecanismo a dichos cuerpos provoca fatiga y problemas como los descritos.

La sustitución de las pletinas y su colocación de forma acorde con los planos proporciona una renovación en el ciclo de vida del mecanismo. Esto permitirá una sustitución más rápida en caso de un futuro incidente. Además, rebajará algo el nivel de fatiga del material al aumentar ligeramente el radio de curvatura inicial a la salida de la unión al tubo.



### 3. Sustituir pletinas y añadir un refuerzo en U en la unión atornillada:

Al ver que la concentración de tensiones se da en una zona próxima a las uniones atornilladas una forma de mejorar su comportamiento es un refuerzo en U. Este refuerzo se compone de dos placas verticales, una por delante y otra por detrás de todas las pletinas de la unión, unidas por una placa horizontal en su parte superior dando esa forma de U.

Esta opción se ve descartada ya que el enrollador en posiciones de acimut elevadas entran en contacto las ruedas horizontales y este tipo de refuerzo podría ocasionar un obstáculo. Dicha solución sería tan solo para la unión atornillada, en el caso de eliminar el refuerzo y colocar este sistema se desconoce si la rotura se daría en el mismo punto que en 2013. Además, el punto de unión atornillada B ya cuenta con un refuerzo normal en la cara más externa.

## 5.3 Solución final.

Tras el análisis de las diferentes opciones se vio que la más viable y que mejor podía contribuir al correcto funcionamiento del sistema era la sustitución de las pletinas.

Se desconoce con seguridad si el origen de los defectos originados en las pletinas se debe al incorrecto montaje de las pletinas en la primera unión al tubo, pero al sustituir las pletinas se puede corregir en cierta medida.

El nuevo montaje no es coincidente al 100% al de los planos iniciales ya que la unión al tubo sigue soldada a una pletina diferente a la de interfase, pero la colocación de las siguientes si se encuentra acorde con lo establecido en los planos.

## 5.4 Trabajos previos.

Para esta reparación en particular los procesos previos a la sustitución fueron la preparación de las herramientas y útiles que se habían descrito en un listado de materiales y la adquisición de tornillos con las medidas y calidad suficientes para los trabajos que se iban a realizar.

Los tornillos empleados fueron todos con cabeza avellanada allen de grado 8.8 y con medidas:

- Tornillo M6x30 para las uniones entre pletina y columna.
- Tornillo M8x30 para la unión con la siguiente pletina del enrollador.
- Tornillo M8x80 para la unión entre la pletina de interfase, la del enrollador, el refuerzo y la unión al tubo central.
- Tornillo M10x40 para la unión entre pletina y cáncamo.

Además de sus correspondientes tuercas y arandelas.

Por otro lado, para las cadenas de seguridad se emplearon grilletes y cáncamos de anclaje.



*Ilustración 11. Unión pletina-cáncamo-grillete-cadena de seguridad.*

Las pletinas de repuesto se habían adquirido con antelación con una cierta curvatura y con unas dimensiones que permitiesen su uso en cualquier posición con un mínimo de modificaciones. En este caso, se ha necesitado realizar perforaciones de amarre de las cadenas de seguridad y de unión al punto B.

## 5.5 Procedimiento de la reparación.

### 5.5.1 Normas de seguridad.

Durante las operaciones de reparación se utiliza material peligroso. Además, se somete a mucha tensión las herramientas y materiales utilizados, como la pletina. Como medidas de seguridad se deben cumplir las siguientes indicaciones:

1. Los trabajos deben ser realizados por, al menos, dos operarios en el interior del enrollador.
2. Los operarios en el interior deben llevar siempre su EPI puesto.
3. Durante los trabajos la antena debe estar bloqueada con candado y la llave en posesión de los operarios.
4. Durante trabajos con herramientas de corte o soldadura el personal no esencial debe abandonar el habitáculo del enrollador.
5. En los trabajos con herramientas de corte o soldadura el personal debe llevar el EPI correspondiente. Además, se debe proteger tanto el suelo del enrollador como los cables con el fin de que las proyecciones no afecten a dichos elementos.
6. Durante los trabajos de corte y soldadura el habitáculo debe tener la mayor ventilación posible. En caso de ser necesario se debe usar una máscara respiratoria.
7. Las superficies sobre las que se trabaje deben ser estables.

### 5.5.2 Historial de reparación.

Una vez se han llevado hasta la zona del enrollador todos los útiles necesarios para la reparación de las pletinas.

- Día 24/04/2023

En primer lugar, se coloca la antena a  $-62^\circ$  para minimizar las tensiones que sufre la pletina sobre la que se va a trabajar. Una vez en posición se bloquea la antena para asegurar la zona.

Se pretende retirar el fragmento de pletina con refuerzo que se encuentra unido al tubo y a la primera columna. Para ello se cortan los puntos de soldadura existentes entre el refuerzo colocado sobre la pletina y la estructura del tubo. Después se retira la abrazadera del extremo (3 tornillos) y se corta la pletina del enrollador en la unión con el tubo.



*Ilustración 12. Corte de la pletina del enrollador.*

Para asegurar la unión en forma de T entre el tubo y la pletina de interfase se dan 3 puntos de soldadura.



*Ilustración 13. Puntos de soldadura entre la pletina de interfase y la unión en forma de T al tubo.*

Se sujeta la pletina superior en 2 puntos al techo con el fin de mantener la altura de las pletinas y que las columnas no se abran. Esto se realiza fijando sargentos en el techo y colocando cuerdas o cinchas entre la pletina y dichos sargentos. Mientras que en la pletina inferior se van colocando sargentos a lo largo de los diferentes puntos de unión a las columnas para que la tensión acumulada en la flexión de dicho elemento no suponga un riesgo para los operarios al retirar la unión atornillada.

Se desatornillan las diferentes uniones entre columnas y pletina inferior, una por una y de la parte más próxima al tubo hacia afuera. Algunos de los tornillos al tener en mal estado el orificio hexagonal donde se introduce la llave allen eliminando la cabeza con una broca. Por otro lado, se detectan un par de tornillos cuya cabeza ha sido cizallada, pero no se ve que sea a gran escala. En cualquier caso, los tornillos retirados se examinaron en busca de marcas por cizalladura y en su mayoría se encontraban en buen estado.



*Ilustración 14. Estado tornillo aleatorio retirado del mecanismo del enrollador.*

El mal acceso hasta las últimas 4 uniones atornilladas hace que haya que mover la antena para tener un mejor acceso a estas. Se retiran todos los útiles y elementos con los que se estaba trabajando en

el interior del habitáculo, incluyendo los que mantenían la altura del enrollador ya que al ser fijos iban a obstaculizar el giro. Tan solo se colocan sargentos y cinchas en diferentes puntos entre el tubo, las columnas y la pletina inferior para asegurar el movimiento del sistema.

Una vez el habitáculo del enrollador se encuentra limpio, asegurado y despejado se procede a mover la antena hasta los 0°. El movimiento se realiza manejando la antena con el HHP desde la plataforma superior del enrollador para poder tener una comunicación eficiente con él en caso de emergencia y otros dos en la parte inferior controlando que el desplazamiento tiene lugar de forma correcta. La velocidad de giro empleada es de 0,1 y 0,2 °/s. Se corta nuevamente la alimentación del sistema.

Se desatornillan las uniones faltantes y los tornillos de las cadenas de seguridad. Poniendo tacos y otros elementos de sujeción debajo de la pletina para que esta no caiga de golpe sobre el suelo. Una vez desatornillada, se saca la pletina fuera del habitáculo.

La nueva pletina carece de las perforaciones en el extremo para unirla a la pletina de interfase ya que se trata de una pletina genérica. Para realizarlas se emplea un plano realizado con anterioridad junto con el refuerzo retirado con el fin de establecer con mayor precisión los puntos en los que realizar los agujeros.

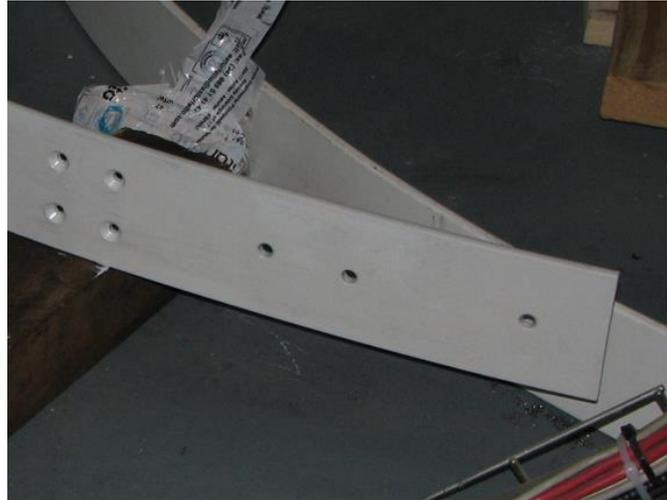
Una vez marcados se procede a fijar la pletina fuera del habitáculo de la forma más conveniente posible. Las perforaciones realizadas en la pletina se realizan con una broca empleando en primer lugar una de 4mm de diámetro, posteriormente una de 8,5mm y, por último, una de 10mm. La superficie perforada se avellana ligeramente para retirar la rebaba.

La pletina de interfase tiene un ángulo vivo en el extremo que se encontrará en contacto con la nueva pletina, es por ello que, para evitar posibles concentraciones de tensiones como se vio en averías pasadas, se procede a redondear dicho ángulo. Se realiza un chaflán de 60° y se limpia.



*Ilustración 15. Pletina de interfase con el chaflán y los puntos de soldadura ya completados.*

Una vez realizadas todas las actividades de mecanizado se limpia bien la zona en la que se ha realizado. Se aplica un recubrimiento sobre las superficies en las que se ha trabajado para protegerlas del óxido y se deja secando.



*Ilustración 16. Extremo de la pletina del enrollador con los agujeros perforados y el recubrimiento aplicado.*



*Ilustración 17. Extremo de la pletina de interfase con el recubrimiento aplicado.*

- Día 25/04/2023

Se verifica que el recubrimiento aplicado ya se encuentra seco y en condiciones para continuar con la operativa.

Se introduce la pletina nueva dentro y se procede a atornillar las uniones desde la parte más externa hacia adentro. De esta forma se le va proporcionando unión a unión la curvatura correspondiente a la pletina.

Para un correcto ajuste de las uniones en cada uno de sus puntos se emplean cinchas y sargentos para aproximar ambos elementos de unión y, en caso de ser necesario, se emplea una palanca o cincha para elevarla hasta su correspondiente posición. Cada tornillo se coloca inicialmente sin un gran apriete ya que este se debe hacer una vez todas las uniones sean realizadas.

Al estar la antena en 0° la fuerza de flexión que hay que hacer en la pletina para llegar a las últimas uniones es muy grande por lo que se vuelve a asegurar el mecanismo mediante elementos de sujeción,

se limpia y despeja la zona. Una vez el habitáculo del enrollador se encuentra libre de obstáculos se activa la alimentación y se vuelve a poner en  $-62^\circ$ . Se hace a baja velocidad y de la misma manera que anteriores movimientos.

Se siguen atornillando las uniones a las columnas con sus correspondientes ruedas horizontales. Por otro lado, se realizan los agujeros para la cadena de seguridad en una nueva posición más cercana a las uniones atornilladas para evitar que si la pletina se parte en la zona que ha venido haciéndolo, esta no se abra en exceso y se vuelva a enganchar con las adyacentes como pasó en 2013.

Una vez cerca de su posición final se emplea un tráctel, varios sargentos y una palanca para alinear lo máximo posible las perforaciones de las 4 placas a unir.



*Ilustración 18. Sistema de tracción y sujeción en la unión al tubo.*

Se consigue alinear prácticamente los agujeros, pero al no tener la pletina nueva la curvatura de la anterior hay una pequeña parte de esta que impide introducir los tornillos.

- Día 26/04/2023

Se establece que el método más efectivo y ágil para solucionar dicho inconveniente es, manteniendo todas las piezas unidas, introducir una broca de 10 mm por cada agujero de manera que retira el escaso material que impide entrar a los tornillos. Tras ello, se limpia y se comprueba que los tornillos pasen con facilidad.

Se atornillan los nuevos tornillos de grado 8.8 con doble tuerca y se destensan los sargentos en dicha unión comprobando que estos aguantan los esfuerzos a los que están sometidos.

Una vez ya están atornilladas todas las uniones se procede a realizar un apriete en cruz en cada una de ellas con el fin de que el ajuste sea el máximo posible. Antes de proceder con el apriete, se juntan

las piezas con sargentos de manera que el apriete se realice sin esfuerzo. Se realiza el apriete en todas las uniones accesibles y se vuelve a limpiar y despejar el habitáculo. Se mueve la antena a 0° y se aprietan el resto de las uniones. Una vez apretado y comprobado que las uniones se encuentran en unas condiciones adecuadas se analiza el funcionamiento que va a tener el mecanismo modificado.

Se sospecha que el paso de las ruedas horizontales por la zona de unión del conjunto de pletinas puede verse dificultada debido al incremento de la distancia al incluir esta nueva pletina. Se establece que el doble escalón generado debe ser rebajado de alguna forma para hacer más fluido el paso.



*Ilustración 19. Escalón generado en la unión al tubo.*

Para ello se realiza inicialmente un chaflán por la zona intermedia de forma coincidente con el paso de rueda, pero la solución no aporta seguridad suficiente. Se procede a colocar un tramo de 100 mm de longitud con chaflán a continuación de la pletina de forma que se separen los dos escalones. El tramo se corta de la pletina retirada, y se instala sujetándolo mediante dos tornillos en dos agujeros realizados en la base del tubo central para este propósito.

La unión entre ambas es soldada y suavizada de tal forma que ambos escalones ofrecen un paso más fluido.



*Ilustración 20. Elemento añadido para facilitar el paso de rueda horizontal.*

Una vez comprobado el estado de todo el mecanismo se limpia y despeja la zona. Se aplica recubrimiento sobre las zonas en las que se ha trabajado, se deja secar y se atornillan las cadenas de seguridad.



*Ilustración 21. Unión al tubo finalizada.*

Se da la alimentación del enrollador de la antena y se mueve en acimut hasta los 417° para asegurarse de que el estado y comportamiento de la pletina nueva es conforme a los estándares.

Además, se realiza un apriete en cruz en las uniones atornilladas de la pletina superior al detectarse en algunas de ellas que estaban sueltas.

- Día 08/08/2023

Se comprueba que el estado de las uniones realizadas con anterioridad es el correcto. Además, se comprueba que el paso de rueda no haya generado deterioros en las ruedas de paso ni en la pletina.

Se modifica la unión entre la cadena de seguridad y la pletina en la parte interna del enrollador instalando un cáncamo y un grillete, tal y como se puede apreciar en la *ilustración 11*. Se reduce la longitud de la cadena de seguridad hasta el punto de anclaje en un eslabón debido a que el conjunto cáncamo-grillete ofrece mayor distancia a la pletina que el sistema anterior.

Por otro lado, se detectan las zonas de la pletina en las que hay mayor óxido y que a largo plazo puedan generar un problema al coexistir con fluctuaciones de tensión (fatiga). Se retira el óxido y se aplica una capa de pintura para volver a protegerlo.

Por último, se comprueban las uniones atornilladas de las pletinas a las columnas y se detectan varios tornillos sueltos y otros con la cabeza cizallada.



## Reparación del enrollador acimutal de cables del radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yebes



*Ilustración 22. Ejemplo de unión con la cabeza del tornillo cizallada.*



*Ilustración 23. Conjunto de tornillos sustituidos con cabeza cizallada.*

Se procede a sustituir los cizallados y a realizar un correcto apriete en el resto.

- 04/09/2023

Se comprueba el comportamiento que tienen las cadenas de seguridad en todo el recorrido de la antena y se verifica que es el correcto exceptuando en la cadena más alejada en la pletina superior. Se detecta que se encuentra demasiado tensa y que está tirando de la pletina hacia la columna levemente. Para corregirlo se modifica el eslabón al que se engancha el grillete y queda en perfectas condiciones.



## 6. Conclusiones

El nuevo montaje de la pletina inferior genera una menor flexión en la primera pletina del enrollador, lo cual se traduce a una reducción en los esfuerzos soportados por este elemento en una zona tensional crítica.

Este nuevo montaje se traduce también en nuevos puntos de incertidumbre ya que se desconoce cómo se va a comportar el mecanismo frente a ese incremento en el número de capas de pletinas en el punto B. Este incremento origina un traslado horizontal de los puntos de conexión de la primera columna de unos 18mm.

Por otro lado, al sustituirse tan solo la pletina inferior se da lugar a un trabajo ligeramente asimétrico del mecanismo ya que la pletina superior sigue trabajando según el montaje inicial. Esto hace que se de cierta inclinación en las primeras columnas de los cables y, lo que es más relevante, a una distribución de esfuerzos desigual.

Debido a estos factores se realizan inspecciones de forma periódica con el fin de evaluar si el mecanismo se deteriora con mayor velocidad o el comportamiento es inadecuado.



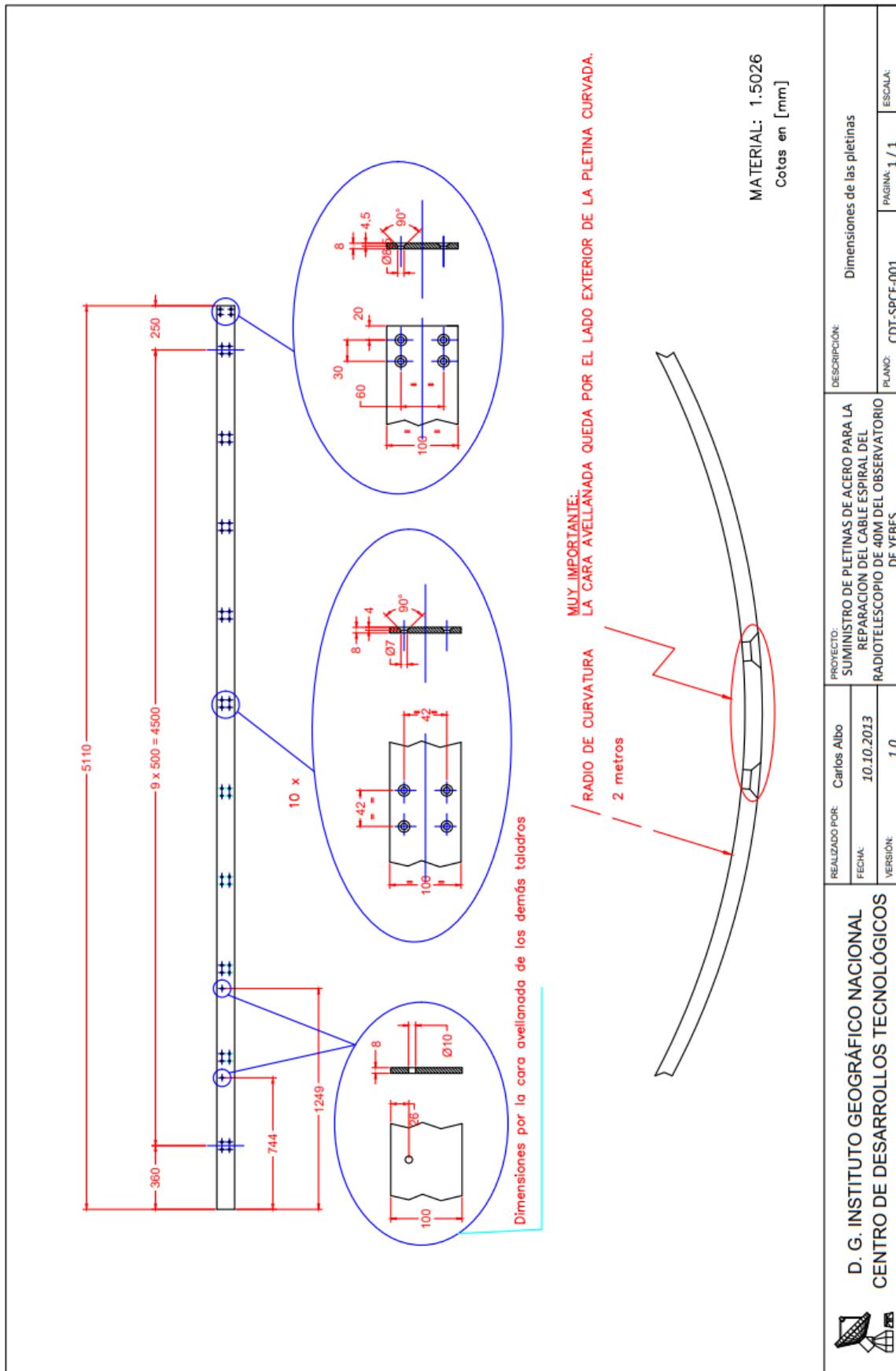
## 7. Anexos

Plano CDT-SPCE-001

Dimensiones de las pletinas .....23

Plano CDT-SPCE-002

Detalle de la unión atornillada del punto B .....24



 <p>D. G. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL CENTRO DE DESARROLLOS TECNOLÓGICOS</p>	REALIZADO POR: Carlos Albo	PROYECTO: SUMINISTRO DE PLETINAS DE ACERO PARA LA REPARACION DEL CABLE ESPIRAL DEL RADIOTELESCOPIO DE 40M DEL OBSERVATORIO DE YEBES	DESCRIPCIÓN: Dimensiones de las pletinas
	FECHA: 10.10.2013		PLANO: CDT-SPCE-001
	VERSION: 1.0		PAGINA: 1 / 1
			ESCALA:

