

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

C. Albo, J. Fernández, J.M<sup>a</sup>. Yagüe

Informe Técnico IT-CDT-2014-1

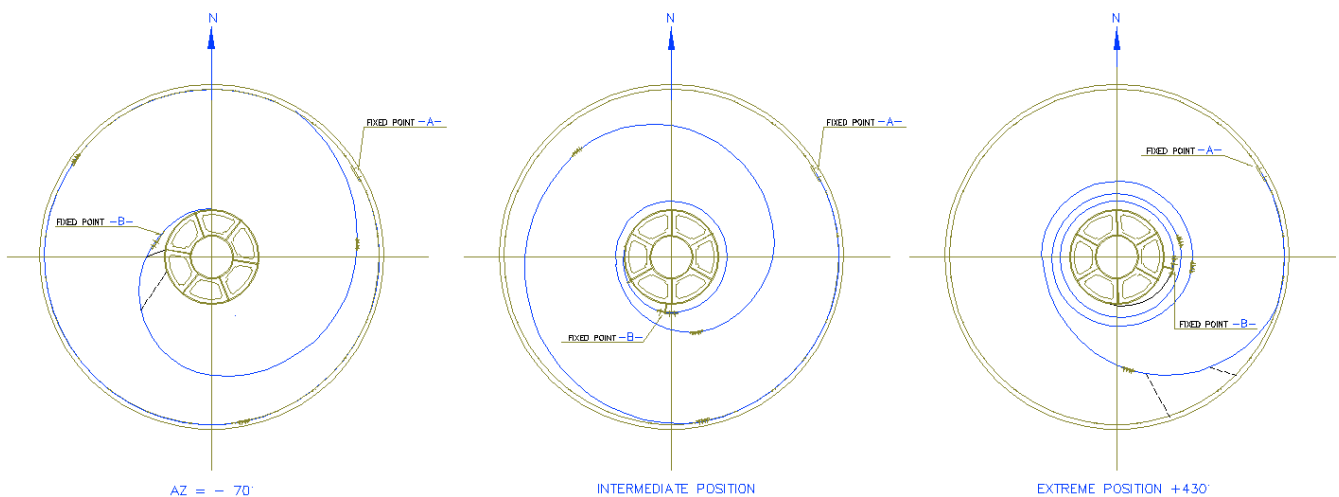


## Indice

<b>1</b>	<b>Descripción del enrollador de cables.</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Avería del enrollador.</b>	<b>3</b>
2.1	Deformación del suelo.	3
2.2	Rotura del enrollador.	5
<b>3</b>	<b>Reparación temporal del enrollador.</b>	<b>5</b>
3.1	Intento de modificar la pletina.	6
3.2	Reparación realizada.	6
<b>4</b>	<b>Reparación del suelo.</b>	<b>8</b>
4.1	Soluciones contempladas.	8
4.2	Trabajos previos.	12
4.2.1	Aumento de holgura en las juntas de chapas.	12
4.2.2	Fabricación de piezas.	13
4.3	Procedimiento de doblado de las chapas.	13
4.3.1	Normas de seguridad.	14
4.3.2	Pasos seguidos.	14
4.3.3	Historial de trabajos.	16
4.4	Resultados obtenidos.	25
<b>5</b>	<b>Sustitución de pletina del enrollador.</b>	<b>25</b>
5.1	Procedimiento de sustitución.	26
5.1.1	Consideraciones generales.	26
5.1.2	Desmontaje de la pletina.	26
<b>6</b>	<b>ANEXO.</b>	<b>32</b>

## 1 Descripción del enrollador de cables.

El enrollador de cables del radiotelescopio de 40 metros es una estructura con forma espiral que guía los cables existentes entre la torre de hormigón y la cabina acimutal durante el giro de la antenna en acimut. Su propósito es evitar que los cables sufran daño alguno durante dicho movimiento de la antenna. 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 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 antenna está en posición  $Az = -70^\circ$  la espiral está en su posición más abierta contra la estructura que la rodea. Cuando  $Az = 420^\circ$  la espiral está en su posición más cerrada, enrollada en el tubo.



**Figura 1.** Posiciones del enrollador.

A lo largo del enrollador existen un total de 38 columnas con 6 soportes para cables cada una colocados a distintas alturas. Dos pletinas, una en la parte inferior y otra en la superior 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 alternadamente en la base las columnas. Los rodamientos horizontales permiten el deslizamiento de una vuelta de la espiral con otra, e imponen una separación mínima de 124 mm entre vueltas para evitar coches entre las columnas. Consisten en ruedas colocadas horizontalmente en la parte superior e inferior de cada columna, justo a la altura donde están las pletinas. De esta forma una vuelta de la espiral apoya con sus ruedas en la siguiente vuelta más interna.

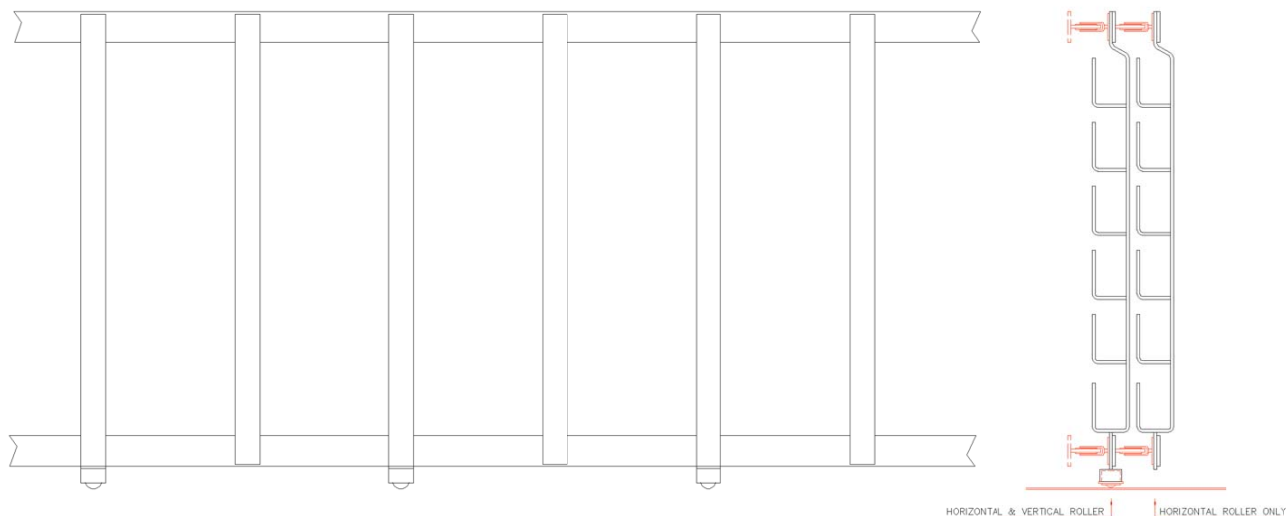


Figura 2. Columnas del enrollador.

El suelo por el que se desplaza la espiral tiene forma de corona circular. La superficie de rodadura la componen un total de cuatro chapas de acero inoxidable de 4mm de espesor, cada una formando un cuadrante de la corona. Bajo las chapas existe una estructura de vigas en forma de rueda de ocho radios, a las que están atornilladas. Cada chapa se apoya en tres radios, dos en sus extremos y otro en el centro. Los tornillos están dispuestos en todo el perímetro de las chapas y radialmente con dos filas en el centro. Los huecos de dicha estructura por debajo de las chapas están rellenos de lechada para obtener una superficie homogénea de apoyo.



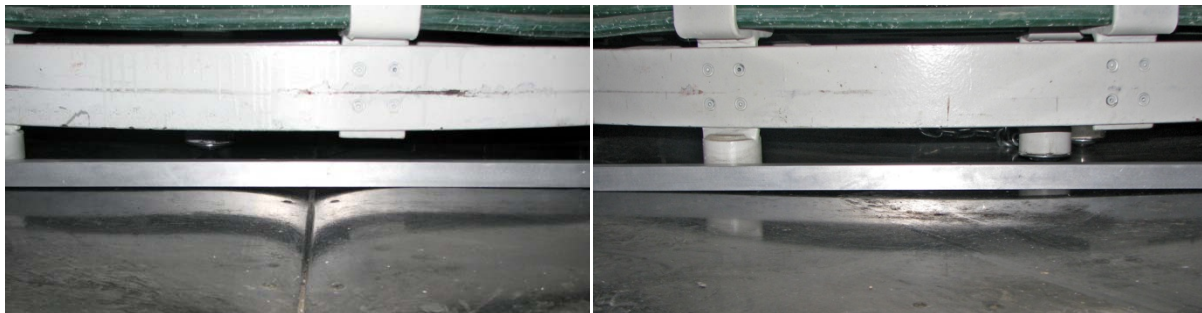
Figura 3. Base del enrollador debajo de las chapas de acero.

## 2 Avería del enrollador.

### 2.1 Deformación del suelo.

Durante el año 2012 empezaron a notarse ruidos provenientes del enrollador cuando la antena se movía en acimut. Estos ruidos fueron aumentando en intensidad hasta hacerse muy notables en 2013. Al examinar el movimiento de la espiral se comprobó que las bolas

de su base se quedaban encajadas en un surco formado a lo largo de las uniones entre chapas del suelo. Al seguir moviéndose la antena, la bola encajada se desplazaba a lo largo del surco hasta que la tensión acumulada en las pletinas de la espiral era suficiente como para sacar la bola fuera, momento en el cual se producía una sacudida en toda la espiral para recobrar un nuevo equilibrio. Muchas veces dicha sacudida estaba acompañada del encajamiento de otra bola en el surco de otra unión. Al analizar el suelo se observó que las chapas se habían abombado hacia arriba a lo largo del espacio existente entre las filas de tornillos de fijación a la estructura bajo ella. En los puntos de unión de chapas la deformación era considerable, formando los surcos mencionados a lo largo de casi toda la unión.



*Deformación en junta*

*Deformación en zona central*

**Figura 4.** Curvaturas de las chapas. Como referencia se tomó un perfil de aluminio de 30 mm de altura.

El motivo de esta deformación no está claro. Se sospecha que con el tiempo las chapas del suelo se han ido deformando debido a cambios de temperatura. Las chapas fueron colocadas a temperatura prácticamente de intemperie durante el mes de febrero, la época más fría del año. Al llegar el verano, la chapa tiende a expandirse y ejerce una fuerza de cizalladura a los tornillos perimetrales situados en los extremos lindantes a otra chapa. En el centro, al estar sujeta la chapa con dos hileras de tornillos a la misma viga, la sujeción es más fuerte y los tornillos reparten mejor la tensión transmitida por la chapa. Con el paso de los años los tornillos de los extremos han ido cediendo poco a poco, permitiendo que las chapas se deformen hacia arriba tras contactar con las chapas colindantes y formando así los surcos.

Debido a estos surcos, el comportamiento del enrollador ha ido empeorando. Cuando una bola de rodadura del enrollador se aproxima a un surco durante los movimientos en acimut, la bola se desliza hacia el fondo de la unión de las chapas. Una vez en el fondo, la bola se desplaza a lo largo del surco mientras la antena sigue girando. Esto fuerza al enrollador a abrirse o cerrarse (dependiendo del sentido de giro de la antena) aumentando la tensión en las pletinas. Cuando la tensión es suficientemente alta como para sacar la bola del surco, el enrollador experimenta una sacudida brusca sufriendo golpes con el cerramiento exterior o consigo mismo. Además, otra bola puede encajarse en otra junta de una forma violenta. El desplazamiento por los surcos de las juntas provoca además un movimiento vertical de la estructura del enrollador para el cual éste no está preparado.

## 2.2 Rotura del enrollador.

Las pletinas que forman el enrollador originalmente eran rectas. Durante el montaje se curvaron hasta encajar en su lugar formando la espiral. De todas ellas las pletinas unidas al tubo central son las que más están flexionadas. Durante el giro de la antena, las pletinas deberían flexionarse más o menos suavemente. Sin embargo, debido a la deformación del suelo la espiral ha sufrido tensiones importantes que no estaban contempladas en el diseño. Además, el desplazamiento vertical que realizan cuando los rodamientos suben y bajan las ondas del suelo provoca un stress añadido a los puntos de unión de las pletinas, especialmente el de unión al tubo central ya que las deformaciones en el suelo son más importantes en la zona interior del suelo.

Como consecuencia, la pletina superior de la espiral se ha roto por fatiga cerca del punto de unión al tubo central. En concreto ha partido por la zona donde se encuentran un par de taladros para la sujeción de la primera columna vertical. La rotura se produjo durante una observación y sin que el operador reparase en ello, por lo que la antena siguió trabajando. Al romper, la pletina se abrió y se enganchó con las ruedas horizontales de la siguiente vuelta mientras la espiral se cerraba. Como consecuencia, una de las ruedas fue arrancada y otra quedó seriamente dañada, mientras que la pletina se doblaba en sentido contrario. Las cadenas de seguridad evitaron que el daño fuese mayor.



*Aspecto de la pletina rota*

*Aspecto de los daños en la zona enganchada.*

**Figura 5.** Daños en la pletina superior debido a la rotura.

## 3 Reparación temporal del enrollador.

La solución para reparar la rotura del enrollador ha sido desde un principio la de sustituir la pletina rota por otra nueva. También se contempla la posibilidad de cambiar la pletina homóloga inferior por varios motivos. Por un lado, aunque a simple vista no presenta daños, es posible que esté dañada en el mismo punto debido a que ha sufrido lo mismo que la pletina superior. Por otro lado, es conveniente que las pletinas inferior y superior del mismo tramo sean idénticas.

El tiempo estimado para la fabricación de las nuevas pletinas es alto. El material del que tienen que estar fabricados no es común, y además requiere que sean mecanizadas, dobladas, tratadas térmicamente y finalmente pintadas. Sin contar el transporte esto pueden ser más de un mes desde que se hace el pedido. Para que la antena no esté

parada durante un largo periodo de tiempo, se ha buscado una solución temporal para reparar la pletina rota.

### **3.1 Intento de modificar la pletina.**

El primer intento consistió en volver a doblar la pletina a su posición original. Se intentó doblarla calentando con un soplete la zona por la que se curvó sin resultados.

El siguiente paso fue cortar la pletina por el siguiente punto de anclaje a una columna vertical e intentar doblar el tramo en la prensa del taller. Sin embargo el trozo de pletina se rajó, volviéndose completamente inservible.

### **3.2 Reparación realizada.**

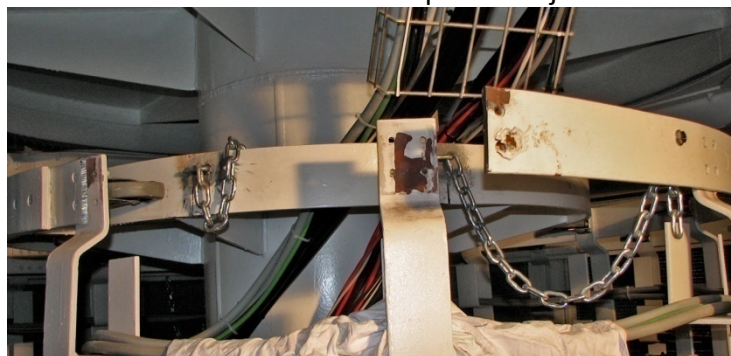
Tras el fracaso de intentar devolver a la pletina su forma original, se optó por colocar un nuevo tramo de pletina para sustituir la zona dañada, que como se observa en la Figura 6, está entre dos columnas del enrollador. El nuevo tramo se coloca entre las dos columnas utilizando la mitad de los taladros de cada columna para su fijación. La otra mitad de los taladros de las columnas servirán para fijar la pletina. Como refuerzo en las dos uniones se coloca una pletina por encima.

El material disponible en el taller o que se puede adquirir rápidamente con el espesor necesario no es flexible. Por ello se ha optado por utilizar varias chapas superpuestas de acero inoxidable. En concreto se han utilizado ocho chapas de 1 mm de espesor por no disponer de espesores mayores. De esta forma se tienen los 8 mm de espesor de la pletina.

El montaje se ha realizado con la antena a 0 grados de acimut para poder tener espacio para trabajar y como punto intermedio aproximado de flexión de las chapas.

Los pasos realizados para la reparación han sido los siguientes:

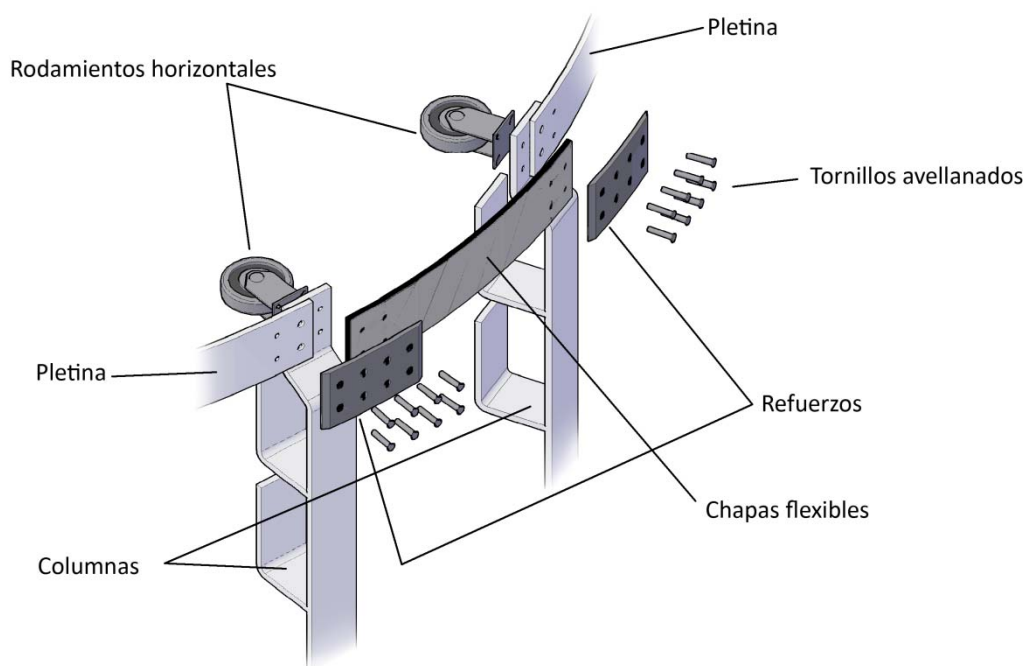
1. Se sanea la pletina cortándola entre los taladros para la sujeción de las columnas.



**Figura 6.** Pletina saneada para su reparación.

2. Se fabrican ocho chapas de acero inoxidable de 1 mm de espesor según el plano CDT-M40-REN-003.
3. Se fabrican tres refuerzos según el plano CDT-M40-REN-004.
4. Se colocan las piezas según la siguiente figura:





**Figura 7.** Montaje de la reparación.

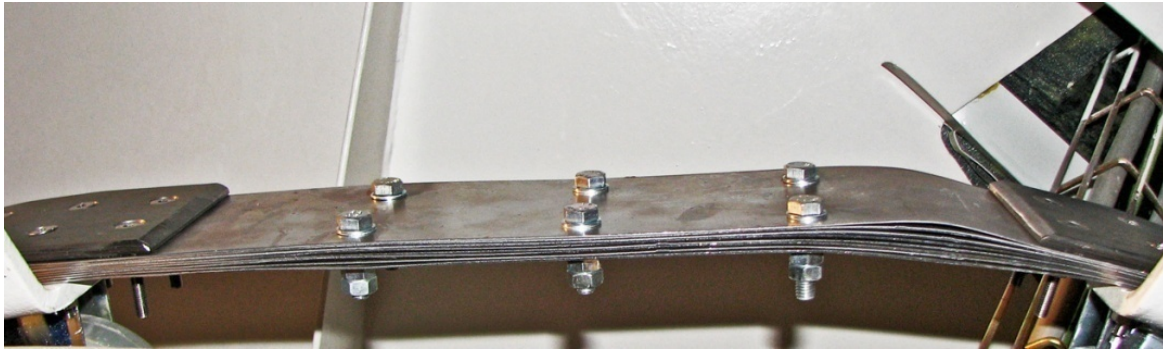
Los tornillos avellanados son M6 de 40 mm de longitud, con sus correspondientes arandelas y tuercas en el extremo final.

5. El tercer refuerzo se coloca en la pletina inferior quitando los tornillos de la rueda y haciendo los cuatro restantes.

Tras varias pruebas para observar cómo se comporta el tramo reparado, se observa que cuando la antena está en posiciones por debajo del acimut de reparación (0 grados) las pletinas empiezan a separarse de forma que la más interna queda tensa mientras que el resto se abomba, como se observa en la Figura 8. Para repartir mejor las tensiones en dichas posiciones se han colocado varios tornillos a lo largo de las pletinas que limitan el espaciamiento entre ellas. La holgura existente cuando las planchas están juntas con cada tornillo es de aproximadamente 2 mm.



*Chapas sin tornillos*



*Chapas con tornillos*

**Figura 8.** Comportamiento de las chapas flexibles con acimut = -70 grados.

## 4 Reparación del suelo.

Para que el enrollador no siga teniendo el comportamiento defectuoso descrito anteriormente, es imprescindible encontrar una solución al problema que presenta la deformación de las chapas del suelo. De no ser así se corre el riesgo de aparecer nuevas averías en el enrollador que pueden ocasionar incluso la rotura de cables.

### 4.1 Soluciones contempladas.

Han sido varias las soluciones contempladas para solucionar el problema. A continuación se describe brevemente todas ellas:

#### 1. Sustitución de las planchas por otras iguales.

Se trata de sacar las chapas actuales y poner una nuevas de idénticas dimensiones. Esta solución se estudió junto con MT-Mechatronics. Es la solución más directa, pero sin embargo es bastante complicada de llevar a cabo. Esta solución tuvo dos variantes;

##### a. Trabajar con chapas enteras.

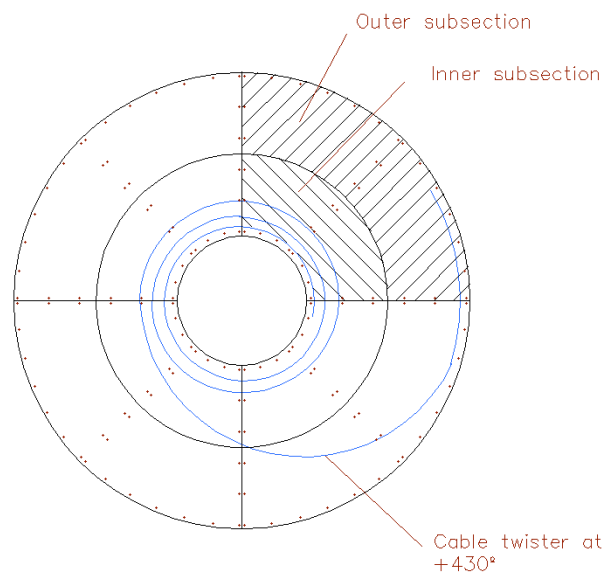
Las chapas se extraen y meten con las dimensiones originales. Implica tener que cortar dos postes que sujetan el techo del enrollador por su base para disponer del espacio suficiente para sacar y meter las chapas. Requiere además tener todo el enrollador sin apoyarse en el suelo, para lo cual se necesita colocar una serie de puntos de anclaje en el techo con el fin de levantarlo. La zona donde se cortan los postes debe de ser reforzada para que no se hunda al quedarse sin apoyo.

El montaje necesario es complejo, y se descarta.

##### b. Trabajar con chapas más pequeñas.

El suelo se dividiría en ocho chapas en lugar de cuatro y en forma de corona circular, como indica la Figura 9. Con la antena a -70 grados de acimut, se pueden cortar las chapas deformadas y extraer las partes interiores. Solo es necesario levantar un tramo corto de la espiral según el trozo de chapa que se extraiga, lo que facilita mucho el trabajo. Una vez extraída un trozo se pueden instalar uno nuevo en su lugar. Terminada la sustitución

de las chapas interiores se mueve la antena a +420 grados de acimut, lo que permite trabajar con las chapas exteriores. Igualmente es necesario levantar un pequeño tramo de la espiral. Una vez completada la sustitución, se podrían soldar las distintas secciones de forma que queden cuatro cuadrantes como originalmente estaban dispuestas. Sin embargo MT-Mechatronics considera que la soldadura final en una chapa fina la deformaría y no quedaría plana, por lo que habría que dejarlas sin soldar. Entonces podrían aparecer escalones si una chapa se deforma de distinta manera que otra a lo largo del tiempo.



**Figura 9.** División de las chapas del suelo.

Se podría realizar con cortes radiales, de forma que en lugar de cuatro juntas hubiese ocho, pero esto requeriría levantar toda la zona de la espiral apoyada sobre la zona afectada, lo cual complica el trabajo.

El trabajo se reduce considerablemente. Las chapas son mas pequeñas y pueden pasar entre dos postes, por lo que no es necesario cortar ninguno. Además el tramo a levantar de la espiral es mucho más corto y fácil de realizar.

## 2. Instalación de planchas del doble de grosor encima de las existentes.

Esta solución es planteada por MT-Mechatronics. Consiste en colocar planchas del doble de espesor por encima de las existentes. Las juntas nuevas quedarían en el centro de las planchas originales de forma que las nuevas juntas quedan bien asentadas y los surcos de las juntas originales quedan cubiertos por la plancha.

Esta solución no mejora la anterior en cuanto a complejidad de la operación.

## 3. Relleno de los surcos con masilla.

Se trata de rellenar los surcos con masilla de reparación de metales tipo NURAL 43. De esta forma se crea una superficie continua aproximadamente horizontal entre las uniones de chapas.

Llevar a cabo esta solución implica tener que mezclar a mano las barras de masilla y aplicarlas correctamente sin burbujas de aire. La superficie final deberá ser completamente lisa. La única forma de conseguirlo sería rellenar hasta superar los montículos del surco y repasar más tarde con una lijadora o amoladora.

Esta solución no elimina los montículos, y la espiral seguiría sufriendo movimientos en la vertical al pasar por ello. Además las planchas quedarían completamente condenadas al no poder acceder en un futuro a los tornillos situados en las juntas, lo que limitaría acciones futuras.

#### 4. Instalación de dos rodamientos adicionales de suelo a cada lado de cada rodamiento actual.

La idea es impedir que el rodamiento se quede encajado en el surco gracias a que siempre hay un rodamiento apoyando en el borde del surco. Para ello se colocaría un rodamiento igual a cada lado del original, a una distancia lo suficientemente cerca para que ninguno pueda encajarse en un surco. En la Figura 10 se muestra como quedaría cada punto de rodadura. Los dos rodamientos se soldarían a una pletina atornillada a la columna entre esta y el rodamiento horizontal.

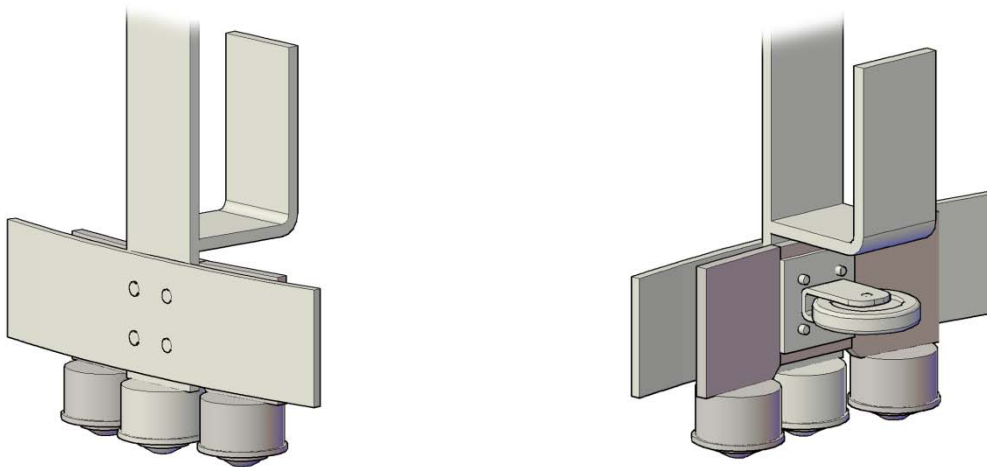
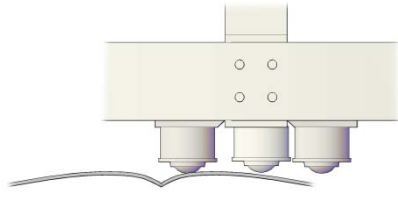
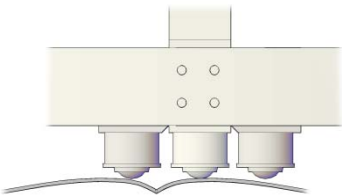
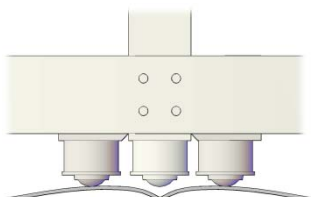
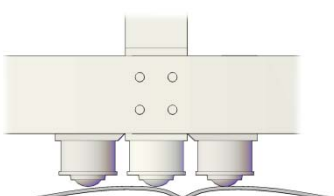
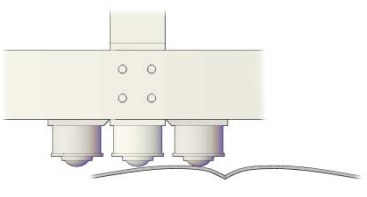


Figura 10. Instalación de dos rodamientos adicionales. .

La siguiente figura muestra un posible comportamiento del conjunto en una de las juntas. No se puede asegurar a ciencia cierta que fuese a ser como se explica, pero supone una idea de cómo se evita el surco. Los rodamientos pasan de derecha a izquierda. Según la posición en cada momento el punto de contacto con el suelo va cambiando de uno a otro, pero nunca se queda una bola encajada en la junta.

1		<p>El rodamiento de la izquierda es el que contacta con el suelo según se sube la loma de la junta. Cuando el rodamiento de izquierdo empieza a bajar, en un momento dado el contacto pasa al rodamiento central.</p>
2		<p>El rodamiento central mantiene el contacto con el suelo hasta que el izquierdo ha pasado por encima del surco. En un momento dado el izquierdo vuelve a hacer contacto con la siguiente chapa.</p>
3		<p>El rodamiento central pasa por encima del surco. El contacto con el suelo lo tiene el rodamiento izquierdo con la chapa siguiente hasta que el derecho contacta con la chapa anterior o el central con la chapa siguiente.</p>
4		<p>El contacto con el suelo lo tiene el rodamiento central contacta con la chapa siguiente. El rodamiento derecho empieza a pasar sobre el surco.</p>
5		<p>Cuando el rodamiento derecho pasa el surco es quien hace contacto con la siguiente chapa.</p>

**Figura 11.** Desplazamiento del soporte propuesto por una junta .

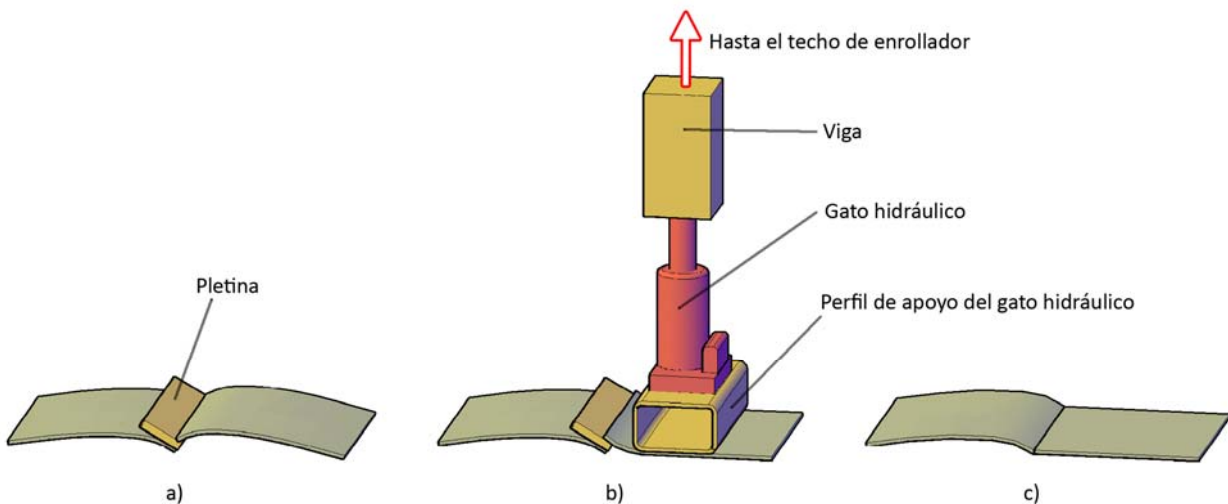
La complejidad de esta solución radica en la instalación de los nuevos rodamientos, que deberán estar fijados a la misma columna que el original y nivelados a la misma altura.

Esta solución no impediría los desplazamientos verticales de las columnas del enrollador al pasar por los bordes de los surcos.

##### 5. Curvado de los bordes en las juntas para dejar las chapas planas.

Este método consiste en doblar los bordes que se han curvado en sentido contrario para devolverle la planitud. Después se atornillan al suelo con nuevos tornillos y con más cantidad para asegurar que la chapa no vuelva a deformarse por los extremos.

El curvado se hace con la chapa en su sitio, pues no se puede desmontar sin las operaciones previas de levantamiento de la espiral y corte de soportes del techo ya mencionados en otras soluciones contempladas. El procedimiento se muestra en la Figura 12. Primero se desatornilla el extremo a curvar, se levanta e introduce una pletina debajo de forma que la chapa apoye sobre la pletina solo por el borde (a)). Entonces se aplicaría una fuerza sobre la chapa al lado de la pletina para doblar la chapa de la forma deseada (b)). Después se quita la pletina y se atornilla la chapa ya plana al suelo (c)).



**Figura 12.** Procedimiento de curvado de las chapas

La fuerza para presionar la chapa se haría con un gato hidráulico que se apoya en el suelo a través de un perfil para distribuir la fuerza y, mediante un tablón adecuado, hace tope con el techo. Al accionar el gato el suelo irá bajando. La experiencia dirá cuanto curvar la chapa en sentido contrario de forma que quede plana tras la operación.

Este procedimiento es considerado el más adecuado. No implica realizar trabajos complejos ni se tocan partes importantes de la estructura. Por tanto, es la solución elegida para reparar el suelo del enrollador.

## 4.2 Trabajos previos.

A continuación se detallan los trabajos realizados antes de comenzar con las operaciones de curvado de las chapas.

### 4.2.1 Aumento de holgura en las juntas de chapas.

A lo largo de todas las juntas, las chapas presentaban una amplia zona con deformación situada en la parte central. En las zonas interior y exterior las chapas estaban lisas o tenían una ligera deformación poco importante. En la zona con deformación, las chapas hacían contacto una con la otra. En el resto había zonas con holgura y zonas que estaban en contacto pero no habían llegado a deformarse.

El primer paso fue abrir una separación entre las chapas en aquellas zonas donde había contacto o estaban a menos de 1 mm de distancia. Para ello se repasaron las juntas con una sierra radial con un disco fino (1,5 mm de espesor) a lo largo de estas y con cuidado

de no tocar la viga de la estructura inferior. Se trabajó con la antena en varias posiciones para ir accediendo a todas las zonas que era necesario mecanizar.

Tras terminar con el trabajo se aspiró toda la zona del enrollador para limpiarla del hollín.

#### **4.2.2 Fabricación de piezas.**

Como vigas para utilizar entre el gato y el suelo del enrollador se utilizaron maderos de distintas dimensiones. Además del madero vertical, en la mayoría de las ocasiones se necesitó colocar horizontalmente maderos justo por debajo del techo para apuntalar la viga vertical al techo en zonas donde no había una viga metálica de la estructura del techo.

Como interfase entre el gato y la viga se fabricó una pieza metálica en la que encajase tanto la viga vertical como el pistón del gato, de forma que al aplicar fuerza ambos se mantuviesen unidos. La parte superior consistió en un recipiente cuadrado de 10 cm de profundidad donde encajar el madero. La parte inferior consistió en un cilindro con un hueco en el centro donde encajar el pistón del gato. Ambas piezas se atornillaron solidariamente.

#### **4.3 Procedimiento de doblado de las chapas.**

Durante el desarrollo de los trabajos se fue mejorando el procedimiento con cambios en las herramientas utilizadas, haciéndolo más efectivo.

Inicialmente se probó a presionar con un gato de 1,5 Tn sobre un perfil de 40x40x300 mm y sin pletina en el borde debajo de la chapa. Este método no produjo ningún cambio en el curvado de la chapa. Al presionar con el gato la chapa se podía dejar completamente lisa contra el suelo. Sin embargo, a pesar de mantenerla en esta situación durante horas, al quitar el gato la chapa recobraba su forma anterior.

Después se probó a introducir un perfil cuadrado y macizo de aluminio de 10x10mm y 1,5 m de longitud debajo de la plancha a la altura del borde. La plancha quedaba completamente levantada a lo largo de todo el borde. Se utilizó el mismo perfil anterior para apoyar el gato. Se consiguió doblar la chapa. Sin embargo, tanto poner como quitar el perfil de aluminio es muy complicado por el rozamiento que tiene con la chapa.

Para la siguiente chapa se utilizó como pletina un perfil de 60x60x6 mm y 600 mm de longitud. También se probó con dos gatos de 1,5 Tn y un perfil para apoyarlos de 40x40 y 500 mm de longitud.

Al trabajar en una chapa uno de los gatos se estropeó por sobreesfuerzo. Entonces se pasó a utilizar uno de 5 Tn. Este también se averió, por lo que finalmente se trabajó con uno de 10 Tn. El perfil bajo la chapa pasó a ser un L de 100x100x10 con 500 mm de longitud, y el gato se apoyó en un perfil de 80x120 mm con 6 mm de espesor 135 mm de longitud. Esta combinación resultó bastante efectiva, y se terminaron los trabajos con ella sin más modificaciones.

### 4.3.1 Normas de seguridad.

Durante las operaciones de doblado se utiliza material pesado y madera. Además se somete a mucha presión las herramientas y materiales utilizados. Como medida de seguridad se deben cumplir las siguientes indicaciones:

- Los trabajos deben ser realizados por dos operarios en el interior del enrollador.
- Habrá una tercera persona de apoyo disponible en el exterior del enrollador.
- Los operarios en el interior deben llevar siempre puestos cascos y guantes de protección.

### 4.3.2 Pasos seguidos.

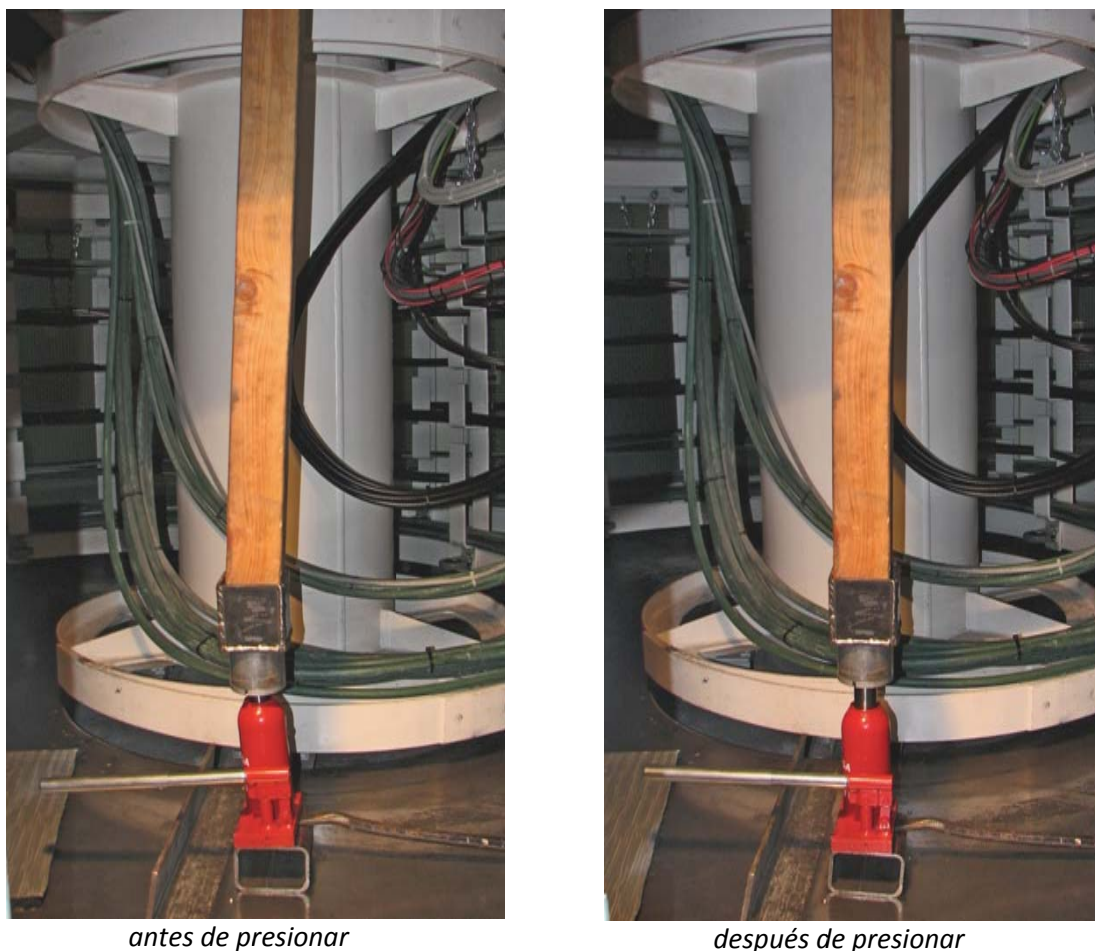
#### 1. Soltar la plancha.

- a. Se quitan tres tornillos consecutivos del borde circular interior a contar desde la junta.
- b. Se quitan al menos dos tornillos consecutivos del borde circular exterior a contar desde la junta.
- c. Se quitan todos los tornillos a lo largo de la junta. En alguna ocasión ayuda presionar con el gato al lado de la junta para liberar de tensión al tornillo.
- d. Algunos tornillos estaban sesgados y presentaban la cabeza suelta.
- e. Muchos tornillos tuvieron que aflojarse con un destornillador de golpe. En algunos casos el tornillo no salía o la cabeza se estropeaba. En ese caso se taladró la cabeza del tornillo con una broca de 5 mm de diámetro.

#### 2. Doblar la plancha

- a. Levantar la plancha con ayuda de un destornillador grande, una palanca de uña y un cortafríos.
- b. Introducir el perfil en L debajo del borde. Aproximadamente se debe introducir no más de 1 cm, dependiendo del curvado que presente.
- c. Colocar el soporte del gato sobre la plancha, a unos 3 cm del borde y al inicio del tramo apoyado en la L. Colocarlo en paralelo con la L. El extremo del soporte no debe estar a menos de 3 cm del extremo de la L para evitar que la plancha se deforme radialmente al apretar.
- d. Colocar el gato encima del soporte.
- e. Colocar un madero vertical encima del gato.
- f. Apuntalar el madero sobre una viga estructural del techo. De no ser posible utilizar otros maderos como travesaño entre vigas estructurales.
- g. Colocar una cuña metálica en la base del gato de forma que se incline ligeramente hacia la junta. De esta forma se enderezará al ir bajando la plancha a doblar. Como cuña se utilizó la punta de la barra de uña.





*antes de presionar*

*después de presionar*

**Figura 13.** Montaje del gato para doblar las chapas.

- h. Presionar despacio el gato. El soporte se inclinará debido a la inclinación que fuerza la chapa, pero gracias a la cuña, cuando más fuerza hace el gato éste está vertical.
- i. Tras unos segundos soltar el gato despacio. Mientras un operador afloja el gato otro debe sujetar los maderos.
- j. Manteniendo el perfil L en su sitio, desplazar el gato, su soporte y el madero vertical en paralelo al perfil y solapando al menos 1 cm la nueva posición con la antigua.
- k. Repetir los pasos d) a j) hasta llegar al otro extremo del perfil L.
- l. Desplazar el perfil L a lo largo de la junta solapando la nueva posición varios centímetros con la anterior.
- m. Repetir los pasos d) a k).

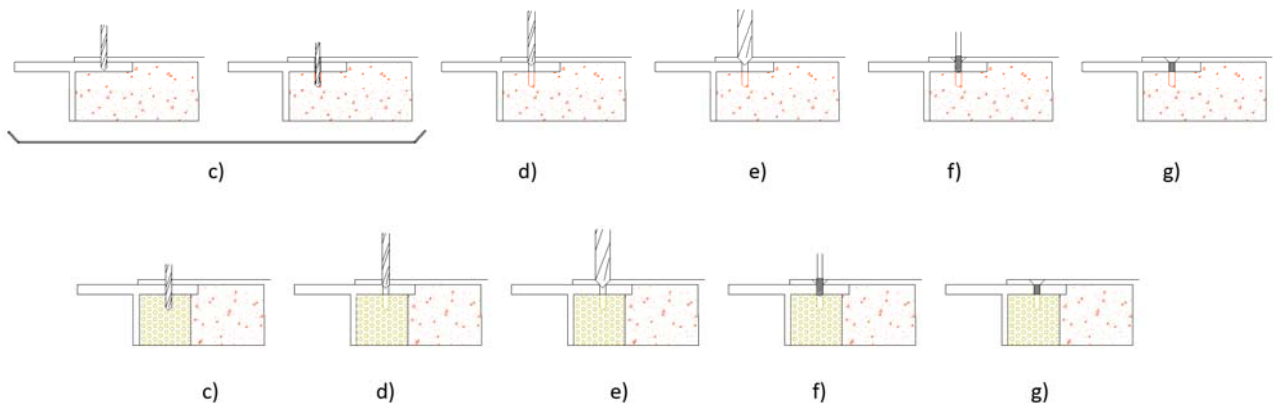
Este procedimiento se realizará a lo largo de la junta en el tramo donde la chapa presenta la deformación.

### 3. Atornillar la plancha

- a. Comprobar el material existente debajo de la viga de la estructura del suelo. Lo correcto es que se instalase poliespan para que la lechada de hormigón no se metiese debajo y así poder taladrar y roscar sin problema, pero durante el

montaje no se puso en determinados sitios y debajo puede haber hormigón. Para comprobarlo es necesario introducir un objeto en alguno de los agujeros libres de tornillos.

- b. Presionar con el gato la plancha para que quede pegada al suelo.
- c. Taladrar con broca de 5 mm de diámetro la plancha y la viga juntas. En caso de que hubiese hormigón hay que parar aproximadamente a 1 mm del final de la viga con la broca de metal y seguir con una broca multiuso de 5 mm de diámetro hasta perforar el hormigón del orden de 1 cm.
- d. Taladrar con broca de 6 mm de diámetro solo la plancha.
- e. Avellanar la plancha con una broca de 12 mm de diámetro.
- f. Roscar a M6 la viga.
- g. Atornillar con tornillo.



**Figura 14.** Atornillado de las chapas. Arriba con hormigón bajo la viga. Abajo con poliespan..

Los materiales utilizados han sido:

- Brocas HSS-Co de 5 mm de diámetro.
- Brocas multiconstrucción BOSCH de 5 mm de diámetro.
- Brocas HSS-Co de 6 mm de diámetro.
- Brocas HSS de 12 mm de diámetro.
- Tornillos M6x15 mm hallen avellanado de acero inoxidable

### 4.3.3 Historial de trabajos.

A continuación se resumen los trabajos realizados con las fechas de ejecución. Las fechas no son consecutivas por ir realizando trabajos según la disponibilidad del radiotelescopio.

La Figura 15 muestra la disposición del suelo del enrollador. Se han numerado las juntas (1,2,3,4) y chapas (A,B,C,D). También está representada la estructura exterior de sujeción del techo (vigas doble T verticales) y de vallado del enrollador para evitar el acceso no autorizado al interior. A la derecha se encuentra el hueco en el vallado para acceder al

interior del enrollador, que puede servir de referencia para situar las chapas y juntas. La zona roja de la junta muestra donde se ha encontrado hormigón, mientras que en la zona amarilla se encontró poliespan.

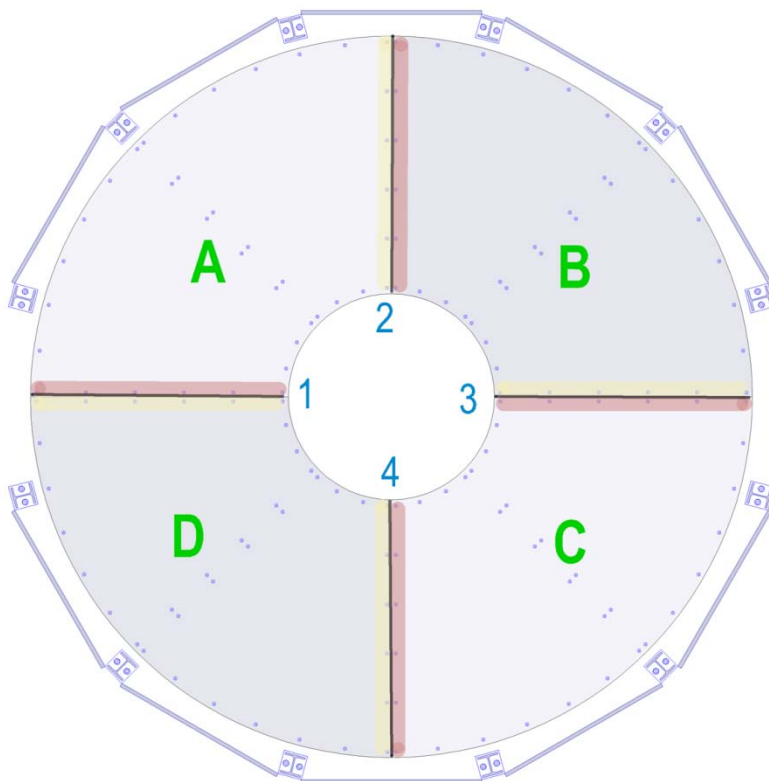


Figura 15. Disposición de chapas y juntas.

02-09-2012

Con una radial se realizan cortes en las juntas de las chapas del suelo para darlas holguras.

Se coloca un gato de 1,5 Tn con el que se aplasta el suelo. Se deja el gato puesto. Se observa que al aplastar el gato casi desaparece la holgura realizada.

03-09-2013

Se quita el gato. Parece que la chapa ha cedido algo pero muy poco.

11-09-2013

Se intenta doblar la chapa-D en la junta-1 introduciendo una barra de 10x10x1500 mm de aluminio debajo de la chapa a la altura de la junta y aplastarla con un gato al lado de la junta. Para levantar la chapa se quitan 3 tornillos en el borda interior y exterior de la chapa-D contiguos a la junta-1. Cuesta mucho esfuerzo. Todos los radialmente colocados están rotos o sin rosca. Los que se resisten se quitan fácilmente aplastando ligeramente la

chapa. Los circulares se quitan pero con un destornillador de golpe y muy mal, y suelen presentar la rosca dañada.

Se coloca la barra cuadrada de aluminio debajo de la chapa justo en el borde. Es necesario levantar la chapa por la junta e ir golpeando el extremo libre de la barra con un martillo.

Se utilizan dos gatos para aplastar la chapa. Se deja así una hora. Al quitar los gatos se observa que algo se ha avanzado, pero un tramo ha quedado levantado lo suficiente como para no poder mover la antena.



**Figura 16.** Estado de la chapa-D tras ser doblada.

Se deja un gato aplastando esa zona hasta el día siguiente. El siguiente paso será fijarlo con tornillos.

12-09-2013

Se suelta el gato y se comprueba que la chapa vuelve a su estado anterior.

Se marcan y realizan los taladros en la chapa antes de aplastarla. De esta forma la broca no toca el hormigón y se evita que se desfile. Los tornillos para la viga se taladran a 4,2 para que sirvan de guía al taladrar la viga. El acero es muy duro y se quemaron 3 brocas.

Se coloca el gato y se taladra en la viga a 4,2 (para roscar a M5) y en el hormigón a 6. El hormigón se taladra sin problemas. Después se hace el taladro de 5 para los tornillos de la viga. Con la presión para taladrar se pasa el taladro de 5 a la viga y hace imposible colocar los tornillos M5. Se decide ponerlos de M6.

Se taladran los agujeros de la viga a 5 (excepto uno que se puede poner un tornillo M5). Se quita el gato y se taladran los agujeros de la chapa a 6. Se avellan con una broca de 12. Se vuelve a colocar el gato y se roscan los taladros de la viga. Se colocan los tornillos. Algunos requieren retocar el avellanado porque la cabeza del tornillo asoma ligeramente.

Se suelta el gato y la chapa se mantiene sujeta.



**Figura 17.** Estado de la chapa-D tras ser atornillada

En rojo los tornillos fijados a la viga. El último de la derecha es el de M5.

En amarillo los tornillos fijados al hormigón.

16-09-2013

Se revisan visualmente los tornillos. Todos están en su sitio.

23-09-2013

Se taladra y se colocan los tornillos restantes de la chapa-D en la junta-1.

Se aflojan los tres tornillos de los bordes circulares interior y exterior de la chapa-A para prepararla para ser doblada.

Se aflojan los tres tornillos del bordes interior de las chapa B y C contiguos a la junta-3. Será la siguiente junta donde trabajar debido a la deformación de la chapa-C.

24-09-2013

Se introduce la barra de aluminio debajo de la chapa-A a la altura de la junta-1. Cuesta mucho debido a que la chapa no levanta por la esquina de entrada de la barra. Por algún motivo se encuentra anclada al suelo muy cerca de ese punto, aunque no se ve tornillo alguno. al final se ve un punto de soldadura con la estructura en el borde exterior.

09-10-2013



**Figura 18.** Montaje para doblar las chapas con dos gatos.

Se intenta doblar de nuevo la chapa metiendo esta vez una pletina (perfi L) de 5mm por debajo desde el lateral. Se ponen los gatos y se aplasta la chapa. Sin embargo no se detecta apenas resultados.

Se procede a taladrar con los gatos puestos. Se detecta que debajo de la viga soporte hay hormigón, por lo que hay que proceder con cuidado:

- a. Se taladra la chapa a  $\phi 3$  mm. Se marca en una barra metálica la profundidad. Se podrá taladrar otros 7 mm más sin peligro de dañar la broca.
- b. Se taladra la chapa a  $\phi 6$  mm con cuidado de no perforar la viga.
- c. Se taladra la viga a  $\phi 5$  mm hasta los 7mm.
- d. Se pone una broca multiusos de  $\phi 5$  para terminar de perforar la viga y taladrar el hormigón al menos 1 cm de profundidad.
- e. Se rosca la viga con cuidado de no llegar al hormigón.
- f. Se colocan tornillos de longitud 15, 12 o 10 mm según se haya conseguido roscar.

No se va a seguir atornillando al hormigón. se considera que lo más importante es mantener la junta lo más plana posible sin importar si la chapa se curva algo entre la junta

y la unión en la mitad, pues no será importante y no afectará al movimiento del enrollador.

### 10-10-2013

Se termina de atornillar la junta-1.

Situación final de la junta-1:



Figura 19. Estado de la junta-1 tras los trabajos.

### 11-10-2013

Se continúan quitando tornillos en los bordes exterior e interior de las chapas alrededor de las juntas.

Se quitan las verjas del enrollador donde quedan las juntas para trabajar con espacio.

### 14-10-2013

Se quitan todos los tornillos de la plancha-B en la junta-1. Esta placa tiene un punto de soldadura justo en el borde exterior que también se quita.

Se levanta el borde interior de dicha plancha y se come la junta unos 2 milímetros para que no toquen las chapas.

Esta vez se introdujo un perfil L de 10mm de espesor, introduciendo una longitud de 1 cm. Tras introducir el perfil bajo el borde de la plancha se aplasta esta con el perfil cuadrado y dos gatos a unos 5 cm de distancia del borde.

La plancha-B en la junta-1 solo está abombada entre los tornillos 2 y 5, donde se introduce el perfil.

Se empiezan poniendo tornillos

#### 15-10-2013

Se termina de poner los tornillos de la plancha-B en la junta-1. Se pegan cabezas de tornillo cortadas en los huecos para los tornillos antiguos.

#### 25-10-2013

Se prueba a aplastar la deformación importante que presenta la plancha-C en el borde interior cercano a la junta-3. La plancha cede con un gato prácticamente hasta el fondo. Presenta unas estrías producto de la deformación. Al aplastar el borde interior se levanta considerablemente. Para evitar que esto ocurra cuando se trate de deformar, se fabricará una pieza con borde circular de 1 cm de espesor con aristas muy suavizadas que se colocará debajo. Con un taco de madera encajado con el tubo central se puede evitar que se levante.

Sin embargo, se decide no aplanar el boyo. Parece no ser necesario porque no está en la zona de rodadura de las bolas. En estos momentos la zona más interior de rodadura es buena, y se puede ser afectada por cualquier intento de deformación de la plancha.

#### 30-10-2013

Se dobla la plancha-C en el extremo de la junta-3.

El gato más antiguo empieza a perder aceite por su base y hay que prescindir de él. Se lleva a reparar, pero informan que no tiene reparación.

Se procede a ir doblando con un solo gato apoyándolo directamente en la plancha y desplazándolo de 10 en 10 cm (aproximadamente el largo de su base).

La zona interior ha quedado levantada tras la operación.

Se empiezan a poner tornillos desde el borde más exterior hacia el interior. La plancha tiene corcho por debajo de la viga. Se colocan dos tornillos.

#### 31-10-2013

Se terminan de poner los tornillos.

Con la radial, se repasan los bordes de las planchas en algunos sitios donde han quedado a distinto nivel y con arista viva, de forma que se quita la arista para no dañar las bolas.

La junta-3 queda terminada.

#### 06-11-2013



Se quitan tornillos de los bordes interiores y exteriores de las planchas en las juntas 2 y 4. Los tornillos que se quitan son dos por plancha y borde.

#### 07-11-2013

Se quitan tornillos de la plancha-C en la junta-4, la siguiente en peor estado. Los tornillos salen enteros pero sin rosca. Hay corcho debajo de los agujeros.

Se intenta doblar la plancha con un solo gato. Se pone el perfil cuadrado largo sin resultado. Se intenta con el corto pero apenas se nota cambio. La plancha se levanta unos 3 mm. Puesto que ha surgido una observación de la EVN para mañana se decide dejar el suelo preparado. Se colocan tornillos nuevos donde os antiguos, que roscan lo suficiente en la viga.

#### 14-11-2013

Llegan las ruedas horizontales y se aprovecha para instalarlas. Sin problema.

Se comprueba que la columna de cables se puede separar de la pletina lo suficiente como para instalar una pieza de anclaje de cara a la sustitución de la pletina.

#### 20-11-2013

Se desmonta el gato de 5Tn para el criostato S-C-CH. Se modifica la pieza de interfase con el tablón para poder utilizar el gato. Se empieza a trabajar con el en la plancha-C/junta-4. Se intenta doblar apoyando el gato sobre el perfil rectangular grande de espesor 6mm sin aparente resultado. Se utiliza el corto con ese mismo perfil y se dobla fácilmente.

Se consigue doblar y atornillar toda la plancha. No tenía hormigón debajo.

El gato se estropea después de tenerlo apretando la plancha para atornillar. Se ve que no le gusta sobrecargarlo. Se baja para arreglar y se compra otro de 10Tn.

Se empieza a quitar los tornillos de la plancha-D/junta-4. No se puede ni aplastando la plancha. El del medio se rompe, y los otros dos se taladran. Como estos tornillos se encuentran en los extremos de la parte deformada, con la plancha aplastada coincide el taladro en la plancha con el esparrago del tornillo en la viga, por lo que se procede a taladrar todo el tornillo y poner en su lugar tornillos de diámetro 6. Se comprueba que hay hormigón debajo.

Se deja todo listo para una observación mañana por la mañana.

#### 21-11-2013

Se modifica la pieza de interfase con el tablón para poder utilizar el gato de 10 Tn. Mientras se empieza a quitar tornillos de la plancha-A/junta-2.

En cuanto está el gato listo se doble la plancha-D en la junta-4. Se dobla solo entre el segundo y cuarto tornillo contando desde el interior. Hay una rueda cerca de la junta y

sobre la plancha en el lado más exterior que impide poder meter el perfil con facilidad más hacia el exterior. De todas formas no parece muy deformado en ese lugar.

Se empieza a atornillar. En dos sitios el tornillo no rosca. El diámetro de la rosca ha quedado mas grande que el del tornillo.

Se queda un poco levantada por la zona más interior de la junta. Se repasa la arista con la radial para que no quede viva de cara a las observaciones de la tarde.

#### 22-11-2013

Se intenta enderezar la plancha poniendo un tope por debajo en un lado de la deformación y apretando con el gato en otro lado, quedando la deformación entre ellos. Mejora, pero la plancha sigue sin pegarse al suelo aunque se aplaste al lado. Al final se sospecha de que roza con la plancha-C. Se repasa el borde con la radial y ya se puede bajar. Esto ocurre en otro punto, por lo que se repasa con un disco fino toda la parte de la junta que se ve más delgada.

Se ponen los tornillos. Se repasa con la radial una zona algo elevada de la plancha.

Se da por terminada la junta-4.

#### 25-11-2013

Se empieza a trabajar en la junta-2. Se terminan de quitar los tornillos de la chapa-A. Se dobla la chapa. Se empieza a taladrar y poner tornillos.

#### 26-11-2013

Se terminan de poner los tornillos de la chapa-A. Se quitan los de la chapa-B y se dobla. Se repasa con una radial una zona de posible roce entre chapas. Se empieza a taladrar y poner tornillos.

#### 27-11-2013

Se termina de taladrar y poner los tornillos de la chapa-B. Se quita el tornillo saliente existente en la chapa-A cerca de la junta-2.

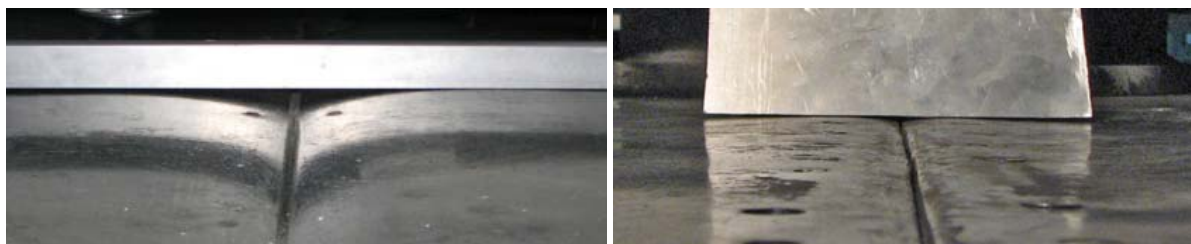
#### 28-11-2013

Se trata de mejorar el estado de la chapa-D en la junta-1 utilizando el nuevo gato. Se vuelven a soltar los tornillos de la chapa-D a lo largo de la junta-a. Se dobla el borde de nuevo y se atornilla. Se aprovecha para cambiar el tornillo de 5 por otro de 6 y añadir uno nuevo en el lugar de uno antiguo roto.

#### 4.4 Resultados obtenidos.

Tras finalizar los trabajos de reparación del suelo, se realizaron varios giros de 360 grados de la antena, empezando a 0,5 grados/segundo y terminando a 2 grados/segundo. El comportamiento fue muy aceptable. El enrollador no se encajó en ninguna junta y sus movimientos fueron suaves. En algunas zonas a bajas velocidades se encaja pero apenas permanece en dicha situación y se desencaja en breve sin experimentar tirones.

La siguiente figura muestra el estado de la junta-1 antes y después de los trabajos en la zona de máxima deformación.



*Antes*

*Después*

**Figura 20.** Estado de la junta-1 antes y después de los trabajos.

## 5 Sustitución de pletina del enrollador.

El material de las pletinas del enrollador es, según la documentación del radiotelescopio, acero 1.5026. Esta designación es estándar alemán, y su equivalencia europea es EN-56Si7. Se trata de una aleación de acero con un elevado límite elástico y resistente a la fatiga por torsión y flexión. Es utilizado habitualmente en la fabricación de muelles para amortiguadores.

En un principio se pensó sustituir las pletinas inferior y superior del tramo dañado. Solo se rompió la superior, y la inferior no presentaba daños. Sin embargo dos aspectos hicieron pensar que lo más conveniente era sustituir las dos. Por un lado, es posible que la pletina presente alguna fisura no visible a simple vista en el mismo punto. Por otro lado el enrollador fue montado a partir de pletinas rectas que se fueron flexionando durante el montaje hasta adquirir la curvatura necesaria. Para poder montar de una manera sencilla la pletina nueva, es necesario que ya venga curvada para poder introducirla en el habitáculo del enrollador. Esto supone que el comportamiento de la pletina superior nueva puede ser distinto al de la pletina original inferior al poder estar sometidas a distintos esfuerzos de flexión.

Tras la sustitución de la pletina superior, se decidió no proceder con la sustitución de la inferior. El ensamblado de la pletina al tubo no se corresponde con lo indicado en los planos y fue necesario cortar la pletina con cierto riesgo para el operador debido al poco espacio disponible. Se comprobó además que la curvatura que presentaba la pletina superior una vez liberada era prácticamente la misma que la de la pletina nueva cuando ambas estaban libres. Por lo tanto no es de esperar un comportamiento diferente entre la pletina inferior original y la nueva. Por último el refuerzo colocado en la misma zona donde rompió la pletina superior da seguridad a la pletina.

La adquisición de las dos pletinas no ha sido sencilla. Están fabricadas a partir de un acero especialmente flexible. Sus dimensiones son grandes y muy poco habituales en este tipo de acero. Además tiene que tener una serie de taladros avellanados para sujetar las columnas situados en unos puntos con bastante precisión. Por último necesitaba tener una cierta curvatura para poder introducirla en el enrollador de forma sencilla y segura y un tratamiento al calor para templarlo.

La adquisición se hizo a través de una empresa especializada en el trabajo con estructuras de acero, que se encargó de adquirir el material y mecanizarlo de forma apropiada. La pletina solo se encontró con espesor de 10 mm, por lo que tuvo que ser mecanizada para rebajar el espesor a los 8 mm requeridos. Las dimensiones de las pletinas se encuentran en el apartado 6 ANEXO.

## **5.1 Procedimiento de sustitución.**

### **5.1.1 Consideraciones generales.**

Las pletinas pueden estar sometidas a una tensión desconocida de antemano por el hecho de ser originalmente rectas y encontrarse curvadas en el enrollador. Para realizar las operaciones es obligatorio el uso de casco, guantes de piel resistentes y gafas de protección.

Para trabajar con la menor tensión posible en las pletinas, la antena se ha girado en sentido contrario a las agujas del reloj de forma que la espiral del enrollador se abra. La posición final debe permitir trabajar con la herramienta en toda la longitud de la pletina a sustituir. La posición de trabajo ha sido de -50 grados.

Durante todo el procedimiento la antena no puede moverse. Una vez situada en la posición de trabajo se debe desactivar la antena, apagar el rack de alimentación de los servomotores de acimut y bloquear con llave el interruptor.

Para evitar un posible desplome de las columnas de sujeción de los cables al soltarlas de la pletina superior, se han asegurado con cuerdas. Una vez desmontada la pletina se ha comprobado que las columnas no se han desplazado notoriamente de su posición original.

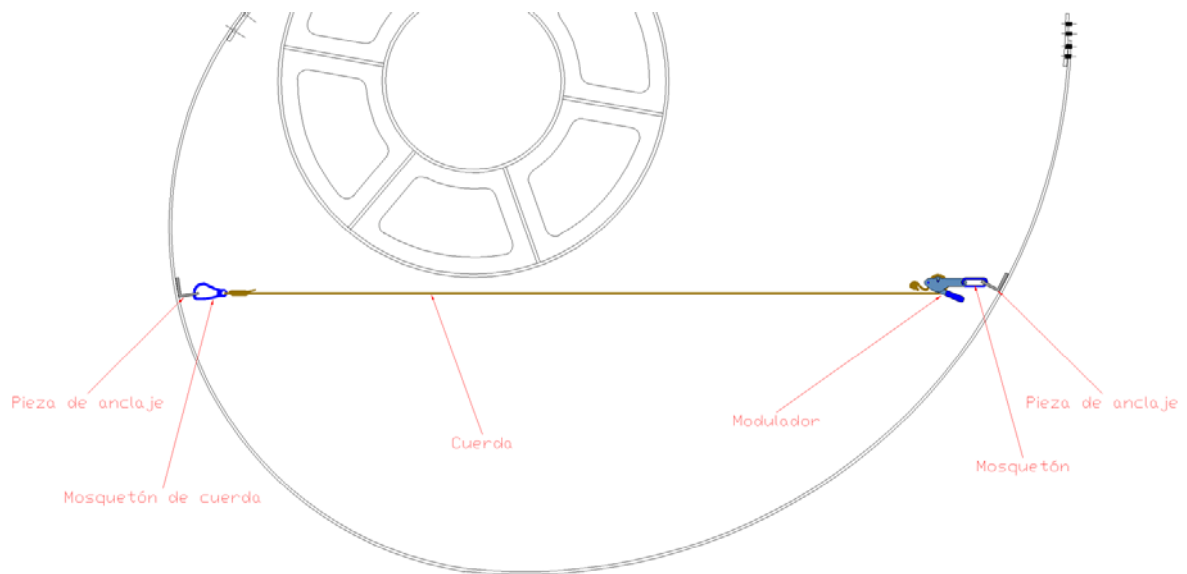
Todos los tornillos, tuercas y arandelas originales se desechan y se colocan nuevos elementos en su lugar. Los tornillos nuevos son de calidad 9.10, capaces de soportar mayor par de apriete que los originales.

### **5.1.2 Desmontaje de la pletina.**

#### **1. Asegurar la pletina.**

La pletina se asegura de dos maneras. Por un lado se asegura su estado de curvatura para evitar que se abra durante los trabajos de desmontaje y extracción. Por otro lado se sujeta al techo para sostenerla durante los trabajos de desmontaje.

Para asegurar la curvatura se utiliza una cuerda que une los dos puntos más alejados de la pletina que se pueden juntar mediante una línea recta. Para sujetar la cuerda se han fabricado unas piezas que se pueden atornillar a la pletina utilizando los agujeros existentes para fijar las columnas.



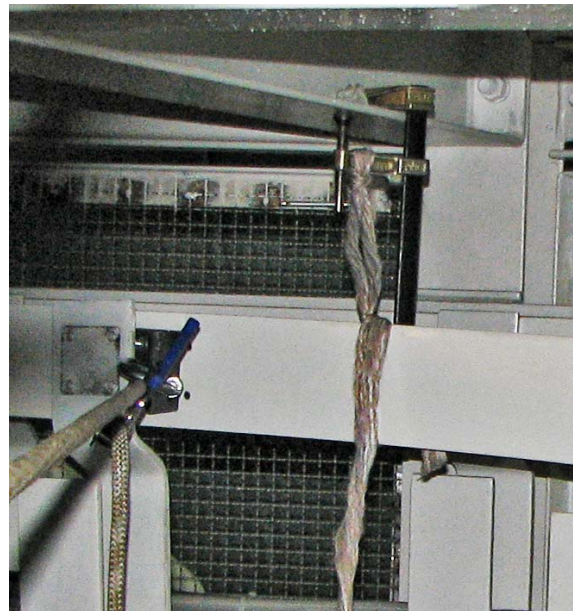
**Figura 21.** Aseguramiento de la curvatura de la pletina durante las operaciones de desmontaje y montaje.

Los anclajes a la pletina se colocaron a la altura de la segunda columna por cada extremo. Una vez realizado el montaje de la figura se acciona la palanca del modificador y se tensa la cuerda. Al soltar la palanca del modificador la cuerda queda tensada.

El anclaje al techo se realiza mediante tres sargentos que se aseguran al techo a los que posteriormente se ata una cuerda que a su vez sujeta la pletina, como se aprecia en la b)



a)

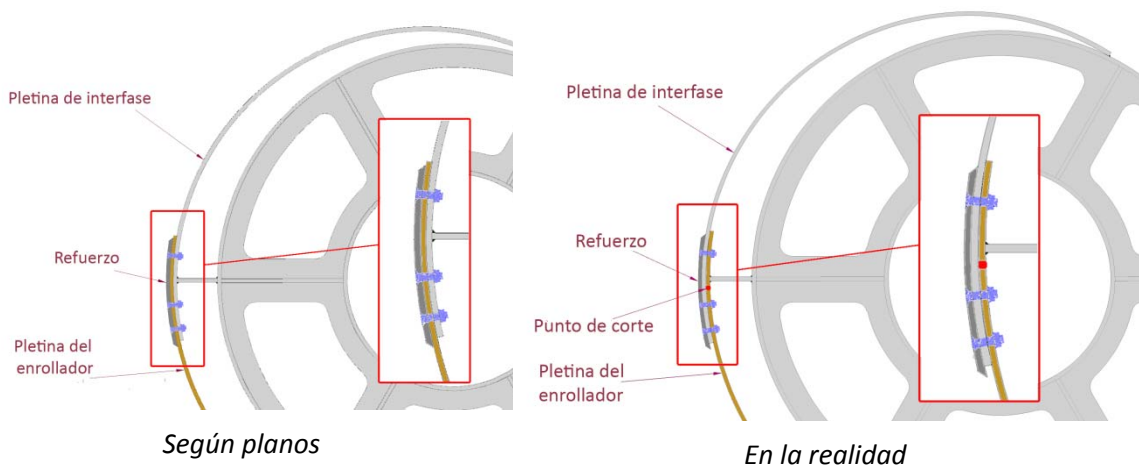


b)

**Figura 22.** Aseguramiento de la pletina.

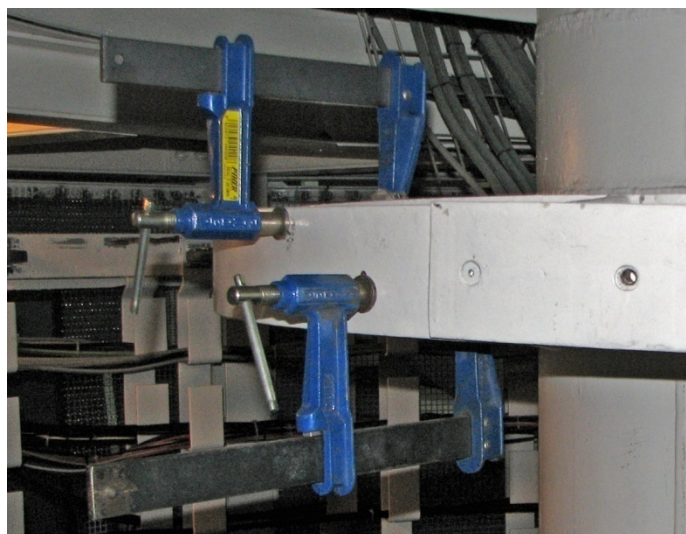
## 2. Cortar la pletina en la unión al tubo.

Desacoplar la pletina del punto de anclaje al tubo central se ha complicado debido a un error en la construcción del enrollador. Como se observa en la Figura 23, existe una diferencia importante entre los planos y la realidad. A la izquierda se muestra el diseño en plano. La pletina (marrón) va atornillada a la pletina de interfase (gris claro), que está soldada al tubo. Para soltar la pletina hubiese bastado con quitar los tornillos y la pieza de refuerzo (gris oscuro). A la derecha se muestra el montaje real. La pletina va soldada al tubo. Sobre la pletina se apoya la pletina de interfase y por último el refuerzo. La forma más sencilla de soltar la pletina del enrollador es cortarla por el punto marcado en rojo. Después se quitan los tonillos y la pletina queda libre para soltarse.



**Figura 23. Fijación de la pletina al tubo.**

Para cortar la pletina se tubo que introducir la sierra entre el tubo y esta. La operación ha resultado complicada por el difícil acceso de la sierra. Antes se han colocado unos sargentos de seguridad para que el único tornillo que queda puesto no rompa por la tensión a la que lo sometería la pletina de interfase (curvada a partir de una forma recta para darle la forma actual).



**Figura 24. Sargentos de seguridad en unión al tubo.**

3. Soltar la pletina en la unión con la siguiente pletina.

La unión entre pletinas del enrollador se realiza gracias a una pletina auxiliar de 160 mm de longitud a la que se atornillan las pletinas en sus extremos. Para soltar la pletina a sustituir solo hay que quitar los tornillos correspondientes a dicha pletina. Antes de quitarlos hay que colocar un sargento como seguridad que mantenga las pletinas unidas durante la operación.

4. Soltar las columnas

Las columnas van sujetas a la pletina mediante cuatro tornillos, que también sirven para sujetar los rodamientos horizontales.

5. Soltar la pletina en la fijación.

Por último se quitan los tornillos de la pletina en la unión al tubo. El extremo se puede mover para pasarlo por fuera de la estructura de la unión y así quedar totalmente liberada la pletina.

6. Destensar

La pletina no se puede sacar fácilmente con la cuerda de seguridad puesta. Se comprobó que era fácil doblarla más a mano, por lo que se consideró que no estaba sometida a mucha tensión en su posición actual. Por ello, se soltó poco a poco la cuerda de seguridad actuando en el modulador. La pletina se abrió muy poco después de soltar completamente la cuerda, por lo que se esta se quitó por completo.

7. Soltar la pletina de los puntos de sujeción al techo.

8. Sacar la pletina de la estructura del enrollador.

El espacio que queda entre el techo y el anillo superior exterior de apoyo del enrollador es de 146 mm. A esa altura se está por encima del enrollador, por lo que no se interfiere con las columnas ni los cables. Es por esa zona por donde se extrae la pletina.



**Figura 25.** Extracción de la pletina del enrollador..

8. Cortar pletina nueva según corte de la antigua.

Se midió la longitud de pletina que quedó en el enrollador. Se marcó en la nueva pletina y se cortó con cierto chaflán para poder realizar posteriormente una soldadura correcta.

9. Colocar la pletina nueva.

La pletina se introdujo por el mismo sitio por el que se extrajo la antigua. Se situó en su sitio y se sujetó al techo utilizando los mismos puntos de sujeción de la pletina antigua durante su desmontaje.

10. Fijar en unión con la siguiente pletina.

Se colocó el extremo de unión con la siguiente pletina en su lugar con ayuda de un sargento y se fijó a la pletina de unión.

11. Fijar con sargento en la unión a tubo

Se manipuló el extremo de unión al tubo para introducirlo entre el tubo y la pletina de interfase. El movimiento se hizo con facilidad. Una vez en su sitio se fijó con un sargento.

12. Atornillar columnas.

Se fueron atornillando las columnas una a una. Con ayuda de un sargento se llevaban a su sitio y se colocaban los tornillos junto con los rodamientos horizontales. El apriete final se dio cuando todas las columnas estaban atornilladas.

En el caso de la primera columna a continuación del tubo no se instaló el rodamiento horizontal. Este estaba bastante deformado debido a la presión a la



que ha estado sometido. Hay que tener en cuenta el error de montaje explicado en el punto 2. Este error implica que la pletina está a una distancia al tubo de 10mm menos de lo diseñado, por lo que el primer rodamiento queda literalmente aplastado. Se ha observado que la pletina inferior está doblada hacia afuera entre la unión y el primer rodamiento debido a este hecho.

En lugar del rodamiento se colocó una pletina con los correspondientes taladros para los tornillos.

### 13. Taladrar y atornillar en fijación a tubo.

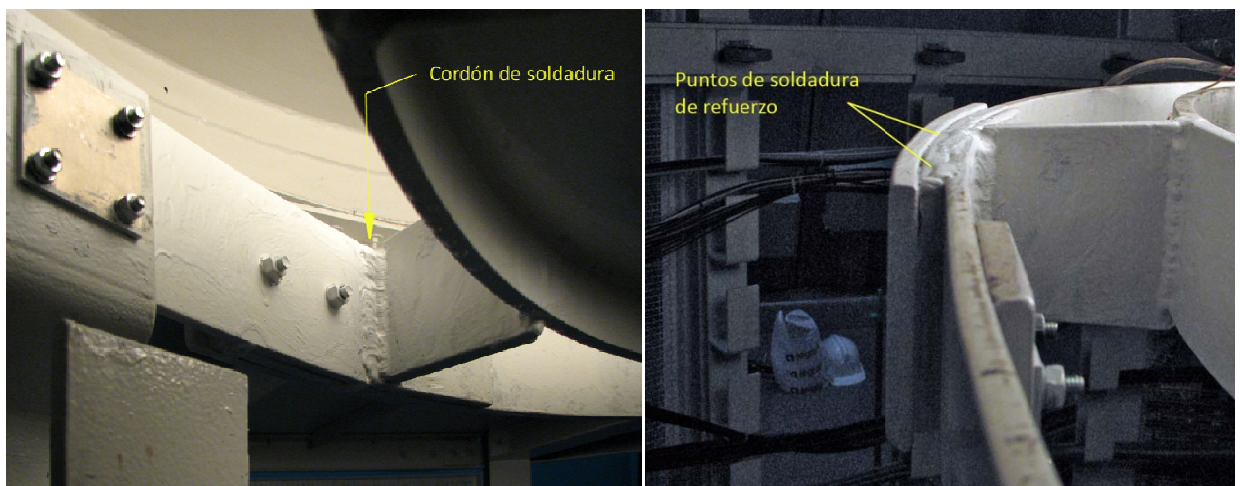
Con el sargento aún puesto en la unión al tubo, se realizaron los dos taladros para los tornillos de unión y se colocaron los tornillos. Después se soltó el sargento.

### 14. Soldar la pletina.

Se soldó la pletina nueva con el extremo de la antigua con un cordón vertical entre la pletina y el tubo. Además se dieron varios puntos de soldadura entre la pletina nueva y la de interfase por los cantos superior e inferior con el fin de reforzar la unión.

### 15. Pintar la soldadura.

Se limpió y pintó la zona de soldadura para evitar su corrosión. El estado final se observa en las siguientes figuras.



**Figura 26.** Soldadura de la pletina en la unión al tubo.

## 6 ANEXO

Plano CDT-SPCE-001

Dimensiones de las pletinas .....33

Plano CDT-M40-REN-002

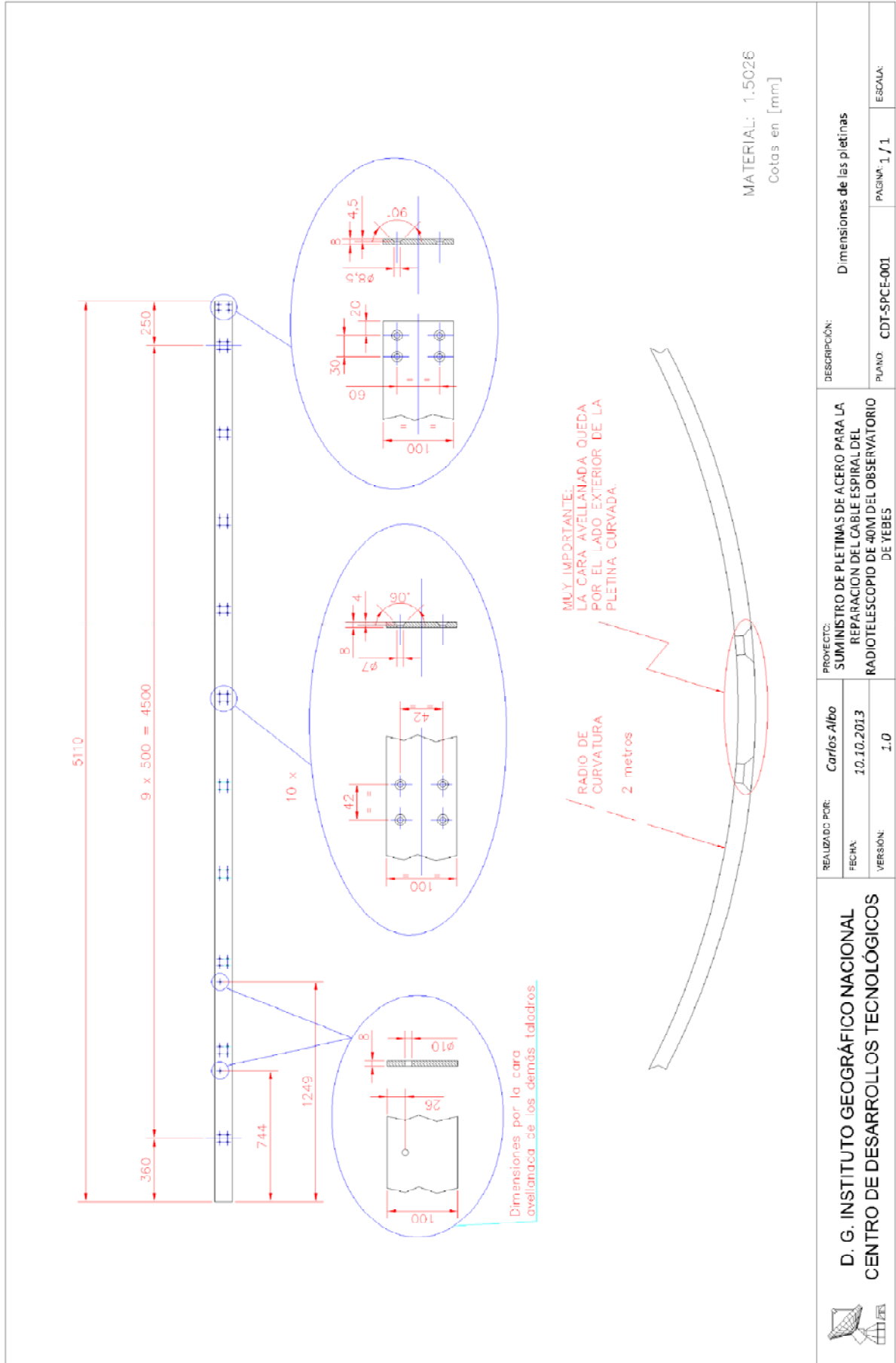
Piezas de anclaje .....34

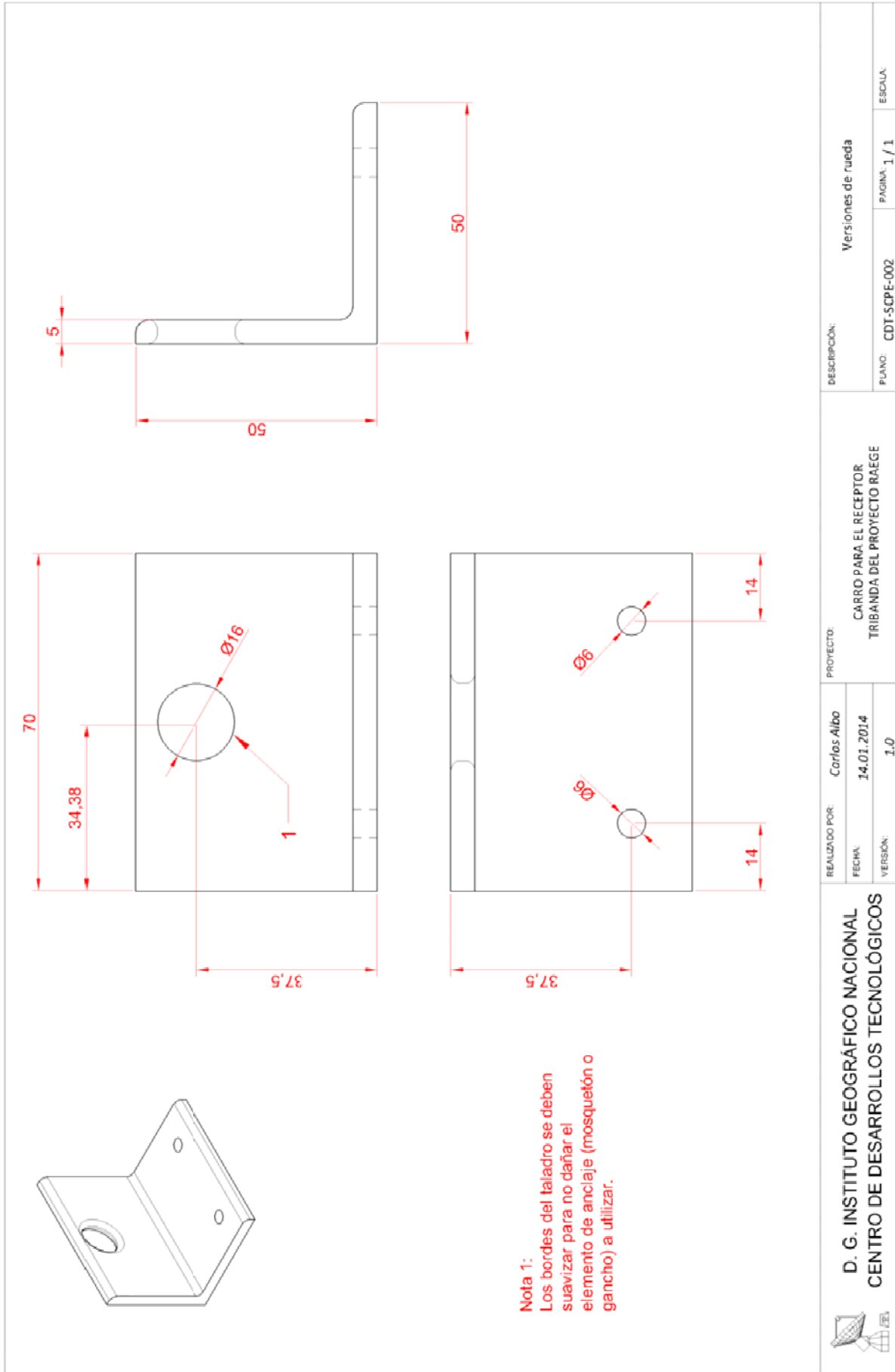
Plano CDT-M40-REN-003

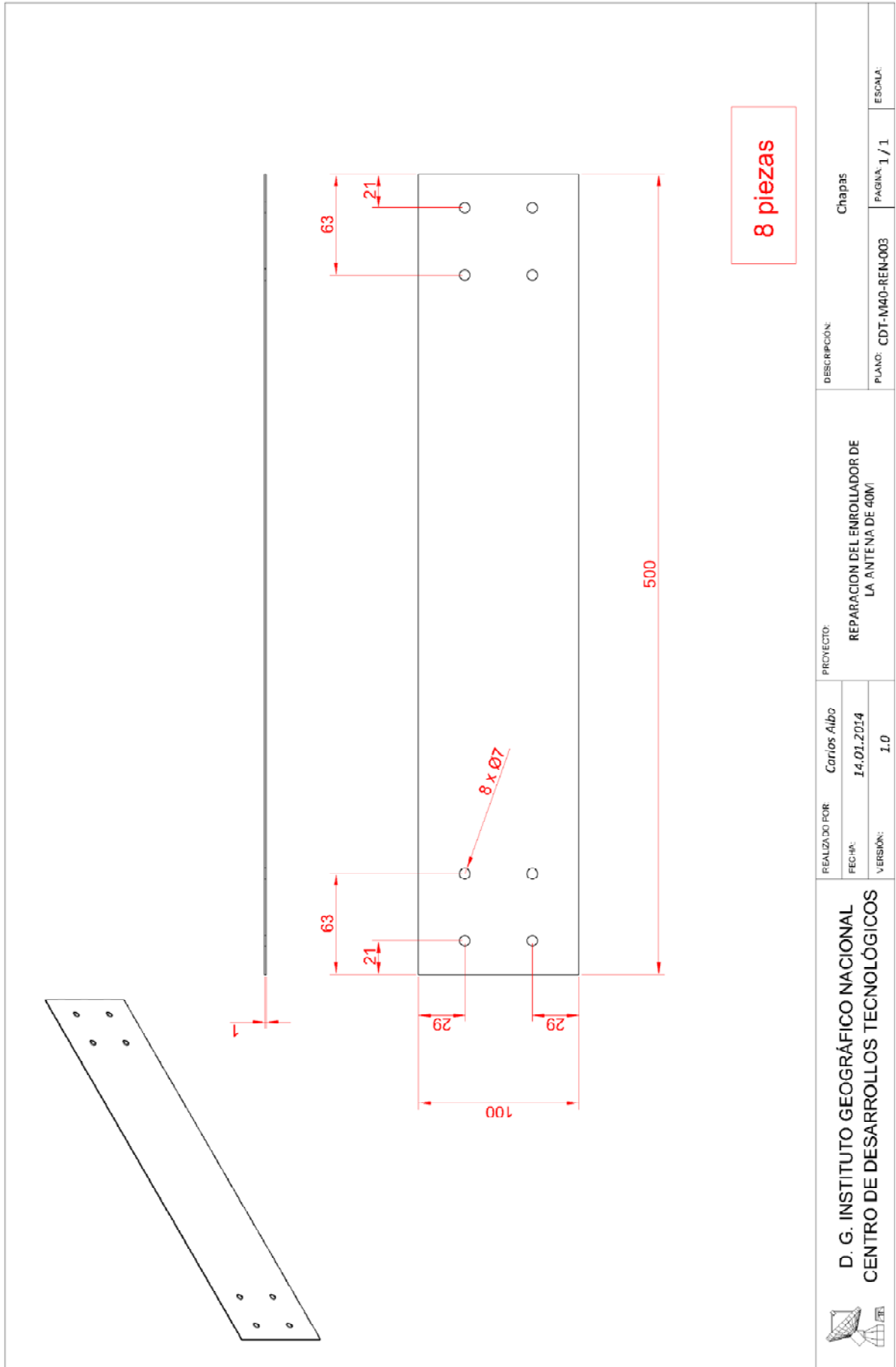
Chapas .....35

Plano CDT-M40-REN-004

Refuerzos.....36







 <p>D. G. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL CENTRO DE DESARROLLOS TECNOLÓGICOS</p>	REALIZADO POR: <i>Carios Albo</i> FECHA: <i>14.01.2014</i> VERSIÓN: <i>1.0</i>	PROYECTO: REPARACION DEL ENROLLADOR DE LA ANTENA DE 40M	DESCRIPCIÓN: Chapas	PLANO: CDT-M40-REN-003 PAGINA: 1 / 1 ESCALA:

