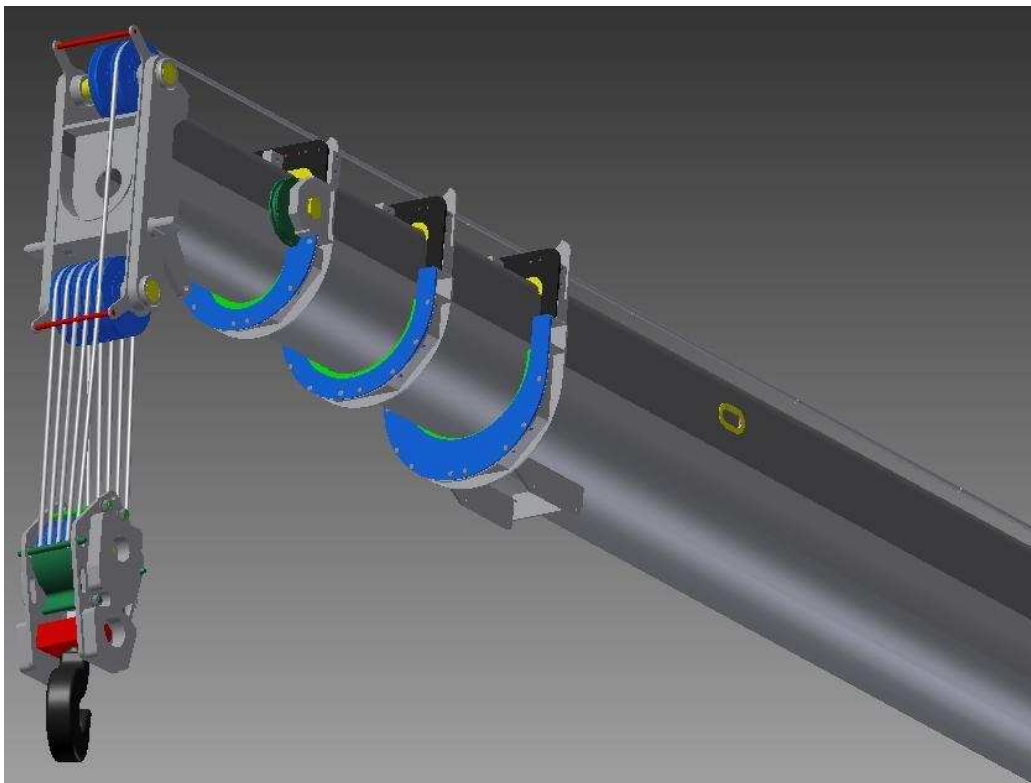


ESCUELA UNIVERSITARIA DE  
INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE ZARAGOZA



# **PROYECTO DISEÑO PLUMA TELESCÓPICA DE 40 TONELADAS**



AUTOR: PASCUAL BUESA, JULIO J.

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO



## **1. MEMORIA..... 8**

### **ÍNDICE**

#### **1.1. MEMORIA DESCRIPTIVA..... 8**

1.1.1. Tema objeto del proyecto..... 8

1.1.2. Datos generales del proyecto..... 8

1.1.3. Lugar, fecha y firma del responsable del proyecto.....11

1.1.4. Bibliografía..... 11

#### **1.2. DISEÑO DE LA PLUMA TELESCÓPICA..... 14**

1.2.1. Cálculo de los esfuerzos generales que soporta la grúa..... 14

1.2.1.1. Cálculo de los esfuerzos en el tramo cabeza.....17

1.2.1.2. Cálculo de los esfuerzos en el resto de tramos..... 20

1.2.2. Cálculo de la sección de cada tramo..... 27

1.2.2.1. Sección tramo cabeza.....32

1.2.2.2. Sección tramo tercero..... 37

1.2.2.3. Sección tramo segundo.....42

1.2.2.4. Sección tramo base..... 46

1.2.3. Telescopado de la pluma..... 53

1.2.3.1. Cálculo de las tensiones en las sirgas de  
telescopado..... 55

1.2.3.1.1. Extensión de la pluma.....56

1.2.3.1.2. Retracción de la pluma..... 64



1.2.3.2. Dimensionado de los cables.....	70
1.2.3.3. Dimensionado del cilindro hidráulico de telescopado.....	73
1.2.3.4. Dimensionado del bulón de anclaje del cilindro de telescopado .....	78
1.2.4. Elevación de la pluma.....	80
1.2.4.1. Dimensionado del cilindro hidráulico de elevación...	80
1.2.4.2. Dimensionado del bulón de anclaje del cilindro de elevación.....	85
1.2.4.3. Dimensionado del espesor mínimo de las orejetas del anclaje del cilindro de elevación.....	87

## ANEXOS

## ÍNDICE

<b>A1. INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD.....</b>	<b>91</b>
A1.1. Prohibición de modificaciones, transformaciones de la pluma y sus dispositivos.....	91
A1.2. Valores de atención en la realización de los trabajos.....	91
A1.3. Riesgos generales.....	92
A1.4. Prescripción de Prevención de Riesgos Laborales.....	93
A1.5. Equipos de Protección Individual.....	93
A1.6. Herramientas y accesorios.....	94



## **A2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA..... 96**

A2.1. Identificación de los elementos principales.....	96
A2.1.1. Tramos y cilindro de extensión.....	96
A2.1.2. Cables.....	97
A2.2. Esquema de montaje.....	97
A2.3. Tabla de pesos de los elementos principales.....	98
A2.4. Elementos y herramientas necesarias para la realización del proceso .....	98
A2.5. Lubricantes.....	100
A2.5.1. Engrase general (con pistola).....	100
A2.5.2. Engrase pluma (patines).....	100

## **A3. MONTAJE DE LA PLUMA..... 102**

A3.1. Procedimiento de montaje.....	102
A3.2. Montaje de los tramos III con IV.....	102
A3.2.1. Colocar cable de retroceso C en el tramo III.....	103
A3.2.2. Colocar cable de extensión A en el tramo III.....	103
A3.2.3. Colocar patines regulables en el tramo III.....	105
A3.2.4. Pasar los cables de retroceso D y extensión B por el tramo III .....	106
A3.2.5. Engrasar el interior del tramo III.....	107



A3.2.6. Colocar los cables de retroceso D y extensión B en el tramo IV.....	107
A3.2.7. Colocar los patines regulables en el tramo IV.....	109
A3.2.8. Ensamblaje de los tramos IV y III.....	109
A3.2.8.1. Colocar las poleas guía cable en la boca del tramo III.....	110
A3.2.8.2. Engrasar el exterior del tramo IV.....	111
A3.2.8.3. Alojarse los cables en las poleas guía.....	112
A3.2.9. Colocar los patines en la boca del tramo III.....	113
A3.3. Montaje del cilindro de extensión en la pluma.....	114
A3.3.1. Montaje de las poleas de retroceso en el tramo IV.....	116
A3.3.2. Equipar e introducir el cilindro de extensión en el tramo III.....	117
A3.4. Montaje del conjunto de tramos III y IV con el tramo II.....	117
A3.4.1. Engrasar el interior del tramo II.....	118
A3.4.2. Pasar los cables a través del tramo II.....	118
A3.4.3. Ensamblaje de los tramos III y IV con el tramo II.....	119
A3.4.3.1. Engrasar el exterior del tramo III.....	120
A3.4.4. Colocar los patines en la bola del tramo II.....	121
A3.4.5. Fijar los cables de extensión B al tramo II.....	123
A3.4.6. Montaje de las poleas de retroceso del tramo III en el tramo II.....	124
A3.4.7. Fijar el cilindro de extensión de los tramos II, III y IV al tramo II.....	125



A3.5. Montaje del conjunto tramos II, III y IV con tramo Base.....	126
A3.5.1. Engrasar el interior del tramo Base.....	127
A3.5.2. Ensamblaje de los tramos II, III y IV al tramo Base....	127
A3.5.2.1. Engrasar el exterior del tramo II.....	128
A3.5.2.2. Montaje de la semipolea del cable de retroceso C.....	129
A3.5.3. Colocar los patines en la boca del tramo Base.....	131
A3.5.4. Fijar el cilindro de extensión al tramo Base.....	132
A3.5.5. Colocar las electroválvulas del cilindro de extensión de los tramos II, III y IV.....	133
A3.6. Colocación de elementos externos de la pluma.....	134
A3.6.1. Colocación de roldanas en la cabeza de la pluma.....	134
A3.6.2. Colocación de rodillos salvacables.....	135
A3.6.3. Colocación de los sistemas de conexión del limitador de carga .....	137
A3.7. Engrase y ajuste de la pluma.....	140
A3.7.1. Engrase.....	140
A3.7.2. Tensado de las sirgas del telescopado de la pluma...	143



ESCUELA UNIVERSITARIA DE  
INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE ZARAGOZA



# MEMORIA



## **1.1 MEMORIA DESCRIPTIVA**

### **1.1.1. Tema objeto del proyecto**

El objeto de este proyecto es el estudio y cálculo de una pluma telescópica de 40 toneladas y 32 metros de longitud.

En este proyecto sólo estudiaremos el estudio de resistencia de la pluma. No se contemplará el estudio frente a vuelco puesto que no tendremos en cuenta el vehículo en el cual se instalará.

### **1.1.2. Datos generales del proyecto**

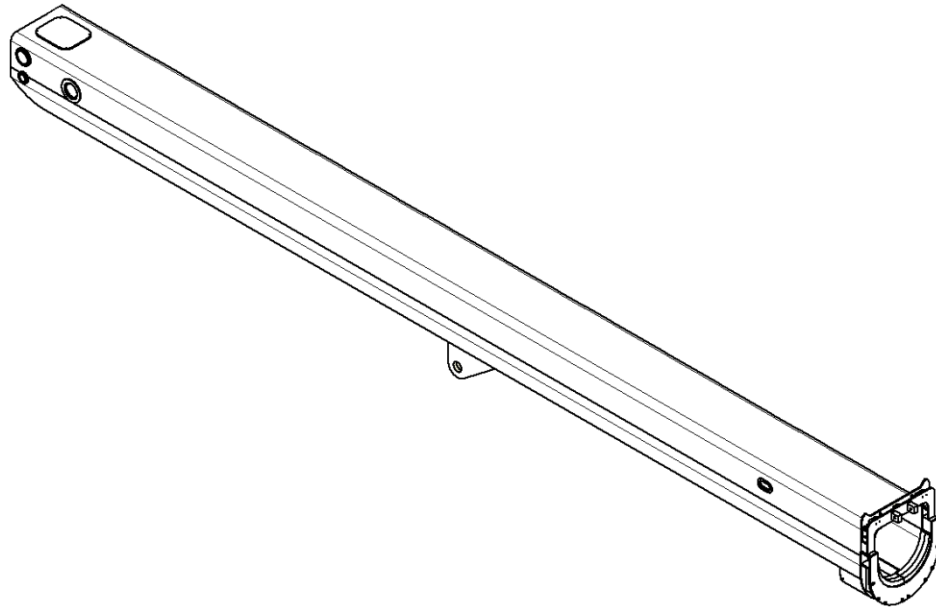
El producto en si a calcular es una pluma telescópica de 40 toneladas y 32 metros de longitud fabricada con acero de alto límite elástico S960QL y S1100QL con capacidad para poderse soldar.

Designación de Grado:

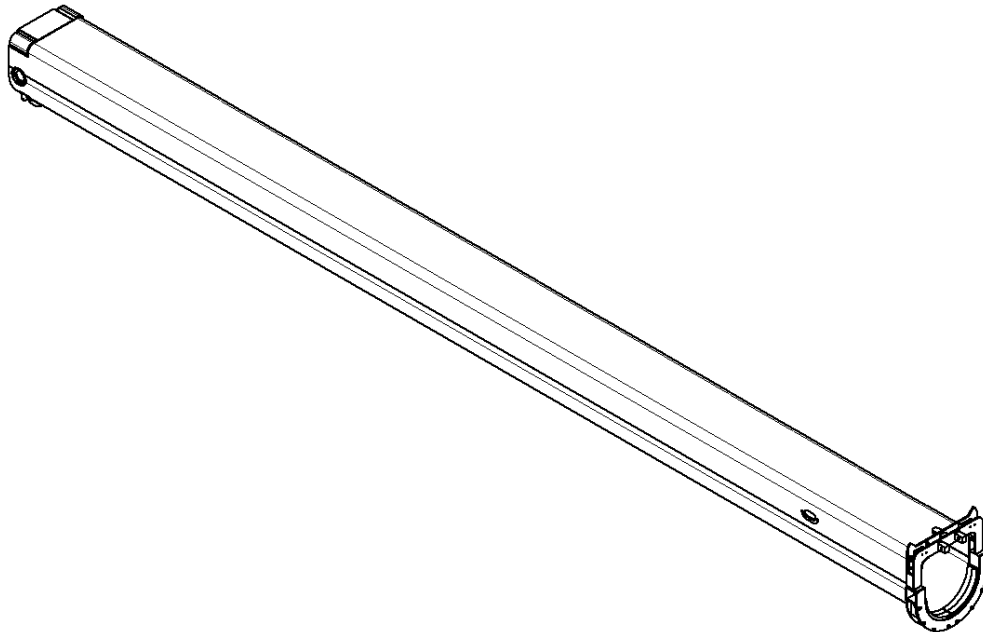
- S = Acero Estructural
- 960 = límite elástico mínimo (MPa)
- Q = temple y revenido
- L = Baja dureza temperatura de ensayo muesca

Dicha pluma estará compuesta por cuatro tramos:

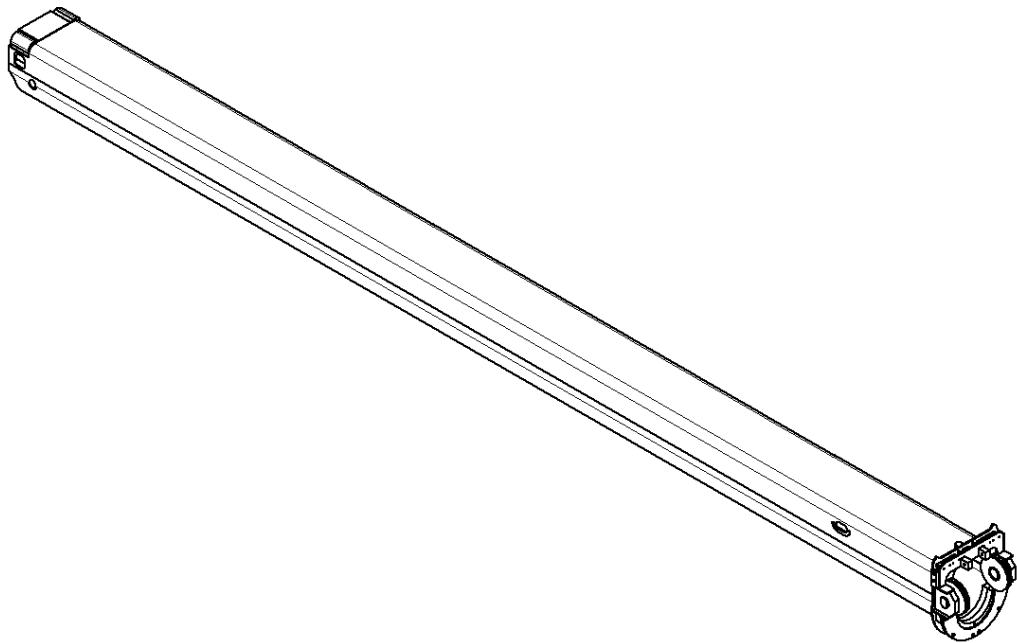
1. Tramo base.



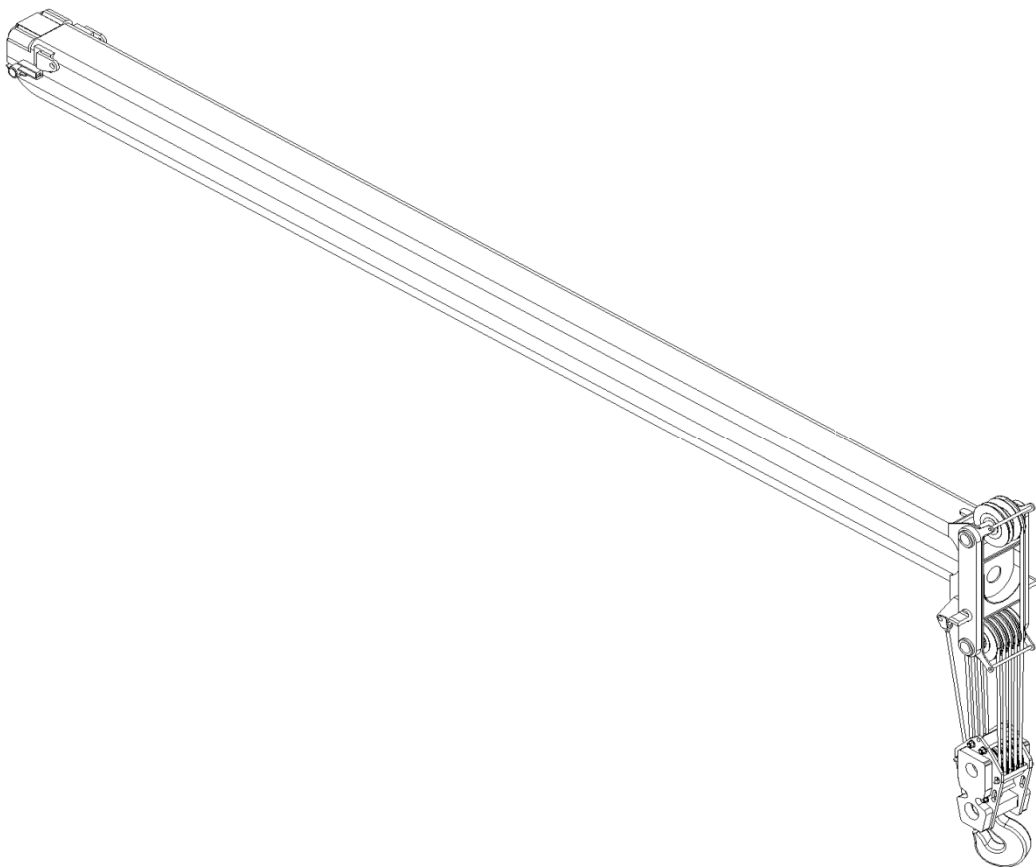
2. Tramo segundo.



### 3. Tramo tercero.



### 4. Tramo cabeza.





El telescopado de la pluma se realizará por medio de un sistema de sirgas y poleas accionadas por un cilindro hidráulico.

Para la elevación de la pluma utilizaremos un cilindro hidráulico de simple efecto.

### **1.1.3. Lugar, fecha y firma del responsable del proyecto**

Zaragoza, a 18 de Septiembre de 2010      Fdo. Julio J. Pascual Buesa,

Ingeniero Técnico Industrial especialidad Mecánica

### **1.1.4. Bibliografía**

- SPOTTS, M: "Proyecto de elementos de máquinas". Reverté.
- LUNA Equipos industriales: "Manual de taller pluma telescópica".
- MIRAVETE: "Los transportes en la ingeniería industrial (teoría)".
- ROBERT L. MOTT: "Diseño de máquinas". Prentice Hall.
- VIRGAL MORING FAIRES: "Diseño de elementos de máquinas". Limusa Noriega editores.
- BERNAD J. HAMROCK, BO JACOBSON, STEVEN R. SCHID: "Elementos de máquinas". Mc Graw Hill.



- A. SERRANO NICOLÁS: "Cálculo y construcción de máquinas". Servicio de Publicaciones Universidad de Zaragoza.
- [www.lunaei.es](http://www.lunaei.es).
- [www.fem-aem.org/html/normas\\_une\\_gruas.htm](http://www.fem-aem.org/html/normas_une_gruas.htm).
- [www.trefilcable.com](http://www.trefilcable.com).
- [www.cilcoil.com](http://www.cilcoil.com).
- [www.nikehydraulics.com/en/products/2/6/](http://www.nikehydraulics.com/en/products/2/6/).
- <http://www.masteel.co.uk/s960-ql.htm>.
- <http://www.masteel.co.uk/s1100-ql.htm>.



ESCUELA UNIVERSITARIA DE  
INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE ZARAGOZA



# **DISEÑO DE LA PLUMA TELESCÓPICA**

## 1.2 Diseño de la pluma telescópica.

### 1.2.1. Cálculo de los esfuerzos generales que soporta la pluma

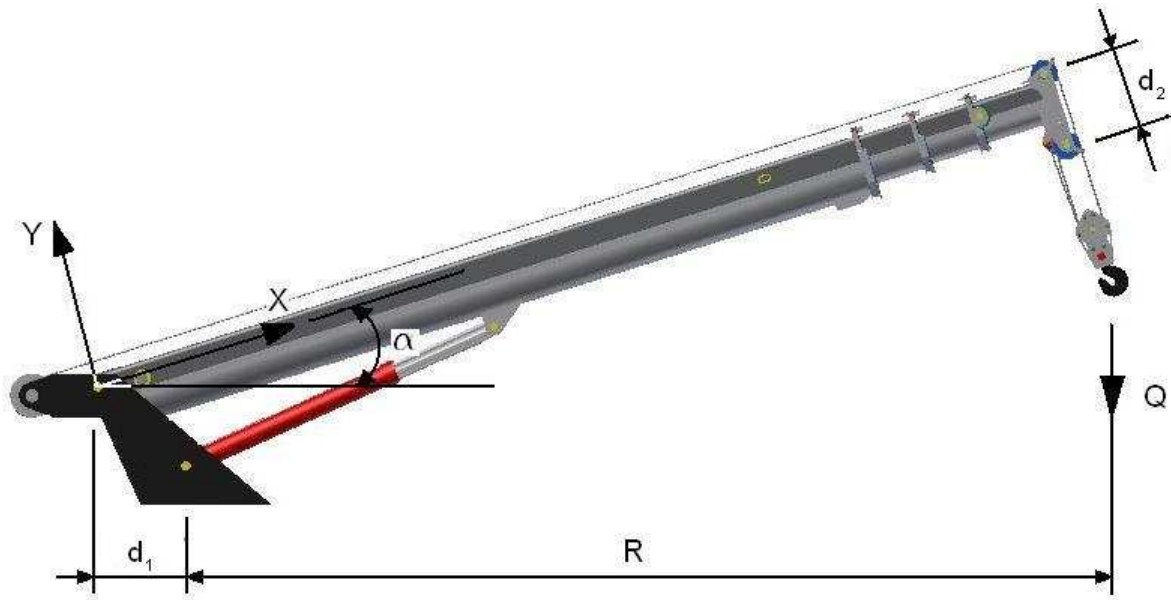
Como referencia partiremos de una tabla de cargas previamente extraída de un catálogo de grúas en el cual podemos observar la relación entre la carga a elevar, la extensión de los tramos de la pluma y la longitud que esta alcanza.

**Tabla de cargas.**

RADIO [m]	LONGITUD PLUMA					RADIO [m]
	9,5 m	15,2 m	20,8 m	26,4 m	32 m	
2,75	40					2,75
3	35	20,5				3
4	25	20,5	19	15		4
5	19,8	16,5	18,6	14,9	9,4	5
6	16	13,3	15,9	13,6	9,4	6
7	12,3	10,7	12,9	12	9,4	7
8		8,6	10,8	10,1	9,2	8
9		7,1	9	8,7	8,5	9
10		4,9	7,7	7,5	7,3	10
12			5,5	5,5	5,6	12
14			4,1	4,3	4,3	14
16			3,1	3,3	3,3	16
18			2,3	2,5	2,6	18
20				1,9	2,1	20
22				1,5	1,7	22
24				1,1	1,3	24
26					1	26
28					0,8	28
EXTENSIÓN TRAMOS	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	EXTENSIÓN TRAMOS

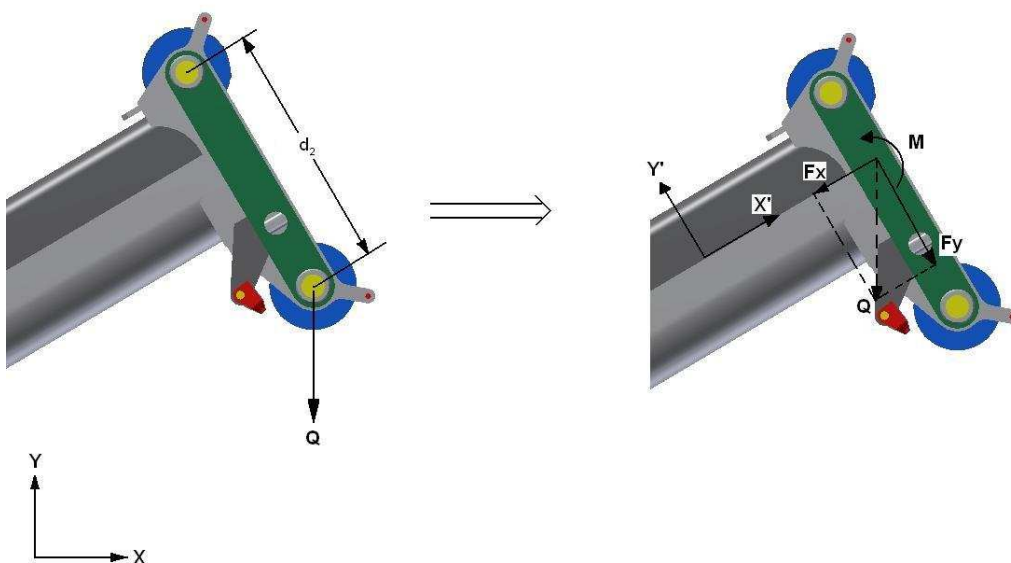
**Tabla 1**

Para el cálculo de los esfuerzos cogemos las cargas que sean más desfavorables, en nuestro caso serán aquellas en las que la carga sea mayor y la pluma alcance el mayor radio posible, siendo estas las remarcadas en fondo gris de la Tabla 1.



**Figura1**

Cuando transportemos la carga a los ejes locales esto nos generará un momento debido a que la carga en punta se encuentra desplazada respecto al eje de las x locales.



**Figura 2**

**Tabla de cargas transportadas a los ejes locales.**

Ext [%]	L [m]	Q [tm]	R [m]	d <sub>1</sub> [m]	d <sub>2</sub> [m]	$\alpha$ [rad]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>x</sub> [N]	M [N.m]
0	9,5	40	2,75	2,3	0,747	1,010	208591	332366	248277
25	15,2	20,5	4	2,3	0,747	1,143	83352	357108	136714
50	20,8	19	4	2,3	0,747	1,263	56454	373967	132693
75	26,4	15	4	2,3	0,747	1,330	35115	381063	106745
100	32	9,4	7	2,3	0,747	1,276	26799	375462	65910

**Tabla 2**

Leyenda tabla 2:

Ext → Extensión de la pluma.

L → Longitud de la pluma.

Q → Carga en punta.

R → Radio de alcance de la pluma.

d<sub>1</sub> → Distancia al centro de gravedad de la giratoria.d<sub>2</sub> → Distancia de separación entre la carga en punta y eje de simetría de la sección del tramo cabeza. $\alpha$  → Ángulo que forma la pluma respecto de la horizontal.F<sub>y</sub> → Componente vertical de la carga en los ejes locales.F<sub>x</sub> → Componente horizontal de la carga en los ejes locales.

M → Momento generado al trasladar la carga a los ejes locales.

### 1.2.1.1. Cálculo de los esfuerzos en el tramo cabeza

El cálculo resistente se llevará a cabo mediante la teoría de vigas.

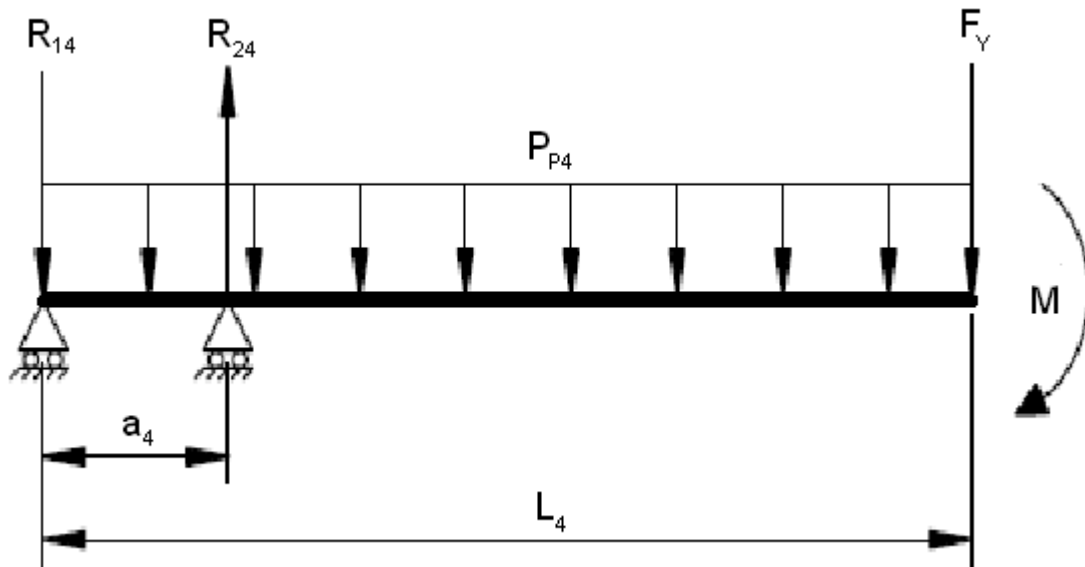


Figura 3

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow R_{24} - R_{14} - F_Y - (P_{P4} \times L_4) = 0$$

$$\sum M_Z = 0 \rightarrow (R_{24} \times a_4) - \left( P_{P4} \times \frac{L_4^2}{2} \right) - (F_Y \times L_4) - M = 0$$

$$R_{14} = \frac{F_Y \times (L_4 - a_4)}{a_4} + \frac{M}{a_4} + \frac{P_{P4} \times L_4}{2 \times L_4} - P_{P4}$$

$$R_{24} = \frac{F_Y \times L_4}{a_4} + \frac{M}{a_4} + \frac{P_{P4} \times L_4}{2 \times L_4}$$

- $0 < x < a_4$

$$M_4(x) = \left( \frac{F_Y \times (L_4 - a_4)}{a_4} \times x \right) + \left( \frac{M}{a_4} \times x \right) + \left( \frac{P_{P4}}{2 \times L_4} \times x^2 \right) + \left( \left( \frac{P_{P4} \times L_4}{2 \times L_4} - P_{P4} \right) \times x \right)$$

$$V_4(x) = \frac{F_Y \times (L_4 - a_4)}{a_4} + \frac{M}{a_4} + \left( \frac{P_{P4}}{2 \times L_4} \times x \right) + \frac{P_{P4} \times L_4}{2 \times L_4} - P_{P4}$$

$$N_4(x) = F_X + P_{P4}x$$

- $a_4 < x < L_4$

$$M_4(x) = (F_Y \times (L_4 - x)) + M + \frac{P_{P4} \times (L_4 - x)^2}{2 \times L_4}$$

$$V_4(x) = F_Y + \left( \frac{P_{P4}}{L_4} \times (L_4 - x) \right)$$

$$N_4(x) = F_X + P_{P4}x$$

Puesto que para el diseño completo de una pluma partimos de muchas variables tendremos que tender a simplificar esas variables dando valores concretos, en este caso le daremos valores concretos a la longitud, al registro y al peso propio de cada tramo. Véase las tablas 3, 5, 7 y 9.

**Tabla de datos generales del tramo cabeza**

Extensión tramo [%]	$L_4$ [m]	$a_4$ [m]	$P_{p4}$ [N.m]
0	8,92	8,7	512,496
25		6,825	
50		4,95	
75		3,075	
100		1,2	

**Tabla 3**

Leyenda tabla 3:

$L_4$  → Longitud tramo cabeza.

$a_4$  → Longitud del tramo cabeza que se introduce dentro del tramo inmediatamente inferior (registro del tramo cabeza).

$P_{p4}$  → peso propio del tramo cabeza.

**Tabla de esfuerzos soportados por el tramo cabeza.**

Extensión tramo [%]	$R_{14}$ [N]	$R_{24}$ [N]	$M_4$ [N.m]	$V_4$ [N]	$N_4$ [N]
0	33562,614	242666,689	294169,114	208604,219	336238,300
25	45439,747	129304,973	311464,409	83473,098	361268,362
50	72033,747	129000,906	357270,938	56682,758	378324,613
75	101692,454	137320,290	312975,929	35451,163	385502,557
100	228729,165	256041,354	274516,365	27243,244	379836,994

**Tabla4**

Leyenda tabla 4:

$R_{14}$  → Reacción del patín 1 sobre el tramo cabeza.

$R_{24}$  → Reacción del patín 2 sobre el tramo cabeza.

$M_4$  → Momento flector al que está sometido el tramo cabeza.

$V_4$  → Cortante al que está sometido el tramo cabeza.

$N_4$  → Axil al que está sometido el tramo cabeza.

### 1.2.1.2. Cálculo de los esfuerzos en el resto de tramos.

Para el resto de tramos utilizaremos el mismo método de cálculo que el utilizado para el tramo cabeza.

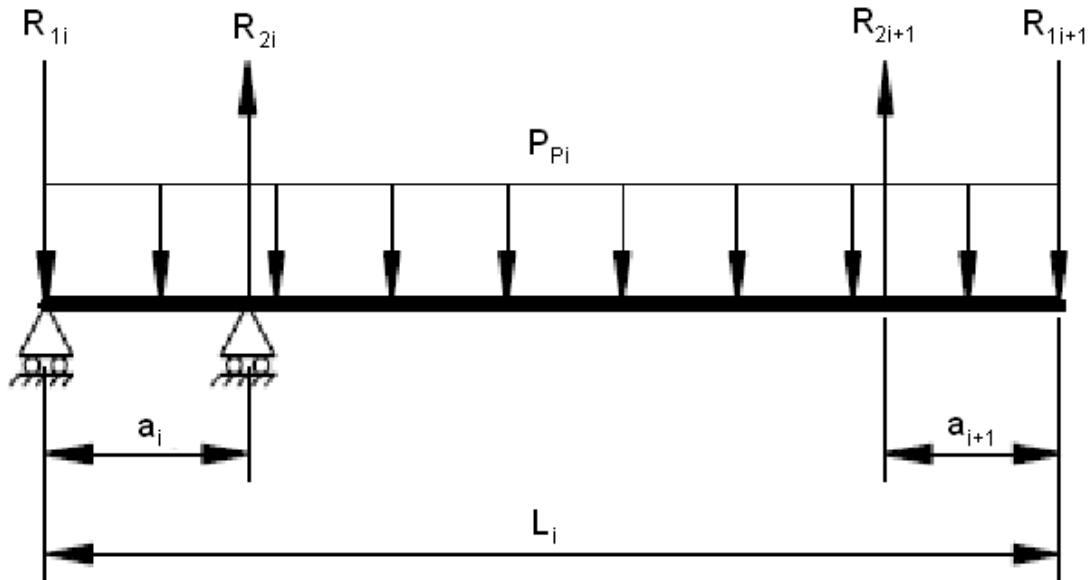


Figura 4

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow R_{2i} + R_{1i+1} - R_{1i} - R_{2i+1} - (P_{pi} \times L_i) = 0$$

$$\sum M_Z = 0 \rightarrow (R_{2i} \times a_i) - \left( P_{pi} \times \frac{L_i^2}{2} \right) + (R_{1i+1} \times (L_i - a_{i+1})) - (R_{2i+1} \times L_i) = 0$$

$$R_{1i} = \left[ \frac{1}{a_i} \times \left[ (a_i \times R_{1i+1}) + (a_{i+1} \times R_{1i+1}) - (L_i \times R_{1i+1}) - (a_i \times R_{2i+1}) + (L_i \times R_{2i+1}) \right] \right] + \left( \frac{P_{pi} \times L_i}{2 \times a_i} \right) - P_{pi}$$

Con el fin de no tener que escribir fórmulas demasiado largas denominaremos:

$$H = \left[ \frac{1}{a_i} \times \left[ (a_i \times R_{1i+1}) + (a_{i+1} \times R_{1i+1}) - (L_i \times R_{1i+1}) - (a_i \times R_{2i+1}) + (L_i \times R_{2i+1}) \right] \right]$$

Que nos dará como resultado la fórmula reducida de:

$$R_{1i} = H + \left( \frac{P_{Pi} \times L_i}{2 \times a_i} \right) - P_{Pi}$$

$$R_{2i} = \left[ \frac{1}{a_i} \times \left[ (a_{i+1} \times R_{1i+1}) - (L_i \times R_{1i+1}) + (L_i \times R_{2i+1}) \right] \right] + \left( \frac{P_{Pi} \times L_i}{2 \times a_i} \right)$$

► Si  $a_i + a_{i+1} < L_i$

- $0 < x < a_i$

$$M_i(x) = (H \times x) + \left( \left( \frac{P_{Pi}}{2 \times L_i} \right) \times x^2 \right) + \left( \left( \frac{P_{Pi} \times L_i}{2 \times a_i} - P_{Pi} \right) \times x \right)$$

$$V_i(x) = H + \left( \frac{P_{Pi}}{L_i} \times x \right) + \frac{P_{Pi} \times L_i}{2 \times a_i} - P_{Pi}$$

$$N_i(x) = F_x + \sum_{k=i}^{n=4} P_{PK} x$$

- $a_i < x < L_i - a_{i+1}$

$$M_i(x) = (a_{i+1} \times R_{1i+1}) + ((R_{1i+1} - R_{2i+1}) \times (L_i - x)) + \left( \left( \frac{P_{Pi}}{2 \times L_i} \right) \times (L_i - x)^2 \right)$$

$$V_i(x) = R_{2i+1} - R_{1i+1} + \left( \frac{P_{Pi}}{L_i} \times (L_i - x) \right)$$

$$N_i(x) = F_x + \sum_{k=i}^{n=4} P_{PK} x$$

- $L_i - a_{i+1} < x < L_i$

$$M_i(x) = (R_{2i+1} \times (L_i - x)) + \left( \left( \frac{P_{Pi}}{2 \times L_i} \right) \times (L_i - x)^2 \right)$$

$$V_i(x) = R_{2i+1} + \left( \frac{P_{Pi}}{L_i} \times (L_i - x) \right)$$

$$N_i(x) = F_x + \sum_{k=i}^{n=4} P_{PK} x$$

► Si  $a_i + a_{i+1} > L_i$

- $0 < x < L_i - a_{i+1}$

$$M_i(x) = (H \times x) + \left( \left( \frac{P_{Pi}}{2 \times L_i} \right) \times x^2 \right) + \left( \left( \frac{P_{Pi} \times L_i}{2 \times a_i} - P_{Pi} \right) \times x \right)$$

$$V_i(x) = H + \left( \frac{P_{Pi}}{L_i} \times x \right) + \frac{P_{Pi} \times L_i}{2 \times a_i} - P_{Pi}$$

$$N_i(x) = F_x + \sum_{k=i}^{n=4} P_{PK} x$$

- $L_i - a_{i+1} < x < a_i$

$$M_i(x) = \left\{ \frac{1}{a_i} \times \left[ \left( (a_{i+1} \times R_{1i+1}) + ((R_{2i+1} - R_{1i+1}) \times L_i) \right) \times x \right] - \left[ a_i \times ((a_{i+1} \times R_{1i+1}) - (L_i \times R_{1i+1}) + (R_{2i+1} \times x)) \right] \right\} + \left( \left( \frac{P_{Pi} \times L_i}{2 \times a_i} - P_{Pi} \right) \times x \right)$$

$$V_i(x) = \left[ \frac{1}{a_i} \times \left[ (a_{i+1} \times R_{1i+1}) + ((R_{2i+1} - R_{1i+1}) \times L_i) - (a_i \times R_{2i+1}) \right] \right] + \frac{P_{Pi} \times L_i}{2 \times a_i} - P_{Pi}$$

$$N_i(x) = F_x + \sum_{k=i}^{n=4} P_{PK} x$$

- $a_i < x < L_i$

$$M_i(x) = (R_{2i+1} \times (L_i - x)) + \left( \left( \frac{P_{Pi}}{2 \times L_i} \right) \times (L_i - x)^2 \right)$$

$$V_i(x) = R_{2i+1} + \left( \frac{P_{Pi}}{L_i} \times (L_i - x) \right)$$

$$N_i(x) = F_x + \sum_{k=i}^{n=4} P_{PK} x$$

### TRAMO TERCERO

**Tabla de datos generales del tramo tercero.**

Extensión tramo [%]	$L_3$ [m]	$a_3$ [m]	$P_{p3}$ [N.m]	$a_3+a_4$ [m]
0	8,912	8,772	689,078	17,472
25		6,897		13,722
50		5,022		9,972
75		3,147		6,222
100		1,272		2,472

**Tabla5**

Leyenda tabla 5:

$L_3$  → Longitud tramo tercero.

$a_3$  → Longitud del tramo tercero que se introduce dentro del tramo inmediatamente inferior (registro del tramo tercero).

$P_{p3}$  → peso propio del tramo tercero.

### Tabla de esfuerzos soportados por el tramo tercero

Extensión tramo [%]	$R_{13}$ [N]	$R_{23}$ [N]	$M_3(x=a_3)$ [N.m]	$V_3(x=a_3)$ [N]	$M_3(x=L_3-a_4)$ [N.m]	$V_3(x=L_3-a_4)$ [N]	$N_3$ [N]
0	36285,37	246078,52	33974,09	242672,10	7694,24	36301,76	341439,83
25	69223,24	153777,54	260706,49	129382,87	144637,28	69384,60	366857,10
50	115049,64	172705,87	502398,53	129151,29	456433,53	115355,98	384177,21
75	164919,22	201236,13	519383,65	36073,59	422625,45	422497,65	391466,20
100	381552,00	409553,27	485396,70	27902,92	307305,30	307342,41	385712,99

Tabla 6

Leyenda tabla 6:

$R_{13}$  → Reacción del patín 1 sobre el tramo tercero.

$R_{23}$  → Reacción del patín 2 sobre el tramo tercero.

$M_3$  → Momento flector al que está sometido el tramo tercero.

$V_3$  → Cortante al que está sometido el tramo tercero.

$N_3$  → Axil al que está sometido el tramo tercero.

Tanto en el momento flector como en el cortante se estudian sólo los puntos más conflictivos, cuando  $x$  es igual valor del registro tercero y cuando  $x$  es igual a la longitud del tramo tercero menos el registro del tramo cabeza.

### TRAMO SEGUNDO

#### Tabla de datos generales tramo segundo

Extensión tramo [%]	$L_2$ [m]	$a_2$ [m]	$P_{p2}$ [N.m]	$a_2+a_3$ [m]
0	9,01	8,87	1759,49	17,64
25		7,00		13,89
50		5,12		10,14
75		3,25		6,39
100		1,37		2,64

Tabla 7

Leyenda tabla 7:

$L_2$  → Longitud tramo tercero.

$a_2$  → Longitud del tramo segundo que se introduce dentro del tramo inmediatamente inferior (registro del tramo segundo).

$P_{p2}$  → peso propio del tramo segundo.

**Tabla de esfuerzos soportados por el tramo segundo.**

Extensión tramo [%]	$R_{12}$ [N]	$R_{22}$ [N]	$M_2(x=a_2)$ [N.m]	$V_2(x=a_2)$ [N]	$M_2(x=L_2-a_3)$ [N.m]	$V_2(x=L_2-a_3)$ [N]	$N_2$ [N]
0	38329,89	249882,53	34452,91	246092,19	9128,05	38376,37	354867,43
25	91984,06	178297,84	310258,19	153974,29	194798,25	92396,68	381284,27
50	156441,40	215857,12	673303,36	173085,70	625441,18	157220,18	399285,51
75	225141,67	263218,07	731612,89	37442,71	634257,10	633904,65	406861,15
100	514437,82	544198,57	704963,07	29493,22	521109,74	521200,16	400881,69

**Tabla 8**

Leyenda tabla 8:

$R_{12}$  → Reacción del patín 1 sobre el tramo segundo.

$R_{22}$  → Reacción del patín 2 sobre el tramo segundo.

$M_2$  → Momento flector al que está sometido el tramo segundo.

$V_2$  → Cortante al que está sometido el tramo segundo.

$N_2$  → Axil al que está sometido el tramo segundo.

Tanto en el momento flector como en el cortante se estudian sólo los puntos más conflictivos, cuando  $x$  es igual valor del registro segundo y cuando  $x$  es igual a la longitud del tramo segundo menos el registro del tramo tercero.

## TRAMO BASE

### Tabla de datos generales del tramo base

Extensión tramo [%]	$L_1$ [m]	$a_1$ [m]	$P_{p1}$ [N.m]	$a_1+a_2$ [m]
0	9,00	4,50	2023,04	13,37
25				11,50
50				9,62
75				7,75
100				5,87

**Tabla 9**

Leyenda tabla 9:

$L_1$  → Longitud tramo base.

$a_1$  → Distancia de anclaje del cilindro de elevación de la pluma.

$P_{p1}$  → peso propio del tramo base.

### Tabla de esfuerzos en tramo base.

Extensión tramo [%]	$R_{11}$ [N]	$R_{21}$ [N]	$M_1(x=a_1)$ [N.m]	$V_1(x=a_1)$ [N]	$M_1(x=L_1-a_2)$ [N.m]	$V_1(x=L_1-a_2)$ [N]	$N_1$ [N]
0	287105,11	500680,79	1126747,30	250388,29	37194,07	287134,34	370289,22
25	229297,89	317634,72	804616,22	178803,60	458165,99	229748,58	397854,08
50	237411,27	298850,03	973632,96	216362,88	918923,00	238283,42	416637,62
75	200428,56	240528,00	904204,45	39087,92	855326,13	854872,07	424542,48
100	186378,49	218162,28	840979,12	30772,27	745762,99	745859,99	418303,16

**Tabla 10**

Leyenda tabla 10:

$R_{11}$  → Reacción del anclaje 1 sobre el tramo base.

$R_{21}$  → Reacción del anclaje 2 sobre el tramo base.

$M_1$  → Momento flector al que está sometido el tramo base.

$V_1$  → Cortante al que está sometido el tramo base.

$N_1$  → Axil al que está sometido el tramo base.

Tanto en el momento flector como en el cortante se estudian sólo los puntos más conflictivos, cuando  $x$  es igual a la distancia de anclaje con el cilindro y cuando  $x$  es igual a la longitud del tramo base menos el registro del tramo segundo.

### 1.2.2. Cálculo de la sección de cada tramo.

Para el cálculo de las secciones de cada tramo utilizaremos una sección genérica simétrica, dicha sección se compone de varios elementos especificados en la figura 5.

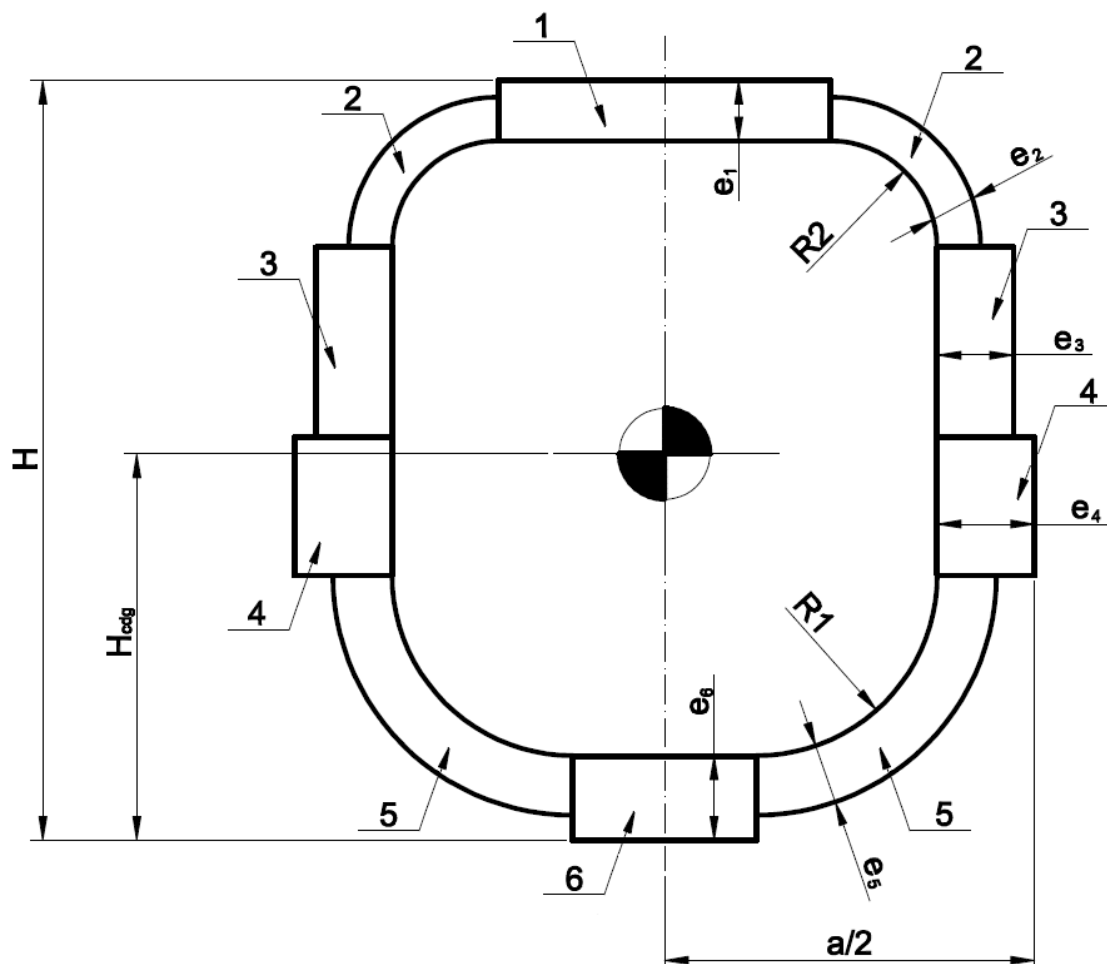


Figura 5

## Elemento 1

$$h_1 = e_1$$

$$b_1 = \frac{a}{2} - e_4 - R_2$$

$$A_1 = b_1 \times h_1$$

$$H_{cdg1} = H - \frac{e_1}{2}$$

$$I_1 = 2 \times \left[ \left( \frac{1}{12} \times b_1 \times h_1^3 \right) + \left( A_1 \times (H_{cdg1} - H_{cdg})^2 \right) \right]$$

## Elemento 2

$$R_{ext2} = R_2 + e_2$$

$$R_{int2} = R_2$$

$$A_2 = \frac{\pi \times (R_{ext2}^2 - R_{int2}^2)}{4}$$

$$H_{cdg2} = H - R_2 - e_2 + \left( \left( \frac{4}{3 \times \pi} \right) \times \left( \frac{R_{ext2}^2 + R_{int2}^2 + (R_{ext2} \times R_{int2})}{R_{ext2} + R_{int2}} \right) \right)$$

$$I_2 = \left[ 2 \times \left( \frac{\left( \frac{\pi}{8} - \frac{8}{9 \times \pi} \right)}{2} \times (R_{ext2}^4 - R_{int2}^4) \right) \right] +$$

$$+ \left\{ 2 \times \left[ \left( \frac{\left( \frac{8}{9 \times \pi} \right)}{2} \times R_{ext2}^2 \times R_{int2}^2 \times \frac{R_{ext2} - R_{int2}}{R_{ext2} + R_{int2}} \right) + (A_2 \times (H_{cdg2} - H_{cdg})^2) \right] \right\}$$

**Elemento 3**

$$h_3 = b - e_1 - R_2$$

$$b_3 = e_3$$

$$A_3 = b_3 \times h_3$$

$$H_{cdg3} = H - b + \frac{b - e_1 - R_2}{2}$$

$$I_3 = 2 \times \left[ \left( \frac{1}{12} \times b_3 \times h_3^3 \right) + \left( A_3 \times (H_{cdg3} - H_{cdg})^2 \right) \right]$$

**Elemento 4**

$$h_4 = H - b - R_1 - e_6$$

$$b_4 = e_4$$

$$A_4 = b_4 \times h_4$$

$$H_{cdg4} = H - b + \frac{H - b - R_1 - e_6}{2}$$

$$I_4 = 2 \times \left[ \left( \frac{1}{12} \times b_4 \times h_4^3 \right) + \left( A_4 \times (H_{cdg4} - H_{cdg})^2 \right) \right]$$

**Elemento 5**

$$R_{ext5} = R_1 + e_5$$

$$R_{int5} = R_1$$

$$A_5 = \frac{\pi \times (R_{ext5}^2 - R_{int5}^2)}{4}$$

$$H_{cdg5} = R1 + e_6 + \left( \left( \frac{4}{3 \times \pi} \right) \times \left( \frac{R_{ext5}^2 + R_{int5}^2 + (R_{ext5} \times R_{int5})}{R_{ext5} + R_{int5}} \right) \right)$$

$$I_5 = 2 \times \left[ \left( \left( \frac{\pi}{8} - \frac{8}{9 \times \pi} \right) \times (R_{ext5}^4 - R_{int5}^4) \right) \right] +$$

$$+ 2 \times \left[ - \left( \left( \frac{8}{9 \times \pi} \right) \times R_{ext5}^2 \times R_{int5}^2 \times \frac{R_{ext5} - R_{int5}}{R_{ext5} + R_{int5}} + (A_5 \times (H_{cdg5} - H_{cdg})^2) \right) \right]$$

### Elemento 6

$$h_6 = e_6$$

$$b_6 = \frac{a}{2} - R1 - e_4$$

$$A_6 = b_6 \times h_6$$

$$H_{cdg6} = \frac{e_6}{2}$$

$$I_6 = 2 \times \left[ \left( \frac{1}{12} \times b_6 \times h_6^3 \right) + (A_6 \times (H_{cdg6} - H_{cdg})^2) \right]$$

### Sección genérica

$$H_{cdg} = \frac{(A_1 \times H_{cdg1}) + (A_2 \times H_{cdg2}) + (A_3 \times H_{cdg3})}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6} + \frac{(A_4 \times H_{cdg4}) + (A_5 \times H_{cdg5}) + (A_6 \times H_{cdg6})}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6}$$

$$A_{total} = (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) \times 2$$

$$A_{\text{total almas}} = \left( \frac{A_2}{2} + A_3 + A_4 + \frac{A_5}{2} \right) \times 2$$

$$l_{\text{total}} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6$$

Una vez bien definida la sección genérica, partiremos de unos valores predeterminados para cada sección, dichos valores son la altura y la anchura totales y los radios interiores de cada tramo (véase la tabla 11).

**Tabla de datos conocidos para el cálculo de la sección de cada tramo.**

TRAMO	M [N.m]	V [N]	N [N]	H [mm]	a [mm]	R <sub>1</sub> [mm]	R <sub>2</sub> [mm]
<b>Cabeza</b>	333244,39	50271,02	382396,54	500	340	165	50
<b>Tercero</b>	472994,86	32017,77	394030,20	542	492	240	50
<b>Segundo</b>	661842,34	33386,87	409526,68	586	536	261	50
<b>Base</b>	1005652,94	223478,43	387366,88	685	580	283	50

**Tabla 11**

Leyenda tabla 11:

M → Momento flector máximo que soporta la sección.

V → Cortante que soporta la sección cuando el momento flector es máximo.

N → Axil que soporta la sección cuando el momento flector es máximo.

H → Atura total de la sección.

a → Anchura total de la sección.

R<sub>1</sub> → Radio interno del elemento 5 de la sección.

R<sub>2</sub> → Radio interno del elemento 2 de la sección.

Para determinar la sección más adecuada, el cálculo que vamos a llevar a cabo va a ser mediante la iteración con determinados espesores de chapa y distintos materiales, para posteriormente determinar su coeficiente de seguridad, el cual según la norma DIN 18800 debe ser superior a 1,55.

#### 1.2.2.1. Sección tramo cabeza.

#### Tablas de componentes de la sección del tramo cabeza.

COMPONENTE 1 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO CABEZA					
$e_1$ [mm]	$h_1$ [mm]	$b_1$ [mm]	$A_1$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg1}$ [mm]	$i_1$ [mm <sup>4</sup> ]
2	2	118	236	499	12492871,83
3	3	117	351	498,5	18493571,84
4	4	116	464	498	24332721,26
5	5	115	575	497,5	30012015,47
6	6	114	684	497	35646236,93
7	7	113	791	496,5	41158999,86
8	8	112	896	496	46550843,46
9	9	111	999	495,5	51822304,75
10	10	110	1100	495	56973918,47
11	11	109	1199	494,5	62006217,14
12	12	108	1296	494	66919731,07
13	13	107	1391	493,5	71714988,32
14	14	106	1484	493	76392514,73
15	15	105	1575	492,5	80952833,94

**Tabla 12**



COMPONENTE 2 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO CABEZA					
$e_2$ [mm]	$R_{ext2}$ [mm]	$R_{int2}$ [mm]	$A_2$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg2}$ [mm]	$i_2$ [mm <sup>4</sup> ]
2	52	50	160,22	480,47	7209889,96
3	53	50	242,69	479,80	10848682,03
4	54	50	326,73	479,12	14508789,08
5	55	50	412,33	478,45	18189283,10
6	56	50	499,51	477,78	21964874,23
7	57	50	588,26	477,11	25785482,13
8	58	50	678,58	476,44	29650727,54
9	59	50	770,48	475,77	33560233,25
10	60	50	863,94	475,11	37513624,17
11	61	50	958,97	474,45	41510527,26
12	62	50	1055,58	473,79	45550571,57
13	63	50	1153,75	473,13	49633388,23
14	64	50	1253,50	472,47	53758610,45
15	65	50	1354,81	471,81	57925873,51

Tabla 13

COMPONENTE 3 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO CABEZA					
$e_3$ [mm]	$h_3$ [mm]	$b_3$ [mm]	$A_3$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg3}$ [mm]	$i_3$ [mm <sup>3</sup> ]
2	158	2	316	369	3822272,62
3	157	3	471	368,5	5634011,60
4	156	4	624	368	7380992,86
5	155	5	775	367,5	9064336,60
6	154	6	924	367	10750859,62
7	153	7	1071	366,5	12396342,46
8	152	8	1216	366	14001240,61
9	151	9	1359	365,5	15566007,10
10	150	10	1500	365	17091092,41
11	149	11	1639	364,5	18576944,53
12	148	12	1776	364	20024008,94
13	147	13	1911	363,5	21432728,60
14	146	14	2044	363	22803543,98
15	145	15	2175	362,5	24136893,01

Tabla 14



COMPONENTE 4 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO CABEZA					
$e_4$ [mm]	$h_4$ [mm]	$b_4$ [mm]	$A_4$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg4}$ [mm]	$i_4$ [mm <sup>4</sup> ]
2	123	2	246	228,5	712107,18
3	122	3	366	229	1038462,92
4	121	4	484	229,5	1345775,15
5	120	5	600	230	1634600,66
6	119	6	714	230,5	1885613,20
7	118	7	826	231	2113751,44
8	117	8	936	231,5	2320018,97
9	116	9	1044	232	2505400,87
10	115	10	1150	232,5	2670863,68
11	114	11	1254	233	2817355,43
12	113	12	1356	233,5	2945805,67
13	112	13	1456	234	3057125,42
14	111	14	1554	234,5	3152207,25
15	110	15	1650	235	3231925,22

Tabla 15

COMPONENTE 5 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO CABEZA					
$e_5$ [mm]	$R_{ext5}$ [mm]	$R_{int5}$ [mm]	$A_5$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg5}$ [mm]	$i_5$ [mm <sup>4</sup> ]
2	167	165	521,50	61,32	23837522,54
3	168	165	784,61	62,00	35668273,46
4	169	165	1049,29	62,68	47440198,61
5	170	165	1315,54	63,36	59153193,61
6	171	165	1583,36	64,04	70572028,45
7	172	165	1852,75	64,71	81853813,29
8	173	165	2123,72	65,39	92998674,56
9	174	165	2396,25	66,07	104006755,16
10	175	165	2670,35	66,74	114878214,45
11	176	165	2946,03	67,42	125613228,29
12	177	165	3223,27	68,09	136211988,96
13	178	165	3502,09	68,77	146674705,20
14	179	165	3782,48	69,44	157001602,19
15	180	165	4064,44	70,11	167192921,53

Tabla 16



COMPONENTE 6 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO CABEZA					
$e_6$ [mm]	$h_6$ [mm]	$b_6$ [mm]	$A_6$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg6}$ [mm]	$i_6$ [mm <sup>4</sup> ]
2	2	3	6	1	430697,437
3	3	2	6	1,5	429221,459
4	4	1	4	2	285166,574
5	5	0	0	2,5	0
6	6	0	0	3	0
7	7	0	0	3,5	0
8	8	0	0	4	0
9	9	0	0	4,5	0
10	10	0	0	5	0
11	11	0	0	5,5	0
12	12	0	0	6	0
13	13	0	0	6,5	0
14	14	0	0	7	0
15	15	0	0	7,5	0

Tabla 17

Tabla de resultados de la sección tramo cabeza.

e	$H_{4cdg}$ [mm]	$I_4$ [mm <sup>4</sup> ]	$A_4$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{al4}$ [mm <sup>2</sup> ]	$W_4$ [mm <sup>3</sup> ]	$\sigma_4$ [MPa]	$\tau_4$ [MPa]	$\sigma_{VM4}$ [MPa]	$C_{S1}$	$C_{S2}$
2	268,92	9,70E+07	2971	1805	3,61E+05	1117,71	31,39	1119,03	0,86	0,98
3	268,96	1,44E+08	4442	2701	5,36E+05	751,43	20,98	752,31	1,28	1,46
4	269,00	1,91E+08	5904	3592	7,08E+05	568,35	15,78	569,00	1,69	1,93
5	269,04	2,36E+08	7355	4477	8,78E+05	458,54	12,66	459,06	2,09	2,40
6	268,72	2,82E+08	8809	5358	1,05E+06	383,83	10,58	384,26	2,50	2,86
7	268,40	3,27E+08	10258	6235	1,22E+06	330,47	9,09	330,84	2,90	3,32
8	268,08	3,71E+08	11700	7106	1,38E+06	290,46	7,98	290,79	3,30	3,78
9	267,76	4,15E+08	13137	7972	1,55E+06	259,35	7,11	259,64	3,70	4,24
10	267,43	4,58E+08	14568	8834	1,71E+06	234,47	6,42	234,73	4,09	4,69
11	267,11	5,01E+08	15994	9691	1,88E+06	214,12	5,85	214,36	4,48	5,13
12	266,79	5,43E+08	17413	10542	2,04E+06	197,16	5,38	197,38	4,86	5,57
13	266,47	5,85E+08	18827	11389	2,20E+06	182,83	4,98	183,03	5,25	6,01
14	266,15	6,26E+08	20235	12231	2,35E+06	170,54	4,63	170,73	5,62	6,44
15	265,83	6,67E+08	21638	13069	2,51E+06	159,90	4,34	160,07	6,00	6,87

Tabla 18

Leyenda de la tabla 16:

$e$  → Espesor de chapa en milímetros.

$H_{cdg4}$  → Altura del centro de gravedad de la sección tramo cabeza.

$I_4$  → Inercia total de la sección tramo cabeza.

$A_4$  → Área total de la sección tramo cabeza.

$A_{al4}$  → Área total de las almas de la sección tramo cabeza.

$W_4$  → Módulo resistente de la sección tramo cabeza.

$\sigma_4$  → Tensión que soporta la sección del tramo cabeza.

$\tau_4$  → Cortante que soporta la sección del tramo cabeza.

$\sigma_{VM4}$  → Tensión de Von Misses para la sección tramo cabeza.

$C_{S1}$  → Coeficiente de seguridad con el material S960QL ( $\sigma = 960$  MPa).

$C_{S2}$  → Coeficiente de seguridad con el material S1100QL ( $\sigma = 1100$  MPa).

▪ **Como resultado obtenemos:**

- Para el acero **S960QL** obtenemos un espesor de **5 mm** y un coeficiente de seguridad de 2.09.

- Para el acero **S1100QL** obtenemos un espesor de **4 mm** y un coeficiente de seguridad de 1.93.

Lo ideal sería escoger el material S1100QL pero supone un coste considerable frente al otro material. Para abaratar costes haremos la sección de dos materiales: la mitad superior formada por los elementos 1, 2 y 3 será del material S1100QL por ser la parte que soporta los mayores esfuerzos y la parte inferior de la sección formada por los elementos 4, 5 y 6 la fabricaremos con el material S960QL.

A la hora de unir las dos partes de la sección lo haremos por medio de soldadura a tope con penetración completa y como tal no precisa de cálculo.

La utilización de una sección formada de dos materiales también se va a llevar a cabo en los restantes tramos.

### 1.2.2.2. Sección tramo tercero.

#### Tablas de componentes de la sección del tramo tercero.

COMPONENTE 1 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO TERCERO					
$e_1$ [mm]	$h_1$ [mm]	$b_1$ [mm]	$A_1$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg1}$ [mm]	$i_1$ [mm <sup>4</sup> ]
2	2	194	388	541	22595458,63
3	3	193	579	540,5	33566055,14
4	4	192	768	540	44321163,13
5	5	191	955	539,5	54862722,83
6	6	190	1140	539	65192666,62
7	7	189	1323	538,5	75522487,93
8	8	188	1504	538	85701149,85
9	9	187	1683	537,5	95729351,16
10	10	186	1860	537	105607788,57
11	11	185	2035	536,5	115337156,73
12	12	184	2208	536	124918148,23
13	13	183	2379	535,5	134351453,63
14	14	182	2548	535	143637761,42
15	15	181	2715	534,5	152777758,06

**Tabla 19**



COMPONENTE 2 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO TERCERO					
$e_2$ [mm]	$R_{ext2}$ [mm]	$R_{int2}$ [mm]	$A_2$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg2}$ [mm]	$i_2$ [mm <sup>4</sup> ]
2	52	50	160,22	522,47	7992282,67
3	53	50	242,69	521,80	12029093,08
4	54	50	326,73	521,12	16091665,50
5	55	50	412,33	520,45	20178996,42
6	56	50	499,51	519,78	24290089,96
7	57	50	588,26	519,11	28509572,51
8	58	50	678,58	518,44	32776658,91
9	59	50	770,48	517,77	37090869,41
10	60	50	863,94	517,11	41451726,35
11	61	50	958,97	516,45	45858754,11
12	62	50	1055,58	515,79	50311479,13
13	63	50	1153,75	515,13	54809429,91
14	64	50	1253,50	514,47	59352137,01
15	65	50	1354,81	513,81	63939133,04

Tabla 20

COMPONENTE 3 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO TERCERO					
$e_3$ [mm]	$h_3$ [mm]	$b_3$ [mm]	$A_3$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg3}$ [mm]	$i_3$ [mm <sup>4</sup> ]
2	178	2	356	401	4594569,30
3	177	3	531	400,5	6778734,55
4	176	4	704	400	8889110,55
5	175	5	875	399,5	10926904,72
6	174	6	1044	399	12893316,19
7	173	7	1211	398,5	14868877,51
8	172	8	1376	398	16796365,80
9	171	9	1539	397,5	18676318,39
10	170	10	1700	397	20509270,04
11	169	11	1859	396,5	22295752,95
12	168	12	2016	396	24036296,74
13	167	13	2171	395,5	25731428,43
14	166	14	2324	395	27381672,52
15	165	15	2475	394,5	28987550,87

Tabla 21



COMPONENTE 4 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO TERCERO					
$e_4$ [mm]	$h_4$ [mm]	$b_4$ [mm]	$A_4$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg4}$ [mm]	$i_4$ [mm <sup>4</sup> ]
2	70	2	140	277	129179,65
3	69	3	207	277,5	184392,02
4	68	4	272	278	233768,20
5	67	5	335	278,5	277610,73
6	66	6	396	279	316214,96
7	65	7	455	279,5	343755,53
8	64	8	512	280	365513,81
9	63	9	567	280,5	381978,91
10	62	10	620	281	393622,91
11	61	11	671	281,5	400900,86
12	60	12	720	282	404250,78
13	59	13	767	282,5	404093,72
14	58	14	812	283	400833,74
15	57	15	855	283,5	394857,93

Tabla 22

COMPONENTE 5 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO TERCERO					
$e_5$ [mm]	$R_{ext5}$ [mm]	$R_{int5}$ [mm]	$A_5$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg5}$ [mm]	$i_5$ [mm <sup>4</sup> ]
2	242	240	757,12	88,57	37907067,94
3	243	240	1138,04	89,25	56700887,93
4	244	240	1520,53	89,93	75388605,20
5	245	240	1904,59	90,61	93970509,02
6	246	240	2290,22	91,29	112446896,09
7	247	240	2677,42	91,97	130448970,46
8	248	240	3066,19	92,65	148242129,85
9	249	240	3456,54	93,33	165827251,09
10	250	240	3848,45	94,01	183205225,83
11	251	240	4241,94	94,68	200376960,48
12	252	240	4636,99	95,36	217343376,19
13	253	240	5033,62	96,04	234105408,85
14	254	240	5431,81	96,71	250664009,06
15	255	240	5831,58	97,39	267020142,10

Tabla 23

COMPONENTE 6 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO TERCERO					
$e_6$ [mm]	$h_6$ [mm]	$b_6$ [mm]	$A_6$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg6}$ [mm]	$i_6$ [mm <sup>4</sup> ]
2	2	4	8	1	713680,1862
3	3	3	9	1,5	800460,0185
4	4	2	8	2	709365,6717
5	5	1	5	2,5	442010,7227
6	6	0	0	3	0
7	7	0	0	3,5	0
8	8	0	0	4	0
9	9	0	0	4,5	0
10	10	0	0	5	0
11	11	0	0	5,5	0
12	12	0	0	6	0
13	13	0	0	6,5	0
14	14	0	0	7	0
15	15	0	0	7,5	0

**Tabla 24**
**Tabla de resultados de la sección tramo tercero.**

e	$H_{3cdg}$ [mm]	$I_3$ [mm <sup>4</sup> ]	$A_3$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{al3}$ [mm <sup>2</sup> ]	$W_3$ [mm <sup>3</sup> ]	$\sigma_3$ [MPa]	$\tau_3$ [MPa]	$\sigma_{VM3}$ [MPa]	$C_{S1}$	$C_{S2}$
2	299,68	1,48E+08	3619	1909	4,93E+05	1160,82	18,89	1161,29	0,83	0,95
3	299,73	2,20E+08	5413	2857	7,34E+05	779,54	12,63	779,84	1,23	1,41
4	299,77	2,91E+08	7199	3799	9,72E+05	588,93	9,49	589,16	1,63	1,87
5	299,82	3,61E+08	8974	4737	1,21E+06	474,61	7,62	474,79	2,02	2,32
6	299,87	4,30E+08	10739	5670	1,43E+06	398,42	6,36	398,57	2,41	2,76
7	299,59	4,99E+08	12509	6598	1,67E+06	342,88	5,47	343,01	2,80	3,21
8	299,30	5,68E+08	14274	7521	1,90E+06	301,22	4,80	301,34	3,19	3,65
9	299,02	6,35E+08	16032	8439	2,12E+06	268,83	4,27	268,94	3,57	4,09
10	298,74	7,02E+08	17785	9352	2,35E+06	242,93	3,86	243,02	3,95	4,53
11	298,45	7,69E+08	19532	10261	2,58E+06	221,74	3,52	221,82	4,33	4,96
12	298,17	8,34E+08	21273	11165	2,80E+06	204,08	3,23	204,16	4,70	5,39
13	297,89	8,99E+08	23009	12063	3,02E+06	189,15	2,99	189,22	5,07	5,81
14	297,60	9,63E+08	24739	12957	3,24E+06	176,36	2,78	176,42	5,44	6,24
15	297,32	1,03E+09	26463	13846	3,45E+06	165,27	2,61	165,33	5,81	6,65

**Tabla 25**

Leyenda de la tabla 17:

$e$  → Espesor de chapa en milímetros.

$H_{cdg3}$  → Altura del centro de gravedad de la sección tramo tercero.

$I_3$  → Inercia total de la sección tramo tercero.

$A_3$  → Área total de la sección tramo tercero.

$A_{al3}$  → Área total de las almas de la sección tramo tercero.

$W_3$  → Módulo resistente de la sección tramo tercero.

$\sigma_3$  → Tensión que soporta la sección del tramo tercero.

$\tau_3$  → Cortante que soporta la sección del tramo tercero.

$\sigma_{VM3}$  → Tensión de Von Misses para la sección tramo tercero.

$C_{S1}$  → Coeficiente de seguridad con el material S960QL ( $\sigma = 960$  MPa).

$C_{S2}$  → Coeficiente de seguridad con el material S1100QL ( $\sigma = 1100$  MPa).

▪ **Como resultado obtenemos:**

- Para el acero **S960QL** obtenemos un espesor de **6 mm** y un coeficiente de seguridad de 2.02.

- Para el acero **S1100QL** obtenemos un espesor de **4 mm** y un coeficiente de seguridad de 1.87.

### 1.2.2.3. Sección tramo segundo.

#### Tablas de componentes de la sección del tramo segundo.

COMPONENTE 1 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO SEGUNDO					
$e_1$ [mm]	$h_1$ [mm]	$b_1$ [mm]	$A_1$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg1}$ [mm]	$i_1$ [mm <sup>4</sup> ]
2	2	216	432	585	29285020,52
3	3	215	645	584,5	43540770,55
4	4	214	856	584	57541506,28
5	5	213	1065	583,5	71289337,30
6	6	212	1272	583	84786365,36
7	7	211	1477	582,5	98034684,38
8	8	210	1680	582	111322319,04
9	9	209	1881	581,5	124432918,85
10	10	208	2080	581	137367243,71
11	11	207	2277	580,5	150126051,47
12	12	206	2472	580	162710097,90
13	13	205	2665	579,5	175120136,74
14	14	204	2856	579	187356919,65
15	15	203	3045	578,5	199421196,28

**Tabla 26**

COMPONENTE 2 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO SEGUNDO					
$e_2$ [mm]	$R_{ext2}$ [mm]	$R_{int2}$ [mm]	$A_2$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg2}$ [mm]	$i_2$ [mm <sup>4</sup> ]
2	52	50	160,22	566,47	9409921,01
3	53	50	242,69	565,80	14169656,36
4	54	50	326,73	565,12	18964407,31
5	55	50	412,33	564,45	23793057,68
6	56	50	499,51	563,78	28654498,89
7	57	50	588,26	563,11	33547630,02
8	58	50	678,58	562,44	38578071,91
9	59	50	770,48	561,77	43666382,95
10	60	50	863,94	561,11	48812031,06
11	61	50	958,97	560,45	54014486,23
12	62	50	1055,58	559,79	59273220,49
13	63	50	1153,75	559,13	64587707,93
14	64	50	1253,50	558,47	69957424,71
15	65	50	1354,81	557,81	75381849,01

**Tabla 27**



COMPONENTE 3 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO SEGUNDO					
$e_3$ [mm]	$h_3$ [mm]	$b_3$ [mm]	$A_3$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg3}$ [mm]	$i_3$ [mm <sup>4</sup> ]
2	208	2	416	430	6118014,50
3	207	3	621	429,5	9039978,01
4	206	4	824	429	11872366,83
5	205	5	1025	428,5	14616511,47
6	204	6	1224	428	17273734,19
7	203	7	1421	427,5	19845348,95
8	202	8	1616	427	22441978,83
9	201	9	1809	426,5	24980814,22
10	200	10	2000	426	27462452,16
11	199	11	2189	425,5	29887487,12
12	198	12	2376	425	32256510,94
13	197	13	2561	424,5	34570112,93
14	196	14	2744	424	36828879,75
15	195	15	2925	423,5	39033395,52

Tabla 28

COMPONENTE 4 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO SEGUNDO					
$e_4$ [mm]	$h_4$ [mm]	$b_4$ [mm]	$A_4$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg4}$ [mm]	$i_4$ [mm <sup>4</sup> ]
2	63	2	126	294,5	156110,04
3	62	3	186	295	223474,72
4	61	4	244	295,5	284156,42
5	60	5	300	296	338479,07
6	59	6	354	296,5	386759,41
7	58	7	406	297	429306,96
8	57	8	456	297,5	458199,74
9	56	9	504	298	480635,88
10	55	10	550	298,5	497123,70
11	54	11	594	299	508154,56
12	53	12	636	299,5	514202,89
13	52	13	676	300	515726,13
14	51	14	714	300,5	513164,85
15	50	15	750	301	506942,69

Tabla 29



COMPONENTE 5 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO SEGUNDO					
$e_5$ [mm]	$R_{ext5}$ [mm]	$R_{int5}$ [mm]	$A_5$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg5}$ [mm]	$i_5$ [mm <sup>4</sup> ]
2	263	261	823,10	96,20	48301798,61
3	264	261	1237,00	96,89	72264649,69
4	265	261	1652,48	97,57	96102548,02
5	266	261	2069,52	98,25	119815812,41
6	267	261	2488,14	98,93	143404769,12
7	268	261	2908,33	99,60	166869751,82
8	269	261	3330,09	100,28	189716506,46
9	270	261	3753,42	100,96	212318101,36
10	271	261	4178,32	101,64	234675501,97
11	272	261	4604,79	102,32	256789688,47
12	273	261	5032,83	102,99	278661655,71
13	274	261	5462,44	103,67	300292413,25
14	275	261	5893,63	104,35	321682985,32
15	276	261	6326,38	105,02	342834410,77

Tabla 30

COMPONENTE 6 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO SEGUNDO					
$e_6$ [mm]	$h_6$ [mm]	$b_6$ [mm]	$A_6$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg6}$ [mm]	$i_6$ [mm <sup>4</sup> ]
2	2	5	10	1	1047410,245
3	3	4	12	1,5	1253384,27
4	4	3	12	2	1249884,986
5	5	2	10	2,5	1038662,038
6	6	1	6	3	621456,3277
7	7	0	0	3,5	0
8	8	0	0	4	0
9	9	0	0	4,5	0
10	10	0	0	5	0
11	11	0	0	5,5	0
12	12	0	0	6	0
13	13	0	0	6,5	0
14	14	0	0	7	0
15	15	0	0	7,5	0

Tabla 31

### Tabla de resultados de la sección tramo segundo.

e	H <sub>2cdg</sub> [mm]	I <sub>2</sub> [mm <sup>4</sup> ]	A <sub>2</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>al2</sub> [mm <sup>2</sup> ]	W <sub>2</sub> [mm <sup>3</sup> ]	σ <sub>2</sub> [MPa]	τ <sub>2</sub> [MPa]	σ <sub>VM2</sub> [MPa]	C <sub>S1</sub>	C <sub>S2</sub>
2	324,64	1,89E+08	3935	2067	5,81E+05	1362,48	18,11	1362,85	0,70	0,81
3	324,68	2,81E+08	5887	3094	8,65E+05	914,50	12,10	914,75	1,05	1,20
4	324,73	3,72E+08	7830	4115	1,15E+06	690,56	9,10	690,74	1,39	1,59
5	324,78	4,62E+08	9764	5132	1,42E+06	556,23	7,30	556,37	1,73	1,98
6	324,83	5,50E+08	11687	6144	1,69E+06	466,70	6,09	466,82	2,06	2,36
7	324,88	6,37E+08	13601	7151	1,96E+06	402,78	5,24	402,88	2,38	2,73
8	324,59	7,25E+08	15521	8153	2,23E+06	353,75	4,59	353,84	2,71	3,11
9	324,31	8,12E+08	17436	9150	2,50E+06	315,63	4,09	315,71	3,04	3,48
10	324,03	8,98E+08	19345	10142	2,77E+06	285,13	3,69	285,20	3,37	3,86
11	323,75	9,83E+08	21248	11130	3,04E+06	260,19	3,36	260,25	3,69	4,23
12	323,47	1,07E+09	23145	12112	3,30E+06	239,41	3,09	239,47	4,01	4,59
13	323,19	1,15E+09	25036	13090	3,56E+06	221,83	2,86	221,88	4,33	4,96
14	322,90	1,23E+09	26922	14063	3,82E+06	206,76	2,66	206,81	4,64	5,32
15	322,62	1,31E+09	28802	15031	4,07E+06	193,71	2,49	193,76	4,95	5,68

**Tabla 32**

Leyenda de la tabla 18:

e → Espesor de chapa en milímetros.

H<sub>cdg2</sub> → Altura del centro de gravedad de la sección tramo segundo.

I<sub>2</sub> → Inercia total de la sección tramo segundo.

A<sub>2</sub> → Área total de la sección tramo segundo.

A<sub>al2</sub> → Área total de las almas de la sección tramo segundo.

W<sub>2</sub> → Módulo resistente de la sección tramo segundo.

σ<sub>2</sub> → Tensión que soporta la sección del tramo segundo.

τ<sub>2</sub> → Cortante que soporta la sección del tramo segundo.

σ<sub>VM2</sub> → Tensión de Von Misses para la sección tramo segundo.

$C_{S1}$  → Coeficiente de seguridad con el material S960QL ( $\sigma = 960$  MPa).

$C_{S2}$  → Coeficiente de seguridad con el material S1100QL ( $\sigma = 1100$  MPa).

▪ **Como resultado obtenemos:**

- Para el acero **S960QL** obtenemos un espesor de **7 mm** y un coeficiente de seguridad de 2.38.

- Para el acero **S1100QL** obtenemos un espesor de **5 mm** y un coeficiente de seguridad de 1.98.

#### 1.2.2.4. Sección tramo base.

##### Tablas de componentes de la sección del tramo base.

COMPONENTE 1 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO BASE					
$e_1$ [mm]	$h_1$ [mm]	$b_1$ [mm]	$A_1$ [mm <sup>2</sup> ]	$H_{cdg1}$ [mm]	$i_1$ [mm <sup>4</sup> ]
2	2	238	476	684	44566635,80
3	3	237	711	683,5	66331430,33
4	4	236	944	683	87753820,42
5	5	235	1175	682,5	108836254,65
6	6	234	1404	682	129581173,80
7	7	233	1631	681,5	149991010,83
8	8	232	1856	681	170449480,46
9	9	231	2079	680,5	190668342,13
10	10	230	2300	680	210648456,10
11	11	229	2519	679,5	230390680,54
12	12	228	2736	679	249895871,52
13	13	227	2951	678,5	269164883,05
14	14	226	3164	678	288198567,06
15	15	225	3375	677,5	306997773,37

**Tabla 33**



COMPONENTE 2 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO BASE					
$e_2$ [mm]	$R_{ext2}$ [mm]	$R_{int2}$ [mm]	$A_2$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg2}$ [mm]	$i_2$ [mm <sup>4</sup> ]
2	52	50	160,22	665,47	13278846,26
3	53	50	242,69	664,80	20013917,74
4	54	50	326,73	664,12	26810895,17
5	55	50	412,33	663,45	33668393,26
6	56	50	499,51	662,78	40585034,30
7	57	50	588,26	662,11	47559448,13
8	58	50	678,58	661,44	54720674,85
9	59	50	770,48	660,77	61971731,09
10	60	50	863,94	660,11	69311980,14
11	61	50	958,97	659,45	76740787,29
12	62	50	1055,58	658,79	84257519,85
13	63	50	1153,75	658,13	91861547,19
14	64	50	1253,50	657,47	99552240,67
15	65	50	1354,81	656,81	107328973,70

Tabla 34

COMPONENTE 3 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO BASE					
$e_3$ [mm]	$h_3$ [mm]	$b_3$ [mm]	$A_3$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg3}$ [mm]	$i_3$ [mm <sup>4</sup> ]
2	248	2	496	509	11052121,55
3	247	3	741	508,5	16374742,20
4	246	4	984	508	21563911,50
5	245	5	1225	507,5	26621250,72
6	244	6	1464	507	31548372,90
7	243	7	1701	506,5	36346882,85
8	242	8	1936	506	41186292,52
9	241	9	2169	505,5	45939610,79
10	240	10	2400	505	50607551,03
11	239	11	2629	504,5	55190824,05
12	238	12	2856	504	59690138,12
13	237	13	3081	503,5	64106198,98
14	236	14	3304	503	68439709,81
15	235	15	3525	502,5	72691371,24

Tabla 35



COMPONENTE 4 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO BASE					
$e_4$ [mm]	$h_4$ [mm]	$b_4$ [mm]	$A_4$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg4}$ [mm]	$i_4$ [mm <sup>4</sup> ]
2	100	2	200	335	536718,17
3	99	3	297	335,5	780596,13
4	98	4	392	336	1008828,70
5	97	5	485	336,5	1221913,30
6	96	6	576	337	1420340,04
7	95	7	665	337,5	1604591,74
8	94	8	752	338	1754673,20
9	93	9	837	338,5	1887596,90
10	92	10	920	339	2004195,58
11	91	11	1001	339,5	2105284,62
12	90	12	1080	340	2191662,01
13	89	13	1157	340,5	2264108,40
14	88	14	1232	341	2323387,09
15	87	15	1305	341,5	2370244,08

Tabla 36

COMPONENTE 5 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO BASE					
$e_5$ [mm]	$R_{ext5}$ [mm]	$R_{int5}$ [mm]	$A_5$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg5}$ [mm]	$i_5$ [mm <sup>4</sup> ]
2	285	283	892,21	104,20	73709627,75
3	286	283	1340,67	104,88	110331056,60
4	287	283	1790,71	105,56	146797178,93
5	288	283	2242,31	106,24	183108216,79
6	289	283	2695,49	106,92	219264399,78
7	290	283	3150,23	107,60	255265965,09
8	291	283	3606,55	108,28	290453005,02
9	292	283	4064,44	108,96	325322575,07
10	293	283	4523,89	109,64	359875517,18
11	294	283	4984,92	110,31	394112688,45
12	295	283	5447,52	110,99	428034961,17
13	296	283	5911,69	111,67	461643222,75
14	297	283	6377,43	112,34	494938375,76
15	298	283	6844,74	113,02	527921337,88

Tabla 37

COMPONENTE 6 DE LA SECCIÓN DEL TRAMO BASE					
$e_6$ [mm]	$h_6$ [mm]	$b_6$ [mm]	$A_6$ [mm <sup>2</sup> ]	$h_{cdg6}$ [mm]	$i_6$ [mm <sup>4</sup> ]
2	2	5	10	1	1421403,57
3	3	4	12	1,5	1701595,847
4	4	3	12	2	1697516,195
5	5	2	10	2,5	1411204,443
6	6	1	6	3	844691,6317
7	7	0	0	3,5	0
8	8	0	0	4	0
9	9	0	0	4,5	0
10	10	0	0	5	0
11	11	0	0	5,5	0
12	12	0	0	6	0
13	13	0	0	6,5	0
14	14	0	0	7	0
15	15	0	0	7,5	0

**Tabla 38**

Leyenda de las tablas 12, 13, 14 y 15:

Componente 1:

$e_1$  → Espesor del elemento 1.

$h_1$  → Altura del elemento 1.

$b_1$  → Base del elemento 1.

$A_1$  → Área del elemento 1.

$h_{cdg1}$  → Altura del centro de gravedad del elemento 1.

$i_1$  → Inercia del elemento 1.

Componente 2:

$e_2$  → Espesor del elemento 2.



$R_{ext2}$  → Radio exterior del elemento 2.

$R_{int2}$  → Radio interior del elemento 2.

$A_2$  → Área del elemento 2.

$h_{cdg2}$  → Altura del centro de gravedad del elemento 2.

$i_2$  → Inercia del elemento 2.

### Componente 3:

$e_3$  → Espesor del elemento 3.

$h_3$  → Altura del elemento 3.

$b_3$  → Base del elemento 3.

$A_3$  → Área del elemento 3.

$h_{cdg3}$  → Altura del centro de gravedad del elemento 3.

$i_3$  → Inercia del elemento 3.

### Componente 4:

$e_4$  → Espesor del elemento 4.

$h_4$  → Altura del elemento 4.

$b_4$  → Base del elemento 4.

$A_4$  → Área del elemento 4.

$h_{cdg4}$  → Altura del centro de gravedad del elemento 4.

$i_4$  → Inercia del elemento 4.

### Componente 5:

$e_5$  → Espesor del elemento 5.

$R_{ext5}$  → Radio exterior del elemento 5.

$R_{int5}$  → Radio interior del elemento 5.

$A_5$  → Área del elemento 5.

$h_{cdg5}$  → Altura del centro de gravedad del elemento 5.

$i_5$  → Inercia del elemento 5.

### Componente 6:

$e_6$  → Espesor del elemento 6.

$h_6$  → Altura del elemento 6.

$b_6$  → Base del elemento 6.

$A_6$  → Área del elemento 6.

$h_{cdg6}$  → Altura del centro de gravedad del elemento 6.

$i_6$  → Inercia del elemento 6.

### Tabla de resultados de la sección tramo base.

e	H <sub>1cdg</sub> [mm]	I <sub>1</sub> [mm <sup>4</sup> ]	A <sub>1</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>al1</sub> [mm <sup>2</sup> ]	W <sub>1</sub> [mm <sup>3</sup> ]	σ <sub>1</sub> [MPa]	τ <sub>1</sub> [MPa]	σ <sub>VM1</sub> [MPa]	C <sub>s1</sub>	C <sub>s2</sub>
2	378,01	2,89E+08	4469	2444	7,65E+05	1555,99	102,43	1566,07	0,61	0,70
3	378,06	4,31E+08	6689	3659	1,14E+06	1043,56	68,42	1050,27	0,91	1,05
4	378,11	5,71E+08	8899	4869	1,51E+06	787,38	51,42	792,41	1,21	1,39
5	378,16	7,10E+08	11099	6075	1,88E+06	633,71	41,22	637,72	1,51	1,72
6	378,21	8,46E+08	13290	7275	2,24E+06	531,29	34,42	534,62	1,80	2,06
7	378,25	9,82E+08	15471	8470	2,59E+06	458,15	29,56	461,00	2,08	2,39
8	377,96	1,12E+09	17658	9661	2,96E+06	402,19	25,92	404,68	2,37	2,72
9	377,67	1,25E+09	19840	10847	3,31E+06	358,67	23,08	360,89	2,66	3,05
10	377,38	1,38E+09	22016	12028	3,67E+06	323,86	20,82	325,86	2,95	3,38
11	377,09	1,52E+09	24186	13204	4,02E+06	295,38	18,96	297,20	3,23	3,70
12	376,80	1,65E+09	26350	14375	4,37E+06	271,65	17,42	273,32	3,51	4,02
13	376,51	1,78E+09	28509	15541	4,72E+06	251,58	16,11	253,12	3,79	4,35
14	376,22	1,91E+09	30662	16703	5,07E+06	234,38	14,99	235,81	4,07	4,66
15	375,93	2,03E+09	32809	17860	5,41E+06	219,47	14,02	220,81	4,35	4,98

**Tabla 39**

Leyenda de la tabla 19:

e → Espesor de chapa en milímetros.

H<sub>cdg1</sub> → Altura del centro de gravedad de la sección tramo base.

I<sub>1</sub> → Inercia total de la sección tramo base.

A<sub>1</sub> → Área total de la sección tramo base.

A<sub>al1</sub> → Área total de las almas de la sección tramo base.

W<sub>1</sub> → Módulo resistente de la sección tramo base.

σ<sub>1</sub> → Tensión que soporta la sección del tramo base.

τ<sub>1</sub> → Cortante que soporta la sección del tramo base.

σ<sub>VM1</sub> → Tensión de Von Misses para la sección tramo base.

$C_{S1}$  → Coeficiente de seguridad con el material S960QL ( $\sigma = 960$  MPa).

$C_{S2}$  → Coeficiente de seguridad con el material S1100QL ( $\sigma = 1100$  MPa).

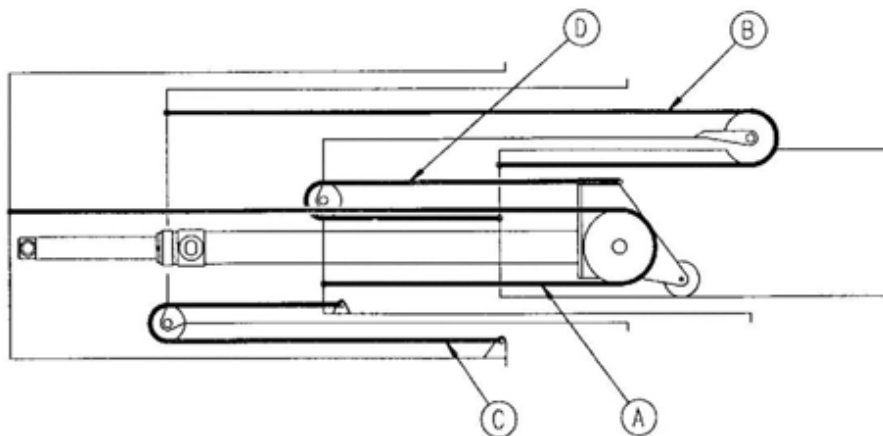
▪ **Como resultado obtenemos:**

- Para el acero **S960QL** obtenemos un espesor de **7 mm** y un coeficiente de seguridad de 2.08.

- Para el acero **S1100QL** obtenemos un espesor de **6 mm** y un coeficiente de seguridad de 2.06.

### 1.2.3. Telescopado de la pluma

Para la extensión o retracción de la pluma de una forma sincronizada utilizaremos un sistema de cables y poleas accionadas mediante un cilindro hidráulico de doble efecto, tal y como se muestran en la figura 6.

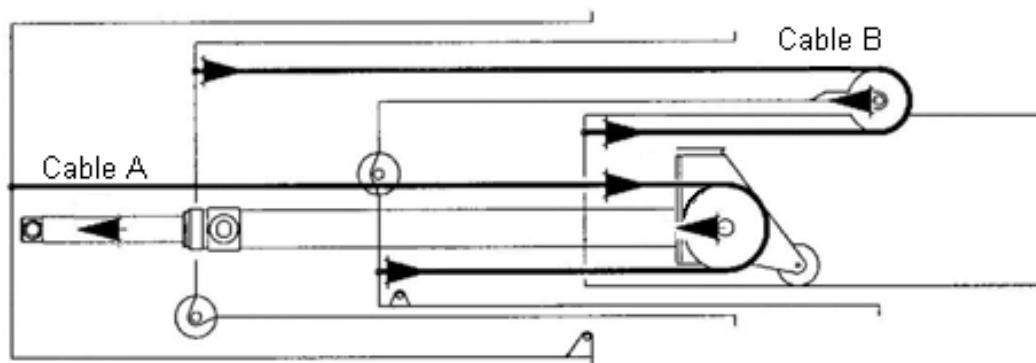


**Figura 6**

Para lograr la sincronización a la hora de extender o recoger la pluma, las sirgas y el cilindro de extensión deben tener una disposición determinada, ya que si no se colocan de la manera correcta, los tramos saldrán descoordinados haciendo más vulnerable la estructura.

El cilindro de extensión ha de estar anclado al tramo base, porque es éste el tramo fijo que hará de bastidor para soportar los esfuerzos del cilindro, y al segundo tramo que hará de guía y además será el encargado de transmitir la fuerza del cilindro para la retracción de la pluma.

### **Extensión de la pluma**

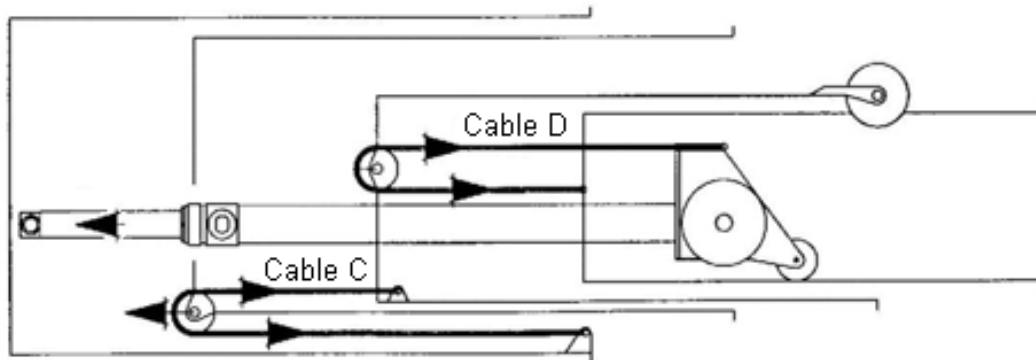


**Figura 7**

La extensión de la pluma estará compuesta por dos partes:

- *Primera extensión* → Formada por el cable A, el cual debe estar anclado a los tramos base y tercero. El movimiento lo genera el cilindro hidráulico a través de una polea situada en el extremo de su camisa, como el tramo base esta fijo el que comenzará a moverse será el tramo tercero.
- *Segunda extensión* → Formada por el cable B, el cual está anclado a los tramos segundo y cabeza. El movimiento les será transmitido a través del cilindro, ya que la camisa de éste se haya anclada al segundo tramo, y también por medio de una polea situada en la boca del tramo tercero, la cual tiene la misión de compensar la tensión entre los ramales del cable B.

### **Retracción de la pluma**



**Figura 8**

La retracción de la pluma estará compuesta por dos partes:

- *Primera retracción* → Formada por el cable C, el cual debe estar anclado a los tramos base y tercero. El movimiento lo genera el cilindro hidráulico anclado en el segundo tramo que a su vez y por medio de una polea y del cable C arrastra al tramo tercero.
- *Segunda retracción* → Formada por el cable D, el cual está anclado al tramo cabeza y al cilindro hidráulico. El movimiento lo genera el tramo tercero, siendo arrastrado por el cable C, y el propio cilindro cuando desciende.

#### **1.2.3.1. Cálculo de tensiones en las sirgas de telescopado.**

Para llevar a cabo el cálculo de las fuerzas a las que se ven sometidas las sirgas, utilizaremos el método de los cuerpos libres tanto para la extensión como la retracción de la pluma.

### 1.2.3.1.1. Cuerpos libres de la extensión de la pluma.

#### Cuerpo libre de la extensión del tramo cabeza

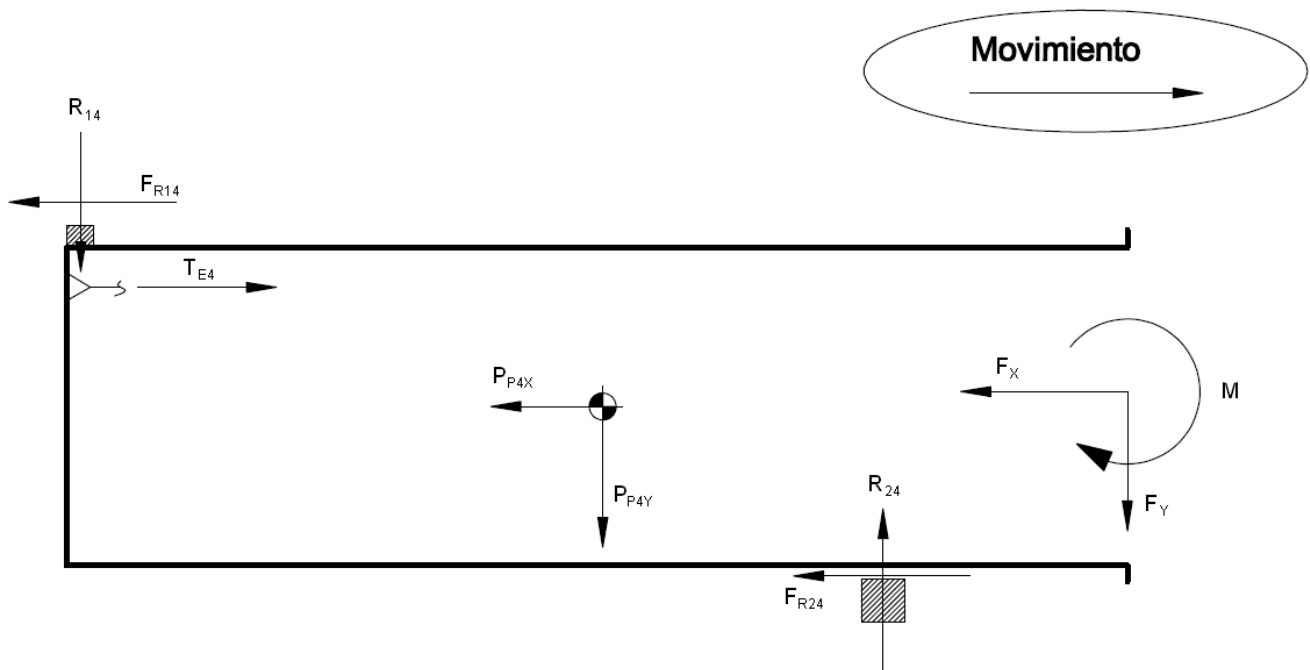


Figura 9

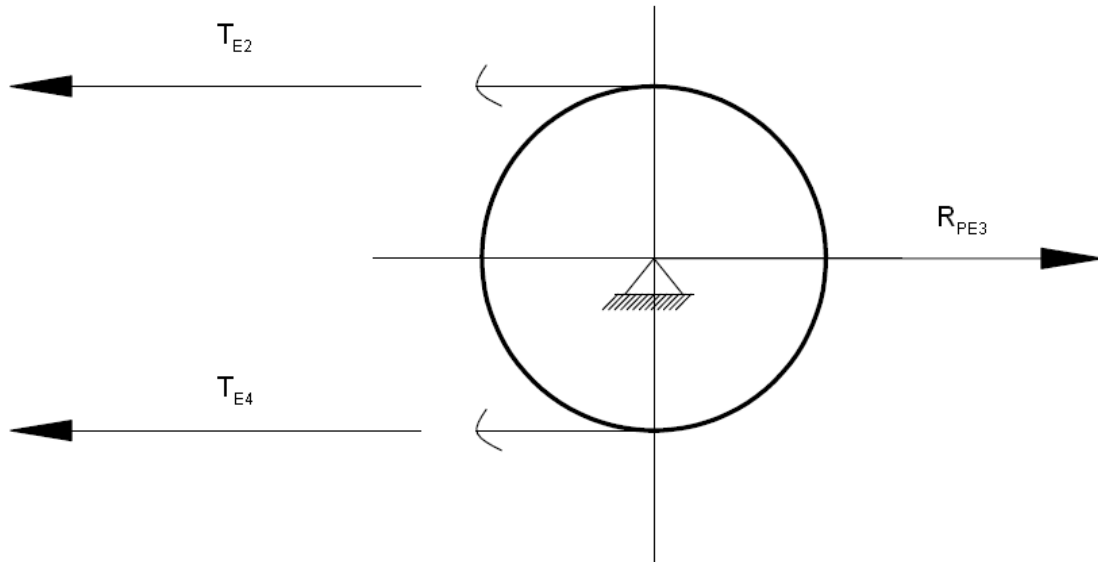
Las variables ya conocidas de este cuerpo libre son:  $R_{14}$ ,  $P_{P4X}$ ,  $P_{P4Y}$ ,  $R_{24}$ ,  $F_X$ ,  $F_Y$  y  $M$ . Véase las tablas 2, 3 y 4. Las variables  $F_{R14}$  y  $F_{R24}$  son conocidas indirectamente, puesto que conocemos las reacciones normales y hemos estimado un coeficiente de rozamiento entre el tramo y el patín engrasado de 0.09.

La incógnita a resolver será:  $T_{E4}$ .

$$\sum F_X = 0 \Rightarrow T_{E4} - F_{R14} - F_{R24} - P_{P4X} - F_X = 0$$

$$T_{E4} = F_{R14} + F_{R24} + P_{P4X} + F_X$$

### Cuerpo libre de la polea de extensión del tramo tercero



**Figura 10**

La variable conocida de este cuerpo libre es  $T_{E4}$ , calculada en el apartado anterior.

Las incógnitas a resolver serán:  $T_{E2}$  y  $R_{PE3}$ .

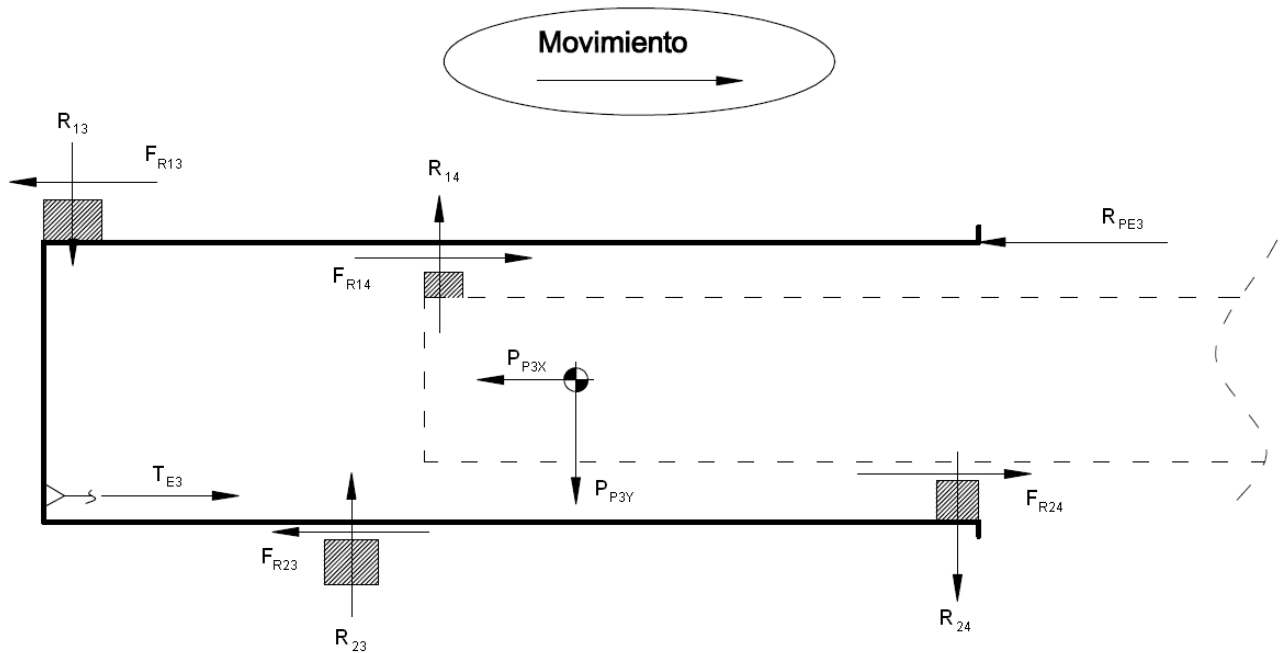
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow R_{PR3} - T_{E2} - T_{E4} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow T_{E2} \times r_p = T_{E4} \times r_p$$

$$\boxed{T_{E2} = T_{E4}}$$

$$\boxed{R_{PR3} = 2 \times T_{E4}}$$

### Cuerpo libre de la extensión del tercer tramo



**Figura 11**

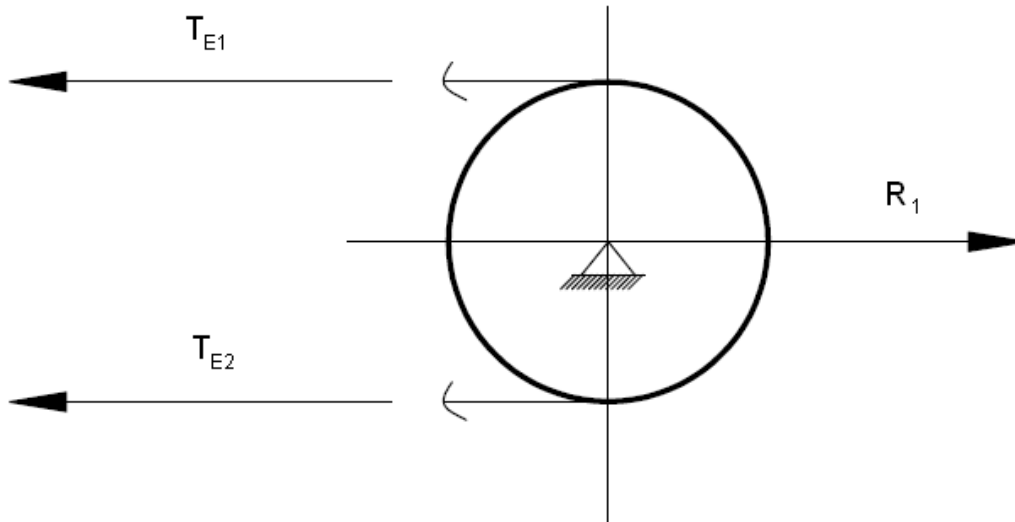
Las variables ya conocidas de este cuerpo libre son:  $R_{13}$ ,  $P_{P3X}$ ,  $P_{P3Y}$ ,  $R_{23}$ ,  $R_{14}$ ,  $R_{24}$ ,  $F_{R14}$ ,  $F_{R24}$  y  $R_{PE3}$ . Véase las tablas 5 y 6. Las variables  $F_{R13}$  y  $F_{R23}$  son conocidas indirectamente, puesto que conocemos las reacciones normales y hemos estimado un coeficiente de rozamiento entre el tramo y el patín engrasado de 0.09.

La incógnita a resolver será:  $T_{E3}$ .

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow T_{E3} + F_{R14} + F_{R24} - R_{PR3} - F_{R13} - F_{R23} - P_{P3X} = 0$$

$$T_{E3} = -F_{R14} - F_{R24} + R_{PR3} + F_{R13} + F_{R23} + P_{P3X}$$

### Cuerpo libre de la polea de extensión del cilindro



**Figura 12**

La variable conocida de este cuerpo libre es  $T_{E3}$ , calculada en el apartado anterior.

Las incógnitas a resolver serán:  $T_{E1}$  y  $R_1$ .

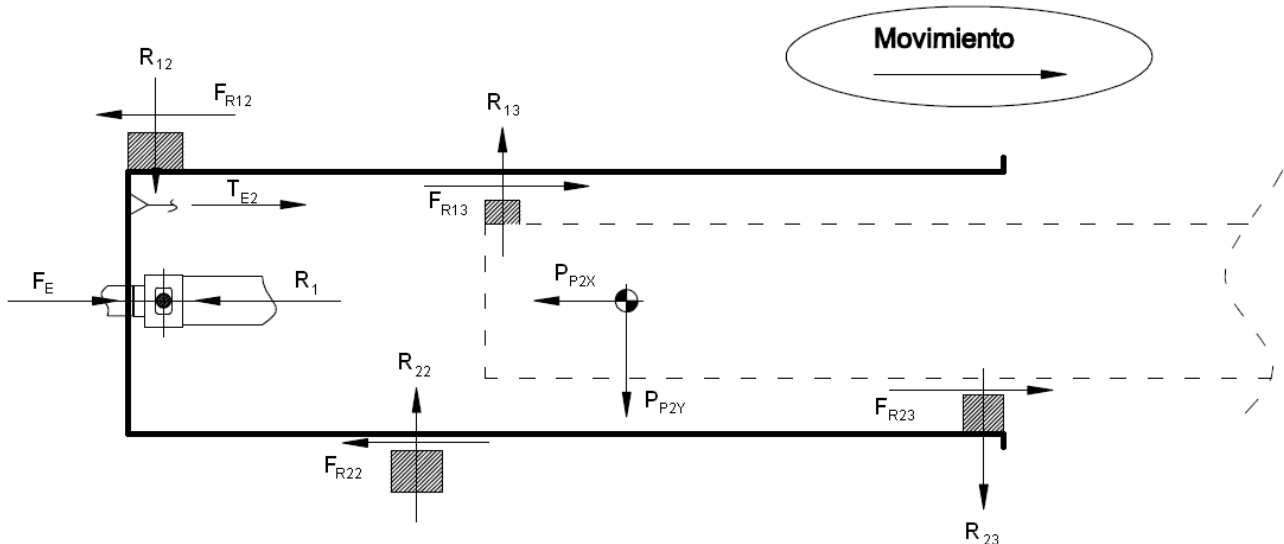
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow R_1 - T_{E2} - T_{E4} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow T_{E1} \times r_p = T_{E3} \times r_p$$

$$T_{E1} = T_{E3}$$

$$R_1 = 2 \times T_{E1}$$

### Cuerpo libre de la extensión del segundo tramo



**Figura 13**

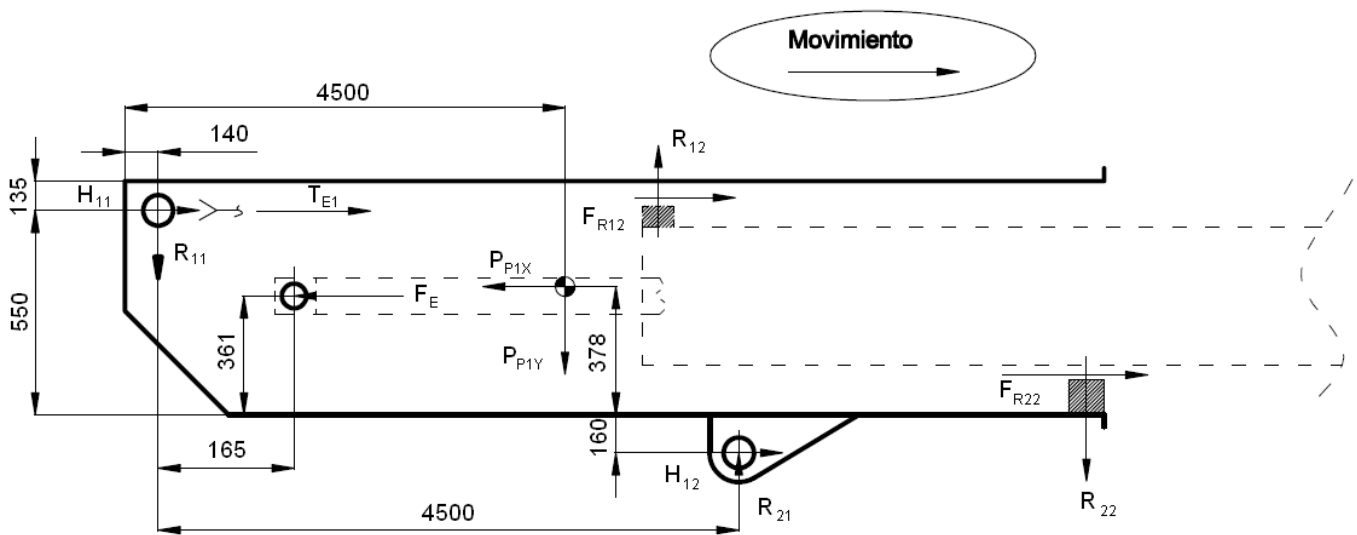
Las variables ya conocidas de este cuerpo libre son:  $T_{E2}$ ,  $R_{12}$ ,  $P_{P2X}$ ,  $P_{P2Y}$ ,  $R_{22}$ ,  $R_{13}$ ,  $R_{23}$ ,  $F_{R13}$ ,  $F_{R23}$  y  $R_1$ . Véase las tablas 7 y 8. Las variables  $F_{R12}$  y  $F_{R22}$  son conocidas indirectamente, puesto que conocemos las reacciones normales y hemos estimado un coeficiente de rozamiento entre el tramo y el patín engrasado de 0.09.

La incógnita a resolver será:  $F_E$ .

$$\sum F_X = 0 \Rightarrow F_E + T_{E2} + F_{R13} + F_{R23} - F_{R12} - F_{R22} - R_1 - P_{P2X} = 0$$

$$F_E = -T_{E2} - F_{R13} - F_{R23} + F_{R12} + F_{R22} + R_1 + P_{P2X}$$

### Cuerpo libre de la extensión del tramo base (Comprobación)



**Figura 14**

Es cuerpo libre no es necesario realizarlo ya que conocemos todas las variables, su único uso es como medio de comprobación para saber si hemos realizado correctamente los cálculos.

$$\sum F_X = 0 \rightarrow H_{11} + H_{12} + F_{R22} + F_{R12} + T_{E1} - F_E - P_{P1X} = 0$$

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow R_{12} + R_{21} - R_{11} - R_{22} - P_{PY} = 0$$

**Tabla de variables conocidas indirectamente**

$F_{R14}$ [N]	$F_{R24}$ [N]	$F_{R13}$ [N]	$F_{R23}$ [N]	$F_{R12}$ [N]	$F_{R22}$ [N]	$H_{11}$ [N]	$H_{12}$ [N]
3020,64	21840,00	3265,68	22147,07	3449,69	22489,43	38577,81	331711,41
4089,58	11637,45	6230,09	13839,98	8278,56	16046,81	44974,15	356387,37
6483,04	11610,08	10354,47	15543,53	14079,73	19427,14	45644,44	372604,28
9152,32	12358,83	14842,73	18111,25	20262,75	23689,63	43780,81	380814,46
20585,62	23043,72	34339,68	36859,79	46299,40	48977,87	25525,61	382784,44

**Tabla 40**

Leyenda de la tabla 20:

$F_{R14}$  → Fuerza de rozamiento transmitida entre el patín 1 del tramo cabeza y el tramo tercero.

$F_{R24}$  → Fuerza de rozamiento transmitida entre el patín 2 del tramo tercero y el tramo cabeza.

$F_{R13}$  → Fuerza de rozamiento transmitida entre el patín 1 del tramo tercero y el tramo segundo.

$F_{R23}$  → Fuerza de rozamiento transmitida entre el patín 2 del tramo segundo y el tramo tercero.

$F_{R12}$  → Fuerza de rozamiento transmitida entre el patín 1 del tramo segundo y el tramo base.

$F_{R22}$  → Fuerza de rozamiento transmitida entre el patín 2 del tramo base y el tramo segundo.

$H_{11}$  → Reacción horizontal del apoyo 1 del tramo base.

$H_{12}$  → Reacción horizontal del apoyo 2 del tramo base.

### Tabla esfuerzos soportados por los cables de extensión de la pluma

E [%]	T <sub>E4</sub> [N]	T <sub>E2</sub> [N]	R <sub>PE3</sub> [N]	T <sub>E3</sub> [N]	T <sub>E1</sub> [N]	R <sub>1</sub> [N]	F <sub>E</sub> [N]
0	361098,94	361098,94	722197,87	727951,52	727951,52	1455903,04	1108758,06
25	383037,63	383037,63	766075,26	775619,84	775619,84	1551239,68	1185884,95
50	402290,93	402290,93	804581,85	817588,26	817588,26	1635176,52	1253922,06
75	412055,49	412055,49	824110,99	840755,35	840755,35	1681510,71	1293881,20
100	417888,48	417888,48	835776,96	868548,62	868548,62	1737097,23	1356714,15

**Tabla 41**

Leyenda tabla 21:

- E → Porcentaje de extensión de la pluma.
- T<sub>E4</sub> → Fuerza soportada por el cable B en el ramal anclado al tramo cabeza.
- T<sub>E2</sub> → Fuerza soportada por el cable B en el ramal anclado al tramo segundo.
- R<sub>PE3</sub> → Fuerza soportada por la polea situada en la cabeza del tramo tercero.
- T<sub>E3</sub> → Fuerza soportada por el cable A en el ramal anclado al tramo tercero.
- R<sub>1</sub> → Fuerza soportada por la polea situada en el cilindro de extensión.
- F<sub>E</sub> → Fuerza de empuje necesaria para la extensión de la pluma.

### 1.2.3.1.2. Cuerpos libres de la retracción de la pluma.

#### Cuerpo libre de la retracción del tramo cabeza



**Figura 15**

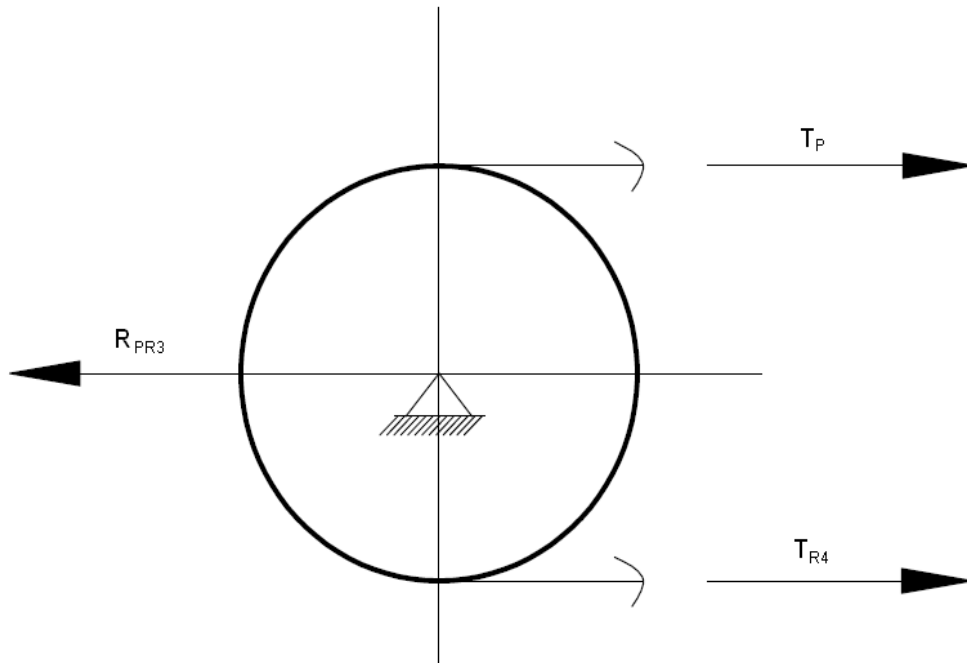
Las variables ya conocidas de este cuerpo libre son:  $R_{14}$ ,  $R_{24}$ . Véase las tablas 3 y 4. Las variables  $F_{R14}$  y  $F_{R24}$  son conocidas indirectamente, puesto que conocemos las reacciones normales y hemos estimado un coeficiente de rozamiento entre el tramo y el patín engrasado de 0.09.

La incógnita a resolver será:  $T_{R4}$ .

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow T_{R4} - F_{R14} - F_{R24} = 0$$

$$T_{R4} = F_{R14} + F_{R24}$$

### Cuerpo libre de la polea de retracción del tramo tercero



**Figura 16**

La variable conocida de este cuerpo libre es  $T_{R4}$  calculada en el apartado anterior.

Las incógnitas a resolver serán:  $T_P$  y  $R_{PR3}$ .

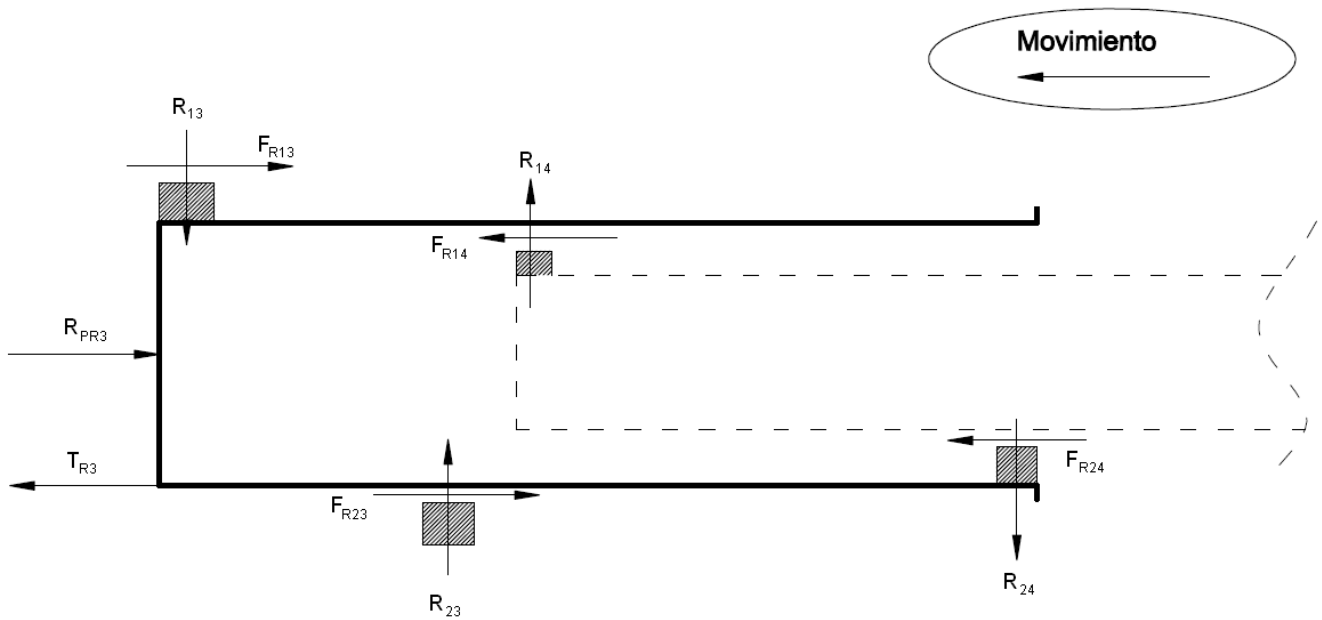
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow T_P + T_{R4} = R_{PR3}$$

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow T_P \times r_p = T_{R4} \times r_p$$

$$\boxed{T_P = T_{R4}}$$

$$\boxed{R_{PR3} = 2 \times T_{R4}}$$

### Cuerpo libre de la retracción del tercer tramo.



**Figura 17**

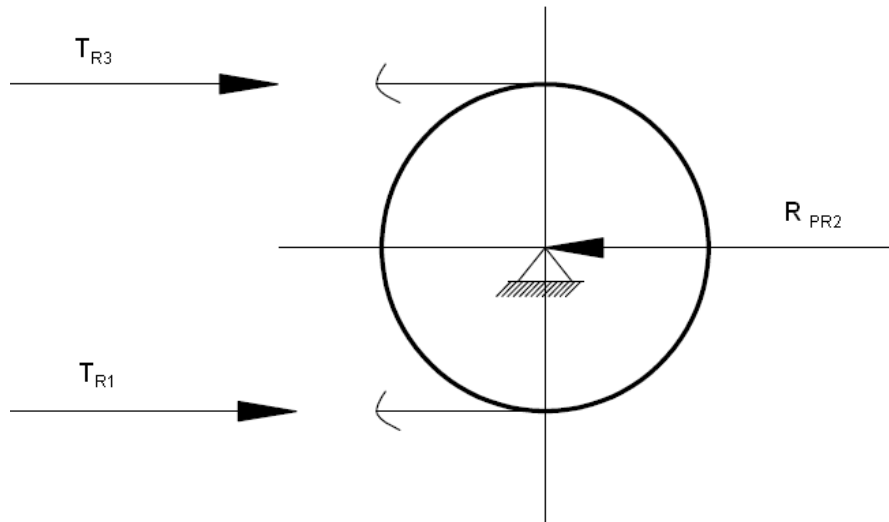
Las variables ya conocidas de este cuerpo libre son:  $R_{13}$ ,  $R_{23}$ ,  $R_{14}$ ,  $R_{24}$ ,  $R_{PR3}$ ,  $F_{R14}$  y  $F_{R24}$ . Véase las tablas 5 y 6. Las variables  $F_{R13}$  y  $F_{R23}$  son conocidas indirectamente, puesto que conocemos las reacciones normales y hemos estimado un coeficiente de rozamiento entre el tramo y el patín engrasado de 0.09.

La incógnita a resolver será:  $T_{R3}$ .

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow T_{R3} + F_{R14} + F_{R24} - R_{PR3} - F_{R13} - F_{R23} = 0$$

$$T_{R3} = -F_{R14} - F_{R24} + R_{PR3} + F_{R13} + F_{R23}$$

### Cuerpo libre de la polea de retracción del segundo tramo



**Figura 18**

La variable conocida de este cuerpo libre es  $T_{R3}$  calculada en el apartado anterior.

Las incógnitas a resolver serán:  $T_{R1}$  y  $R_{PR2}$ .

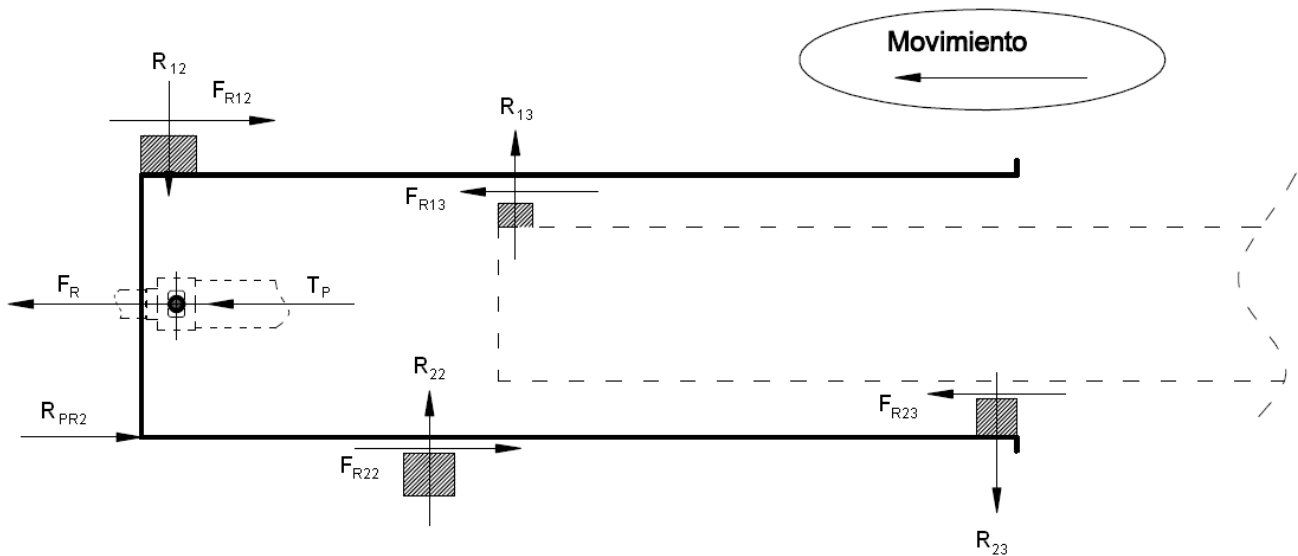
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow T_{R1} + T_{R3} = R_{PR2}$$

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow T_{R1} \times r_p = T_{R3} \times r_p$$

$$T_{R1} = T_{R3}$$

$$R_{PR2} = 2 \times T_{R3}$$

### Cuerpo libre de la retracción del segundo tramo



**Figura 19**

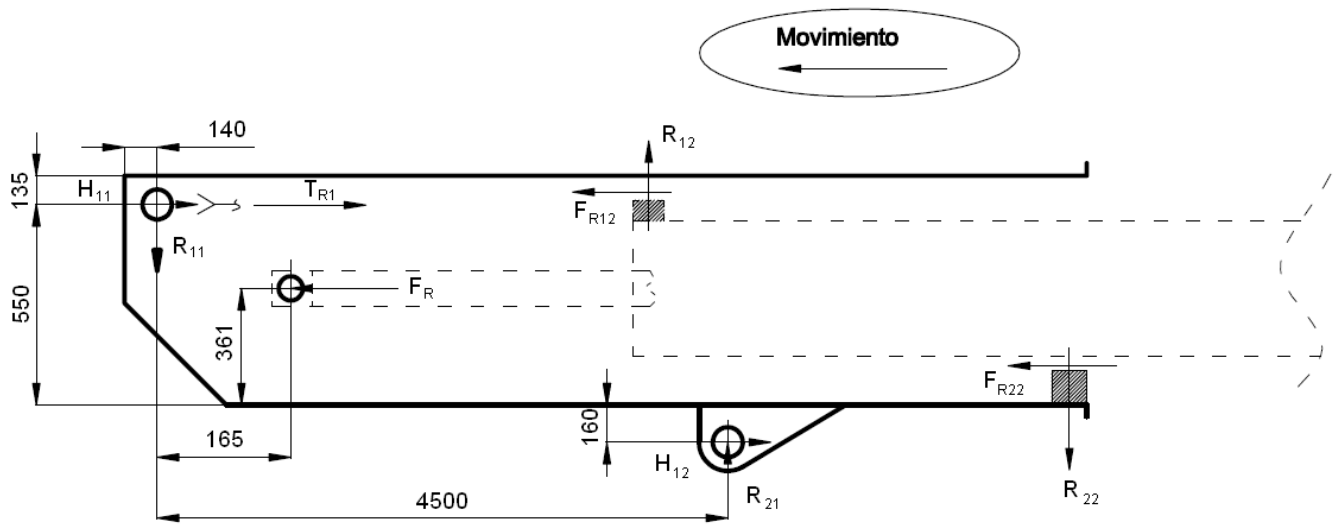
Las variables ya conocidas de este cuerpo libre son:  $R_{13}$ ,  $R_{23}$ ,  $R_{12}$ ,  $R_{22}$ ,  $T_P$ ,  $F_{R13}$  y  $F_{R23}$ . Véase las tablas 7 y 8. Las variables  $F_{R12}$  y  $F_{R22}$  son conocidas indirectamente, puesto que conocemos las reacciones normales y hemos estimado un coeficiente de rozamiento entre el tramo y el patín engrasado de 0.09.

La incógnita a resolver será:  $F_R$ .

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_{R12} + F_{R22} + R_{PR2} - F_{R13} - F_{R23} - T_P - F_R = 0$$

$$F_R = -F_{R12} - F_{R22} - R_{PR2} + F_{R13} + F_{R23} + T_P$$

### Cuerpo libre de la retracción del tramo base (Comprobación)



**Figura 20**

Es cuerpo libre no es necesario realizarlo ya que conocemos todas las variables, su único uso es como medio de comprobación para saber si hemos realizado correctamente los cálculos.

$$\sum F_X = 0 \rightarrow H_{11} + H_{12} - F_{R22} - F_{R12} + T_{R1} - F_R = 0$$

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow R_{12} + R_{21} - R_{11} - R_{22} = 0$$

### **Tabla esfuerzos soportados por los cables de retracción de la pluma**

E [%]	T <sub>R4</sub> [N]	T <sub>P</sub> [N]	R <sub>PR3</sub> [N]	T <sub>R3</sub> [N]	T <sub>R1</sub> [N]	R <sub>PR2</sub> [N]	F <sub>R</sub> [N]
0	24860,64	24860,64	49721,27	50273,39	50273,39	100546,77	76212,51
25	15727,02	15727,02	31454,05	35797,09	35797,09	71594,19	60122,47
50	18093,12	18093,12	36186,24	43991,11	43991,11	87982,23	77497,98
75	21511,15	21511,15	43022,29	54465,13	54465,13	108930,26	98417,51
100	43629,35	43629,35	87258,69	114828,82	114828,82	229657,64	210106,10

**Tabla42**

Leyenda de la tabla 22:

- $E$  → Porcentaje de extensión del tramo.
- $T_{R4}$  → Fuerza soportada por el cable D en el ramal anclado al tramo cabeza.
- $T_P$  → Fuerza soportada por el cable D en el ramal anclado al cilindro de extensión.
- $R_{PR3}$  → Fuerza soportada por la polea situada en la base del tramo tercero.
- $T_{R3}$  → Fuerza soportada por el cable C en el ramal anclado al tramo tercero.
- $T_{R1}$  → Fuerza soportada por el cable C en el ramal anclado al tramo base.
- $R_{PR2}$  → Fuerza soportada por la polea situada en la base del tramo segundo.
- $F_R$  → Fuerza necesaria para recoger la pluma.

#### 1.2.3.2. Dimensionado de los cables.

Una vez conocidas las fuerzas que soportan los cables de telescopado, procederemos a su dimensionado, El cálculo a seguir será mediante el catálogo de cables y la variación del número de sirgas para que soporten menos carga y así necesitar menor diámetro de cable y de polea a la hora del montaje.

Todo ello realizado para obtener un diámetro y un coeficiente de seguridad aceptables.

Para todas las sirgas de telescopado se va a utilizar el tipo de cable 6x19S galvanizado y engrasado. Para este tipo de cables el diámetro mínimo necesario en las poleas es de 24 veces el diámetro de cable.

Tabla catálogo TREFIL-CABLE S.L.




   <b>Cables de 6 cordones alma textil gris/engrasado galvanizado</b>		
6x19S (9+9+1)	6x25F (12+6F+6+1)	6x36WS (14+7/7+7+1)
CALIDAD DEL ACERO 180 Kgs./mm <sup>2</sup>		
Diámetro nominal	Peso aprox.	Carga de rotura efectiva 180
mm	kg./100 m	Kgf.
8	22,5	3.814
9	28,5	4.824
10	35,2	5.956
11	42,6	7.211
12	50,7	8.578
13	59,5	10.067
14	69,0	11.628
16	90,1	15.300
18	114,0	19.278
19	127,0	21.522
20	141,0	23.868
22	170,0	28.866
24	203,0	34.272
26	238,0	40.290
28	276,0	46.716
30	317,0	53.652
32	360,0	60.996
34	407,0	68.850
36	456,0	77.214
38	508,0	85.986
40	563,0	95.370

Tabla 43

**Tabla de diámetros para el cable A**

F [N]	n	F <sub>c</sub> [kgf]	d [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	σ [MPa]	C <sub>s</sub>	D <sub>p</sub> [mm]
868548,62	1	88537,07	40	1256,64	70,46	2,55	960
	2	44268,53	28	615,75	71,89	2,50	672
	3	29512,36	24	452,39	65,24	2,76	576
	4	22134,27	20	314,16	70,46	2,55	480
	5	17707,41	18	254,47	69,59	2,59	432
	6	14756,18	16	201,06	73,39	2,45	384

**Tabla 44**
**Tabla de diámetros para el cable B**

F [N]	n	F <sub>c</sub> [kgf]	d [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	σ [MPa]	C <sub>s</sub>	D <sub>p</sub> [mm]
361098,94	1	36809,27	26	530,93	69,33	2,60	624
	2	18404,63	18	254,47	72,33	2,49	432
	3	12269,76	16	201,06	61,02	2,95	384
	4	9202,32	13	132,73	69,33	2,60	312
	5	7361,85	13	132,73	55,46	3,25	312
	6	6134,88	10	78,54	78,11	2,30	240

**Tabla 45**
**Tabla de diámetros para el cable C**

F [N]	n	F <sub>c</sub> [kgf]	d [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	σ [MPa]	C <sub>s</sub>	D <sub>p</sub> [mm]
50273,39	1	5124,71	10	78,54	65,25	2,76	240
	2	2562,35	8	50,27	50,98	3,53	192
	3	1708,24	8	50,27	33,98	5,30	192

**Tabla 46**
**Tabla de diámetros para el cable D**

F [N]	n	F <sub>c</sub> [kgf]	d [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	σ [MPa]	C <sub>s</sub>	D <sub>p</sub> [mm]
24860,64	1	2534,21	8	50,27	50,42	3,57	192
	2	1267,11	8	50,27	25,21	7,14	192
	3	844,74	8	50,27	16,81	10,71	192

**Tabla 47**

Leyenda tablas 24, 25, 26 y 27:



$F$	→ Fuerza máxima que soporta el cable.
$n$	→ Número de sirgas utilizadas.
$F_c$	→ Fuerza soportada por cada sirga.
$d$	→ Diámetro de cable obtenido por catálogo (véase la tabla 23).
$A$	→ Área de la sección del cable.
$\sigma$	→ Tensión soportada por cada cable.
$C_s$	→ Coeficiente de seguridad.
$D_p$	→ Diámetro mínimo de polea necesario para ese diámetro de cable.

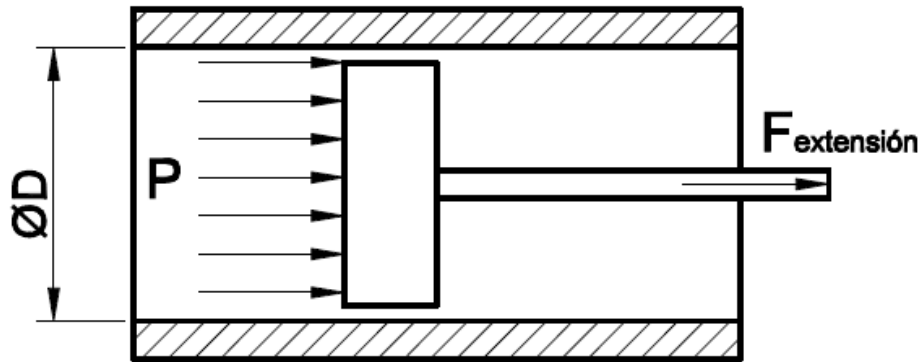
Los cables seleccionados, teniendo en cuenta las poleas de montaje son:

- **Cable A:** Compuesto por **5 sirgas de 18 mm de diámetro** y una **longitud de 17.55 m.**
- **Cable B:** Compuesto por **4 sirgas de 13 mm de diámetro** y una **longitud de 17.66 m.**
- **Cable C:** Compuesto por **1 sirga de 10 mm de diámetro** y una **longitud de 18.25 m.**
- **Cable D:** Compuesto por **1 sirga de 8 mm de diámetro** y una **longitud de 17.87 m.**

#### 1.2.3.3. Dimensionado del cilindro hidráulico de telescopado.

Para el cálculo del cilindro de extensión utilizaremos la fuerza de extensión y retroceso máximas halladas por medio de los diagramas de sólido libre y que se encuentran plasmadas respectivamente en la tabla 21 y en la tabla 22.

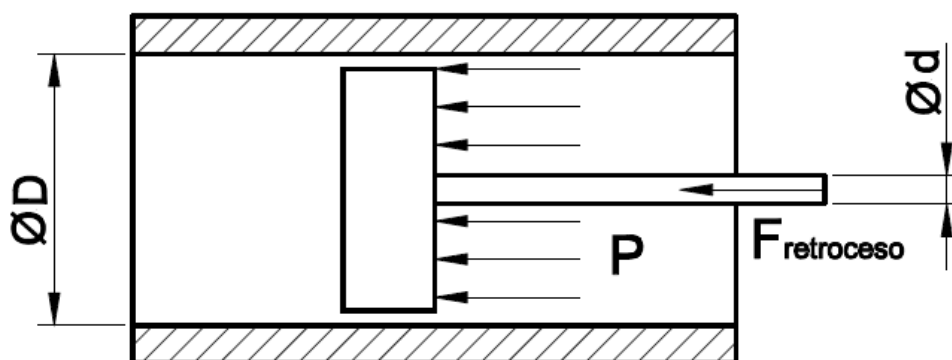
#### Extensión de la pluma



**Figura 21**

$$F_e = \frac{P \times \frac{\pi \times D^2}{4}}{9.81}$$

#### Retracción de la pluma



**Figura 22**

$$F_r = \frac{P \times \frac{\pi \times (D_p^2 - d_v^2)}{4}}{9.81}$$

**Tabla de diámetros del cilindro de extensión de la pluma.**

<b>F<sub>e</sub> [kN]</b>	<b>P [bar]</b>	<b>D<sub>p</sub> [mm]</b>	<b>F<sub>r</sub> [kN]</b>	<b>d<sub>v</sub> [mm]</b>
1356,71	100	411,66	210,11	378,44
	125	368,20		338,49
	150	336,12		308,99
	175	311,18		286,07
	200	291,08		267,60

**Tabla 48**

Leyenda de la tabla 48:

F<sub>e</sub> → Fuerza máxima de extensión del pistón.

P → Presión del aceite.

D<sub>p</sub> → Diámetro del pistón.

F<sub>r</sub> → Fuerza de retroceso del pistón.

d<sub>v</sub> → Diámetro del vástago.

Por temas de diseño precisamos que el cilindro sea lo más reducido posible para que así no surjan problemas de montaje en la pluma, luego elegiremos un cilindro que disponga de las siguientes características:

- **Cilindro de doble efecto.**
- **Presión** de trabajo de aproximadamente **200 bar**.
- **Diámetro del pistón** de aproximadamente **291 mm**.
- **Diámetro del vástago** de aproximadamente **268 mm**.
- **Carrera** de **7500 mm**.

Puesto que es un cilindro muy específico se deberá pedir por encargo.

### Cálculo del cilindro hidráulico frente a pandeo

Para determinar si hemos diseñado bien el cilindro, tenemos que comprobar si cumple para la carga crítica de pandeo.

El cálculo lo llevaremos a cabo mediante la fórmula de Euler:

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E_v \times I_v}{\eta \times L_e^2}$$

Donde:

$F_E$  → Carga de pandeo de Euler.

$E_v$  → Módulo de elasticidad del vástago.

$I_v$  → Momento de inercia de la sección transversal del vástago.

$\eta$  → Factor de seguridad.

$L_e$  → Longitud equivalente o longitud libre de pandeo.

Antes de proceder a ningún cálculo comprobaremos que la Hipótesis de Euler puede ser aplicada para este caso mediante su esbeltez ( $\lambda$ ).

Para el acero común:  $\lambda_{\text{lím}} = 103,9$ . En la zona comprendida entre esbeltez cero y  $\lambda_{\text{lím}}$ , la fórmula de Euler debe ser reemplazada por otra ley que contemple el comportamiento elasto-plástico del material.

$$\lambda_{\text{cil}} = \frac{L_e}{i}$$

Donde:

$\lambda_{\text{cil}}$  → Esbeltez del vástago del cilindro de extensión.

$L_e$  → Logitud efectiva de pandeo. Obtenida a partir de la tabla 49.

$i$  → Radio de giro mínimo de la sección transversal del vástago.

### Tabla solicitaciones según Euler.

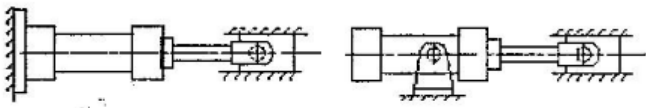
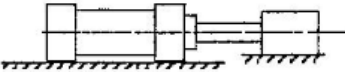
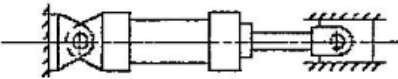
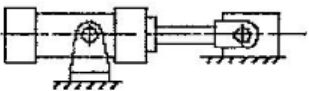
Tipo de fijación cilindro	Esquema de montaje	Factor de pandeo ( $\beta$ )
Articulado y rígidamente guiado		1.5
Apoyado, pero no rígidamente guiado		2.0
Articulado y rígidamente guiado		2.0
Articulado y apoyado, pero no rígidamente guiado		3.0

Tabla 49

En nuestro caso el cilindro corresponde a la opción 1, articulado y rígidamente guiado. Obteniendo así una longitud efectiva de

$$L_e = \text{Carrera del cilindro} \times \beta = 7500 \times 1.5 = 11250 \text{ mm.}$$

Para estas condiciones de montaje, obtenemos una relación de esbeltez:

$$\lambda_{cil} = \frac{11250}{\sqrt{\frac{268^4}{16}}} = 167.9$$

Siendo  $\lambda_{cil} = 167.9 > \lambda_{lim} = 103.9$ ; podemos aplicar la Hipótesis de Euler.

Luego tendremos para este caso una carga crítica de pandeo:

$$F_{Euler} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^5 \times \frac{\pi \times 268^4}{64}}{11250^2} = 4146895.296 \text{ N}$$

Comprobamos que efectivamente la carga crítica de pandeo es mayor que el esfuerzo al que se somete el cilindro.

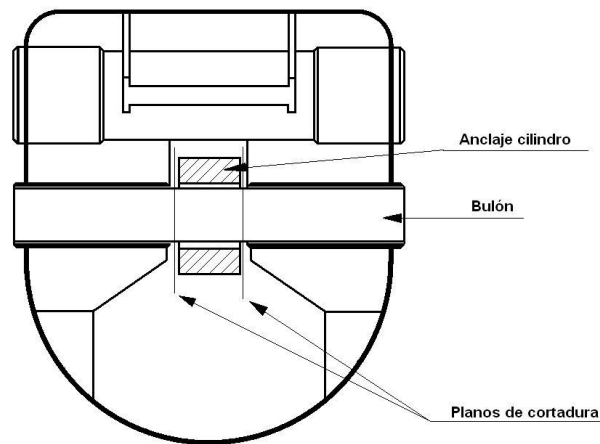
$$F_{Euler} = 4146895 \text{ N} > F_E = 1356714 \text{ N}$$

Luego el cilindro diseñado cumple para pandeo con un coeficiente de seguridad de:

$$C_S = \frac{F_{Euler}}{F_E} = 3.06$$

#### **1.2.3.4. Dimensionado del bulón de anclaje del cilindro hidráulico de telescopado.**

A la hora del estudio del anclaje del cilindro de telescopado vamos a suponer una hipótesis de montaje ilustrada en la siguiente figura:



**Figura23**

Para calcular el bulón de anclaje lo haremos por medio de la Teoría del Cortante Máximo, siendo esta:

$$C_s = \frac{\sigma_F}{2 \times \tau_{\text{máx}}}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{F}{n \times A}$$

Donde:

$\tau_{\text{máx}}$  → Tensión máxima que soporta la pieza, en este caso el bulón.

$\sigma_F$  → Tensión de fluencia del material, para nuestro caso el material utilizado será un acero S355.

$C_s$  → Coeficiente de seguridad.

$F$  → Fuerza normal a la sección que soporta el bulón.

$n$  → Número de planos de cortadura a los que está sometido el bulón.

$A$  → Área del bulón.

Por medio de la iteración de diferentes diámetros obtenemos la siguiente tabla:

**Tabla de diámetros de bulón para el anclaje del cilindro de telescopado.**

$F_{cil}$ [kN]	$\sigma_F$ [MPa]	D [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{m\acute{a}x}$ [MPa]	$C_s$
1356,71	355	80	5026,55	134,95	1,32
		90	6361,73	106,63	1,66
		100	7853,98	86,37	2,06
		110	9503,32	71,38	2,49
		120	11309,73	59,98	2,96
		130	13273,23	51,11	3,47
		140	15393,80	44,07	4,03
		150	17671,46	38,39	4,62
		160	20106,19	33,74	5,26
		170	22698,01	29,89	5,94
		180	25446,90	26,66	6,66
		190	28352,87	23,93	7,42
		200	31415,93	21,59	8,22

**Tabla 50**

Leyenda de la tabla 50:

$F_{cil}$  → Fuerza máxima que ejerce el cilindro de telescopado.

$\sigma_F$  → Tensión de fluencia del bulón.

D → Diámetro del bulón.

A → Área de la sección transversal del bulón.

$\tau_{m\acute{a}x}$  → Tensión cortante máxima.

$C_s$  → Coeficiente de seguridad

Para esta tabla de diámetros escogemos un **bulón de diámetro 100 mm** con un coeficiente de seguridad de 2.06.

#### 1.2.4. Elevación de la pluma

##### 1.2.4.1. Dimensionado del cilindro hidráulico.

Para el diseño del cilindro hidráulico de elevación utilizaremos la resultante máxima de las fuerzas que actúan sobre el anclaje del cilindro en el tramo base (R21 y N1), obtenidas en la Tabla 10.

$$F_e = \sqrt{R_{21}^2 + N_1^2} = 622732.17 \text{ N}$$

Utilizando el mismo método que a la hora de calcular el cilindro de extensión de la pluma obtenemos los siguientes resultados.

**Tabla de diámetros del cilindro de elevación de la pluma.**

$F_e$ [kN]	$p$ [bar]	$D$ [mm]
622,73	100,00	278,89
	125,00	249,45
	150,00	227,72
	175,00	210,82
	200,00	197,21

**Tabla 51**

Leyenda de la tabla 50:

$F_e$  → Fuerza máxima de extensión del pistón.

$p$  → Presión del aceite.

$D$  → Diámetro del pistón.

Elegiremos un cilindro que disponga de las siguientes características:

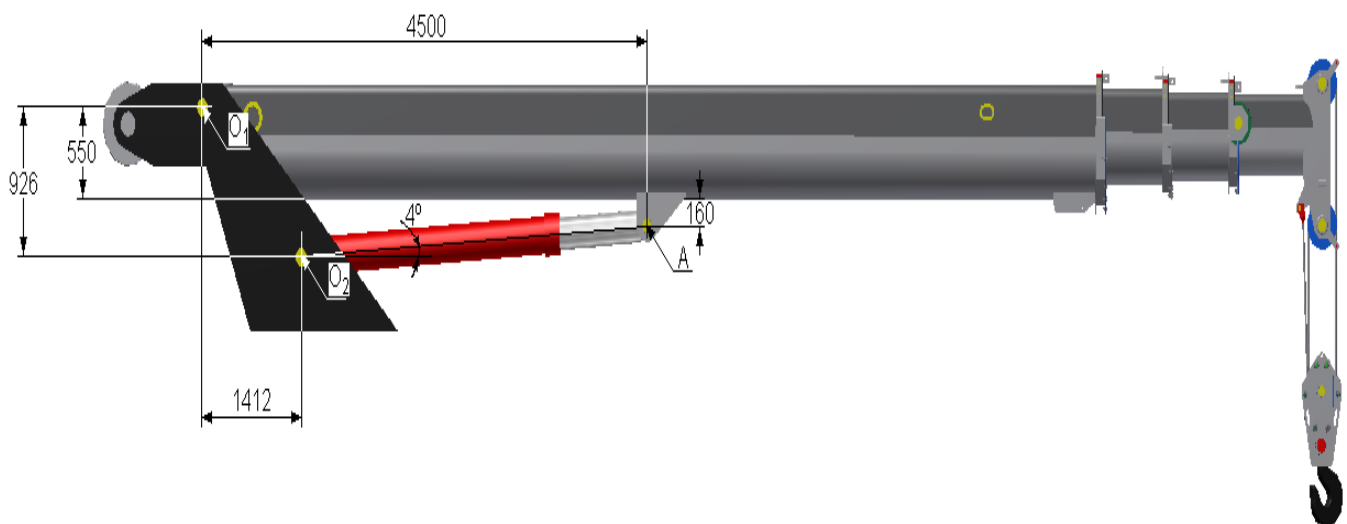
- Presión de trabajo de aproximadamente 200 bar.
- Diámetro del pistón de aproximadamente 198 mm.

### Cálculo del cilindro hidráulico frente a pandeo

Desconocemos el diámetro del vástago el cual obtendremos iterando con diferentes valores y comprobándolos para que cumplan frente a pandeo.

El cálculo lo llevaremos a cabo mediante la Hipótesis de Euler, pero primero hemos de determinar si este cilindro cumple para poder utilizar dicha hipótesis.

Para ello necesitamos conocer la carrera del cilindro, la cual la obtendremos mediante métodos gráficos. Como no sabemos el montaje que llevará la pluma sobre la giratoria partiremos de una hipótesis de montaje la cual ilustraremos en la siguiente figura.



**Figura 24**

A partir de esta hipótesis de montaje, continuaremos con el cálculo de la carrera del cilindro.



## ANÁLISIS POR MÉTODOS GRÁFICOS

Escala dibujo 1:30

Datos:

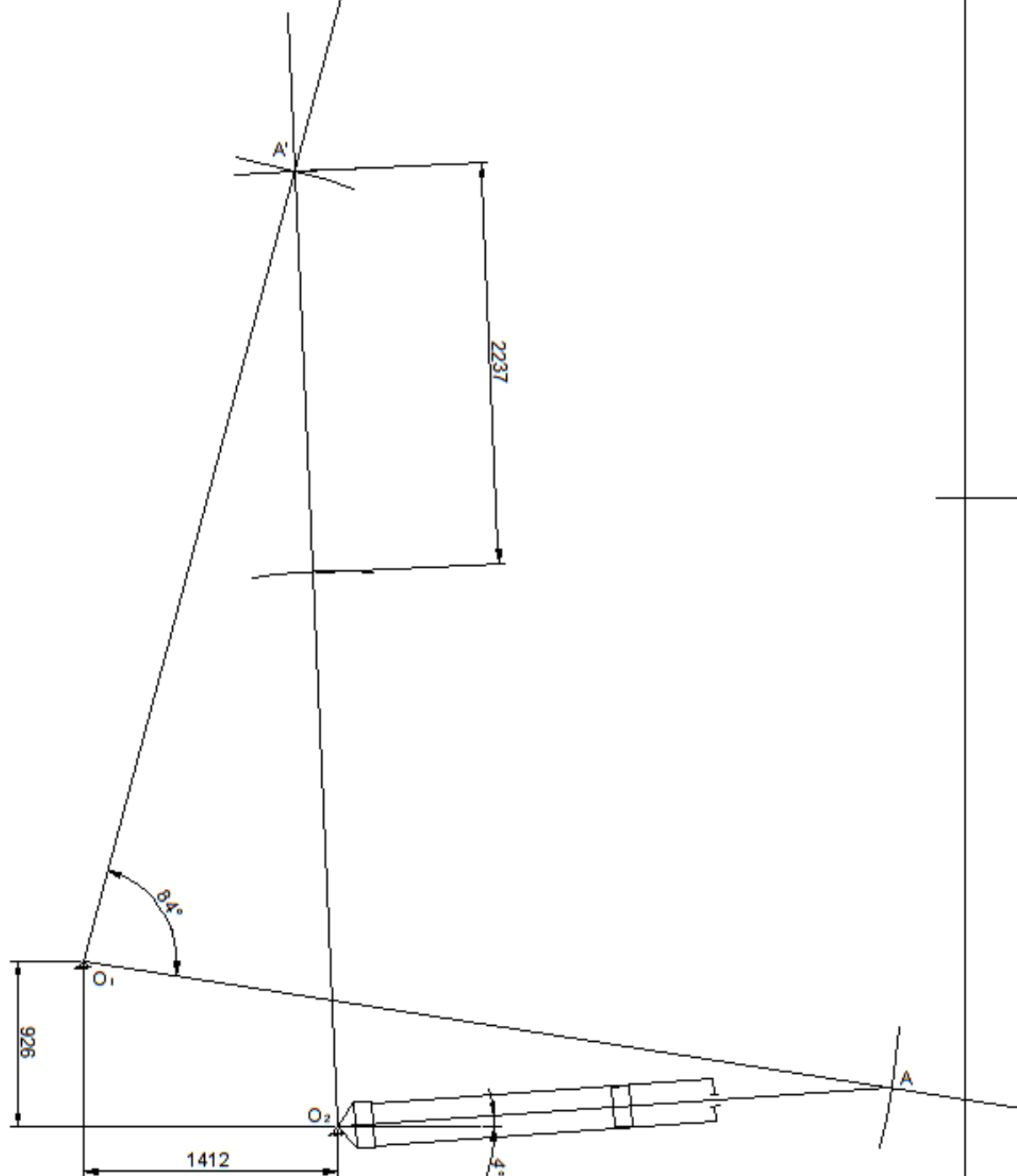
Posiciones  $O_1$  y  $O_2$

Distancia  $O_1-A = 4556$  mm

Carrera angular pluma =  $84^\circ$

Resultado:

Carrera mínima del cilindro = 2237 mm



Elegiremos una carrera de cilindro un poco superior a la obtenida, en nuestro caso decidimos una carrera del cilindro de 2500 mm. Una vez especificada la carrera del cilindro calcularemos su longitud efectiva. En este caso el cilindro corresponde a la opción 3 (véase la Tabla 49), articulado y rígidamente guiado. Obteniendo así una longitud efectiva de:

$$L_e = \text{Carrera del cilindro} \times \beta = 2500 \times 2 = 5000 \text{ mm.}$$

Para estas condiciones de montaje, obtenemos la siguiente tabla de diámetros:

**Tabla de diámetros de vástago del cilindro de elevación.**

d [mm]	$\lambda_{\text{cil}}$	$F_E$ [kN]	$C_s$
100	200,00	406,96	0,65
110	181,82	595,83	0,96
120	166,67	843,87	1,36
130	153,85	1162,31	1,87
140	142,86	1563,37	2,51
150	133,33	2060,22	3,31
160	125,00	2667,04	4,28
170	117,65	3398,95	5,46
180	111,11	4272,08	6,86
190	105,26	5303,51	8,52

**Tabla 52**

Leyenda de la tabla 51:

D → Diámetro del vástago.

$\lambda_{\text{cil}}$  → Esbeltez del vástago.

$F_E$  → Carga crítica de Euler.

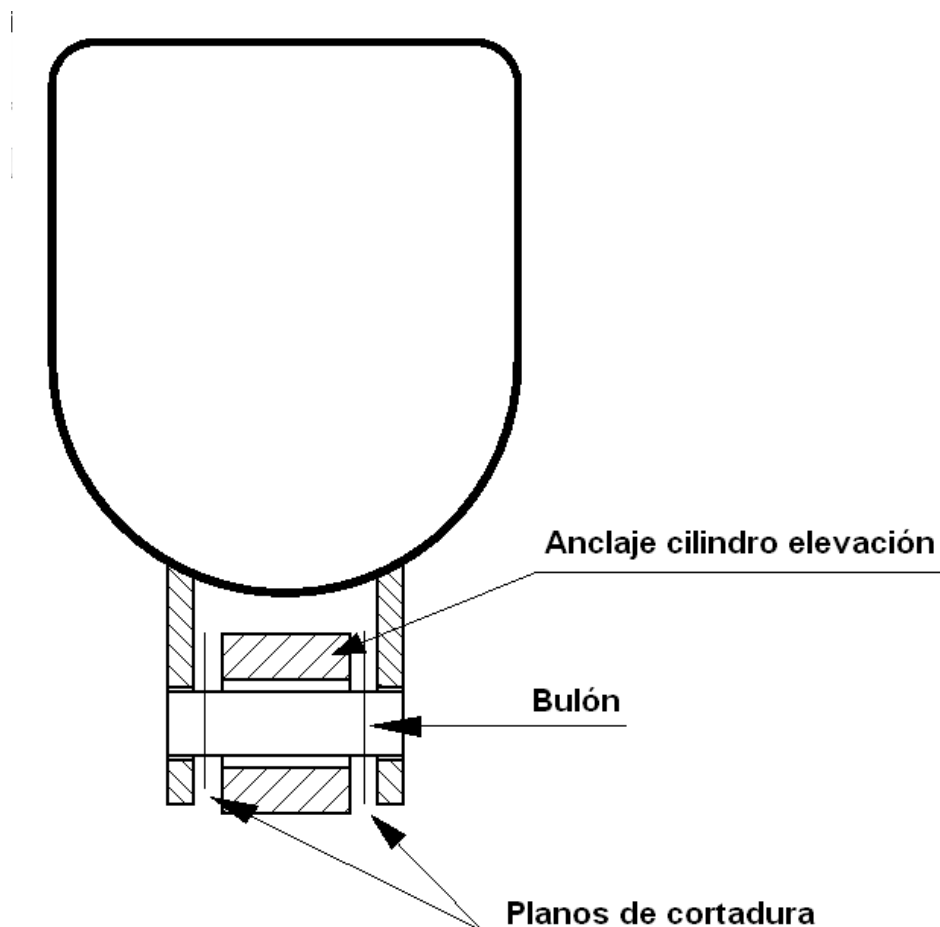
$C_s$  → Coeficiente de seguridad.

Una vez determinados los resultados frente a pandeo y observado que cumplen la hipótesis de Euler, elegiremos un cilindro que disponga de las siguientes características:

- **Cilindro hidráulico de simple efecto.**
- **Presión de trabajo** de aproximadamente **200 bar.**
- **Diámetro del pistón 198 mm.**
- **Diámetro del vástago 150 mm.**

#### 1.2.4.2. Dimensionado del bulón de anclaje del cilindro hidráulico de elevación.

A la hora del estudio del anclaje del cilindro de telescopado vamos a suponer una hipótesis de montaje ilustrada en la siguiente figura:



**Figura25**

Para calcular el bulón de anclaje aplicaremos la Teoría del Cortante Máximo, tal y como hemos hecho antes con el bulón del cilindro de telescopado.

Por medio de la iteración de diferentes diámetros obtenemos la siguiente tabla:

**Tabla de diámetros de bulón para el anclaje del cilindro de telescopado.**

$F_e$ [kN]	$\sigma_F$ [MPa]	D [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{\max}$ [MPa]	$C_s$
622,73	355	80	5026,55	61,94	2,87
		90	6361,73	48,94	3,63
		100	7853,98	39,64	4,48
		110	9503,32	32,76	5,42
		120	11309,73	27,53	6,45
		130	13273,23	23,46	7,57
		140	15393,80	20,23	8,78
		150	17671,46	17,62	10,07
		160	20106,19	15,49	11,46
		170	22698,01	13,72	12,94
		180	25446,90	12,24	14,51
		190	28352,87	10,98	16,16
		200	31415,93	9,91	17,91

**Tabla 53**

Leyenda de la tabla 53:

$F_e$  → Fuerza máxima que ejerce el cilindro de elevación.

$\sigma_F$  → Tensión de fluencia del bulón.

D → Diámetro del bulón.

A → Área de la sección transversal del bulón.

$\tau_{\max}$  → Tensión cortante máxima.

$C_s$  → Coeficiente de seguridad

Para esta tabla de diámetros escogemos un **bulón de diámetro 80 mm** con un coeficiente de seguridad de 2.87.

### 1.2.4.3. Dimensionado del espesor mínimo para las orejetas del anclaje del cilindro hidráulico de elevación.

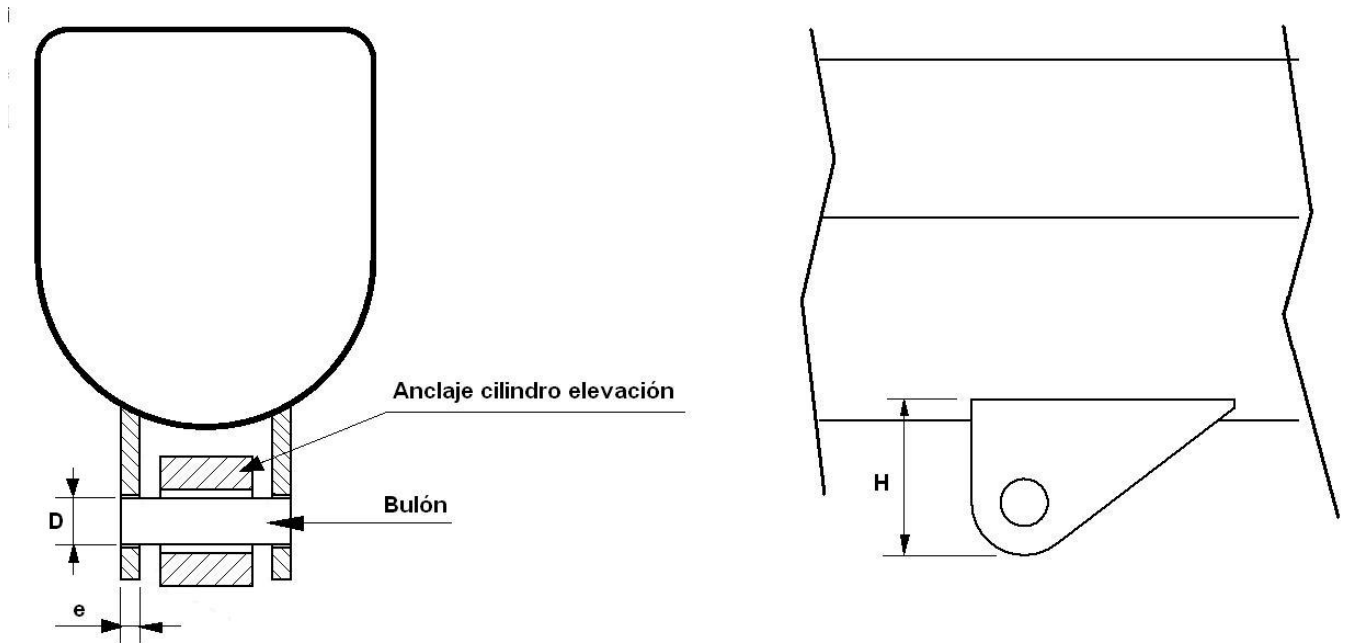


Figura 26

El cálculo lo llevaremos a cabo mediante el supuesto aplastamiento del bulón con las orejetas.

$$\tau_{\text{máx}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_X - \sigma_Y}{2}\right)^2 + \tau_{XY}} = \frac{\sigma_X}{2} = \frac{F}{D \times e}$$

$$C_S = \frac{\sigma_F}{2 \times \tau_{\text{máx}}}$$

Siendo:

$\tau_{\text{máx}}$  → Tensión cortante máxima.

D → Diámetro del bulón.

e → Espesor de las orejetas.



$C_s$  → Coeficiente de seguridad, que para este caso será de 3.

$\sigma_F$  → Tensión de fluencia, es este caso del bulón por ser menor que el de las orejetas.

Obtendremos un espesor mínimo de:

$$e = \frac{\frac{F \times 2 \times C_s}{D \times \sigma_F}}{2} = \frac{\frac{311365 \times 2 \times 3}{80 \times 355}}{2} = 32.89 \text{ mm}$$

Luego necesitaremos un **espesor mínimo de las orejetas de 33 mm**



**ESCUELA UNIVERSITARIA DE  
INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE ZARAGOZA**



# **ANEXOS**



ESCUELA UNIVERSITARIA DE  
INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE ZARAGOZA



# **INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD**

## **A1. INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD**

### **A1.1. Prohibición de modificaciones/ transformaciones de la pluma y sus dispositivos.**

Cualquier modificación o transformación de la pluma queda terminantemente prohibida sin autorización previa. Esto es válido especialmente para el uso de piezas de repuesto.

Las piezas y accesorios originales han sido concebidos y diseñados exclusivamente para esta pluma, la utilización de piezas no suministradas por nosotros puede, según las circunstancias, cambiar negativamente las cualidades constructivas de las mismas y menear, por tanto, la potencia, el rendimiento y la seguridad.

No nos hacemos responsables de los daños producidos por el empleo y uso de accesorios y piezas no originales de nuestra empresa.

### **A1.2. Valores de atención en la realización de los trabajos.**

En el presente anexo, son utilizados los siguientes conceptos o valores para llamar su atención de las diferentes circunstancias de trabajo (aparecen antes del paso de trabajo que se quiere realizar).



#### **INDICACIÓN**

Válido para peculiaridades técnicas que el operador debe tener en cuenta.



### **ATENCIÓN**

Válido para procesos de trabajo o de funcionamiento que deben ser cumplidos para evitar accidentes o daños a la propia pluma.



### **CUIDADO**

Válido para procesos de trabajo o funcionamiento que deben ser cumplidos para evitar amenazas o lesiones de personas y que comprende también el apartado de ATENCIÓN.



### **PELIGRO**

Válido para procesos de trabajo o de funcionamiento que deben ser cumplidos para evitar el peligro de vida de las personas y que comprende también el apartado de CUIDADO.

#### **A1.3. Riesgos generales**

A continuación se indican aquellos riesgos que también son comunes a la mayor parte de equipos e instalaciones o que se derivan de cualquier otro proceso productivo.

**Atrapamientos;** entre mecanismos u órganos en movimiento en el desplazamiento de tramos, sirgas, etc.

**Caídas al mismo nivel;** durante los desplazamientos requeridos para realizar el montaje de los elementos de la pluma debidos a la mala distribución del material necesario para el procedimiento.

**Caída de objetos;** Producido por desplome de los elementos necesarios para el procedimiento, debido a una mala colocación de la pluma sobre los caballetes o una mala sujeción de los componentes de montaje.

**Sobreesfuerzos;** Originados por la utilización del esfuerzo muscular en la preparación de los elementos necesarios.

**Ruido;** Puede estar dado por el nivel sonoro en el lugar de trabajo.

#### **A1.4. Prescripción de Prevención de Riesgos Laborales.**

Estas deben existir en cada empresa para el conocimiento general.

Son obligatorias para cada trabajador de la empresa y es preciso que estén siempre actualizadas.

#### **A1.5. Equipos de Protección Individual.**

Para la prevención de accidentes, además de los dispositivos de seguridad y medidas preventivas, el empresario debe proporcionar a sus trabajadores equipos de protección individual adecuados para el desempeño de sus funciones y velar por el uso efectivo de los mismos cuando, por la naturaleza de los trabajos realizados, sean necesarios.



## **CUIDADO**

Los equipos de protección individual serán personales y estarán en perfecto estado de conservación, notificando el trabajador al responsable de su unidad el estado de deterioro del mismo para su reposición.

### **A1.6. Herramientas y accesorios.**

Tanto las herramientas de trabajo, como los accesorios, deberán usarse, inspeccionarse y mantenerse de acuerdo con las instrucciones y recomendaciones del fabricante y deberán usarse únicamente para los propósitos para los cuales han sido diseñados.

Antes de su uso, las herramientas y accesorios, serán inspeccionados, probados y determinados de estar en condiciones seguras de operación, se realizarán inspecciones periódicas continuas para asegurar que las herramientas estén en condiciones seguras de operar y que hayan recibido cierto mantenimiento.

Las herramientas y accesorios, deberán estar en buenas condiciones y tener instalados todos los dispositivos de seguridad requeridos, debidamente ajustados; las herramientas y accesorios defectuosos que puedan afectar su fuerza o volverlas inseguras deberán ponerse fuera de servicio.

No está permitido lanzar herramientas o materiales de un lugar a otro, de una persona a otra, o dejar caer las herramientas a niveles inferiores.

No deben ser utilizadas herramientas o accesorios defectuosos o desgastados.



ESCUELA UNIVERSITARIA DE  
INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE ZARAGOZA



# **DESCRIPCIÓN TÉCNICA**

## A2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

La pluma telescópica está formada por un elemento base y tres telescópicos.

Su extensión y retroceso se realiza hidráulicamente mediante 1 cilindro y doble sistema de sirgas.

Esta construida en acero de muy alto límite elástico.

### A2.1. Identificación de los elementos principales.

#### A2.1.1. Tramos y cilindro de extensión.

A continuación se describen los elementos principales de la pluma al objeto de poderlos identificar más fácilmente a lo largo del desarrollo de las operaciones de montaje y desmontaje de la misma.

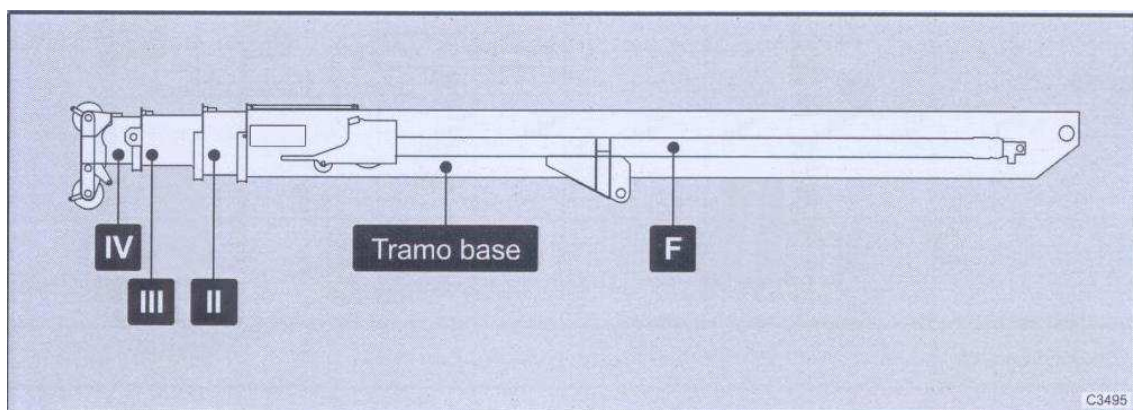


Figura C3495

En el caso de los tramos de la pluma, denominaremos tramo base al tramo en el que se alojan todos los tramos telescópicos y tramos II, III y IV sucesivamente a los tramos telescópicos, siendo el último el tramo IV o tramo cabeza.

A si mismo se indica el cilindro telescópico. El cilindro F es el cilindro de extensión de los tramos II, III y IV.

### A2.1.2. Cables

A continuación se relacionan los distintos cables necesarios para el montaje de la pluma al objeto de identificarlos físicamente para lo que se añade un apartado de identificación consistente en una letra mayúscula a las que nos referiremos durante los procesos. Se indican también las funciones propias de los cables, los modelos de máquinas y su longitud equivalente.

Cable	Función	Longitud [mm]
A	Primera extensión	17550
B	Segunda extensión	17660
C	Primer retroceso	18250
D	Segundo retroceso	17870

### A2.2. Esquema de montaje

A continuación se ofrece un esquema general de montaje, utilizándose números romanos para la identificación de los tramos telescópicos y letras para los cables de extensión y retroceso.

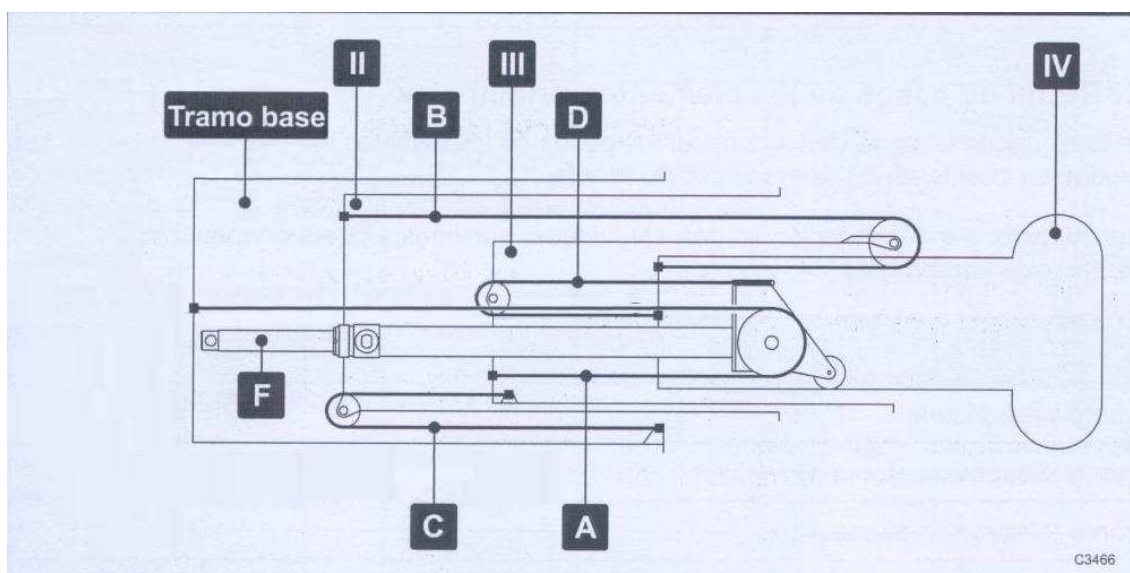


Figura C3466

## Identificación

Elemento	Descripción
Tramo base	Tramo base de la pluma
II	Pluma segundo tramo telescópico
III	Pluma tercer tramo telescópico
IV	Pluma cuarto tramo telescópico o tramo cabeza
A	Primera extensión
B	Segunda extensión
C	Primer retroceso
D	Segundo retroceso
F	Cilindro de extensión de los tramos II, III y IV

### A2.3. Tabla de pesos de los elementos principales

En la siguiente tabla se dan a conocer los pesos de los distintos elementos que deben ser tenidos en cuenta en las operaciones de montaje y desmontaje de la pluma. Los pesos que a continuación se dan son valores máximos aproximados.

Elemento	Peso [kg]
Tramo base de la pluma	1500
Pluma segundo tramo telescópico	1000
Pluma tercer tramo telescópico	845
Pluma cuarto tramo telescópico o tramo cabeza	900
Cilindro de extensión F	945
Enrollador eléctrico grande N	35
Enrollador eléctrico pequeño M	15
Cable primera extensión A	114
Cable segunda extensión B	46
Cable primer retroceso C	18
Cable segundo retroceso D	16
Carro del cilindro de extensión F	102
Total pluma montada	5536

### A2.4. Elementos y herramientas necesarias para la realización del proceso.

A continuación se detallan los elementos y herramientas necesarios para la correcta realización del montaje y desmontaje de la pluma.



- Dos caballetes con capacidad suficiente para soportar el peso de la pluma, provistos en su parte superior con material antideslizante.
- Aparejos de carga (cadenas, cinchas, etc.)
- Puente grúa de nueve toneladas.
- Rollo de cuerda.
- Accionamiento hidráulico autónomo para la extensión de los cilindros.
- Maza.
- Grasas (especificadas en el capítulo de lubricantes)
- Juego de llaves hexagonales.
- Juego de llaves de estrella.
- Juego de llaves planas
- Llave plana a 45° de 42mm entre caras.
- Juegos de destornilladores.
- Alicates para grupillas.
- Cable eléctrico.
- Tijeras para cable eléctrico.
- Brocha de engrase.
- Bomba de engrase.
- 5+5 Tapones para conexiones hidráulicas, machos y hembras rosca UNF, terminación JIC 37°(desmontaje de la pluma)
- Extractor.

## **A2.5. Lubricantes**

A continuación aparecen dos tablas con los lubricantes recomendados para los diferentes sistemas de la pluma.

El orden por el que se citan los referidos lubricantes no significa indicación alguna respecto a su calidad.

Los lubricantes con fondo negro corresponden a los lubricantes con los que sale provista la pluma de fábrica.

Todos los lubricantes relacionados en las tablas siguientes están aprobados para su utilización y comprobada su compatibilidad con los materiales de construcción.

Se incluyen las designaciones comerciales correspondientes a una serie de marcas conocidas con el fin de facilitar al usuario la elección del lubricante más conveniente.

### **A2.5.1. Engrase general (con pistola)**

Las grasas recomendadas para el engrase general con pistola deben cumplir con la especificación INTA 155211D.

KRAFFT KL 15400	TOTAL Multis 2
SHELL Cardium Fluid C	SOPOGRASA Sopral 10924D

### **A2.5.2. Engrase pluma (patines)**

Las grasas recomendadas para el engrase general de los patines de la pluma, deben cumplir con la especificación DIN 51502 KPF2G-30.

KRAFFT Molycote Longterm W2	EUROLUBE Z5 RV 3B
VERKOL LUBRICANTES Atlanta	



ESCUELA UNIVERSITARIA DE  
INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE ZARAGOZA



# **MONJAJE DE LA PLUMA**

### A3. MONTEJE DE LA PLUMA

#### A3.1. Procedimiento de montaje.

El procedimiento de montaje puede ser iniciado únicamente cuando el personal que va a tomar parte en el mismo, haya leído y entendido correctamente el capítulo de *instrucciones de seguridad*.

Proveerse de al menos dos caballetes con capacidad suficiente para soportar el peso de la pluma totalmente montada y equipada, provistos en su zona de apoyo de los elementos de material anti deslizante.



#### PELIGRO

Los tramos por su parte inferior son de forma redondeada, por lo que debemos antes de colocar los tramos sobre los caballetes, proveernos de un sistema de sujeción a los mismos que impida el movimiento accidental.

#### A3.2. Montaje de los tramos III con IV.

Colocar el tramo pluma III sobre caballetes como se indica en la figura.

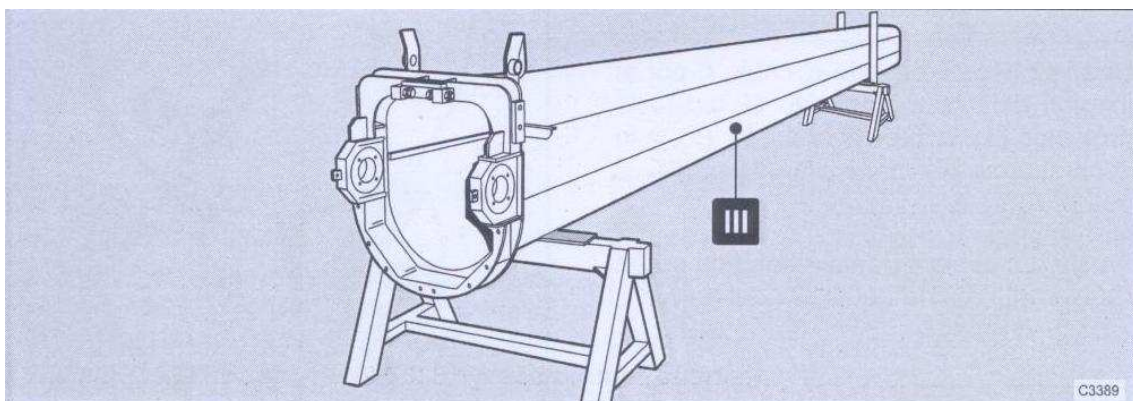


Figura C3389

### A3.2.1. Colocar el cable de retroceso C en el tramo III

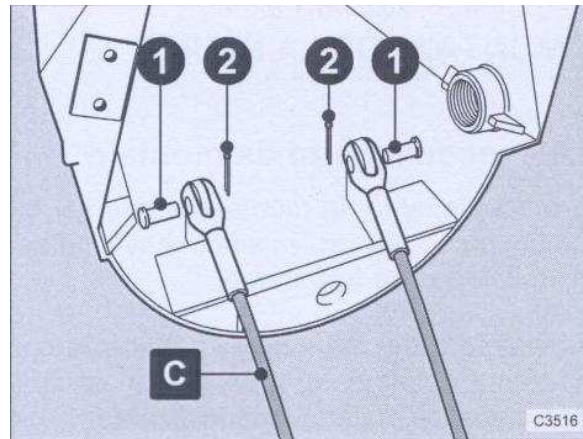


Figura C3516

- Colocar el cable de retroceso del tramo III, C, en los anclajes de la parte trasera del tramo y fijarlos mediante los bulones (1) y sus pasadores elásticos de seguridad (2). El cable C se deja extendido sobre el suelo en la parte trasera del tramo.

### A3.2.2. Colocar el cable de extensión A en el tramo III

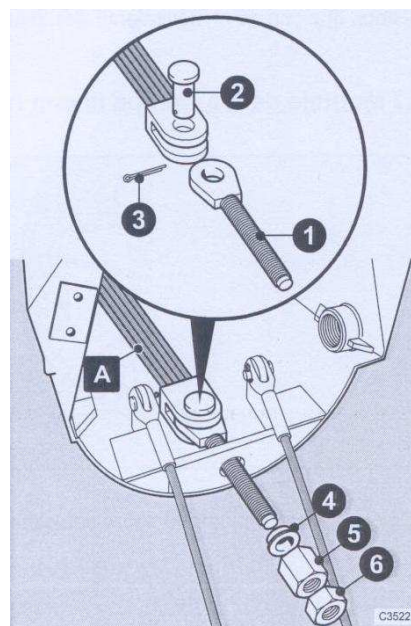


Figura C3522

- Equipar el cable de extensión A del tramo III, con el enganche (1) fijándolo al terminal del cable mediante el bulón (2) y su pasador de seguridad (3).
- Con la ayuda de una cuerda, pasar el cable A por el interior del tramo III desde la boca de entrada.
- Una vez hemos pasado el cable A por el interior del tramo, colocar el casquillo protector (4) la tuerca abarcón (5) y la contratuerca (6) para fijar el cable al tramo.

El resto del cable se deja extendido sobre el suelo por la parte delantera del tramo.

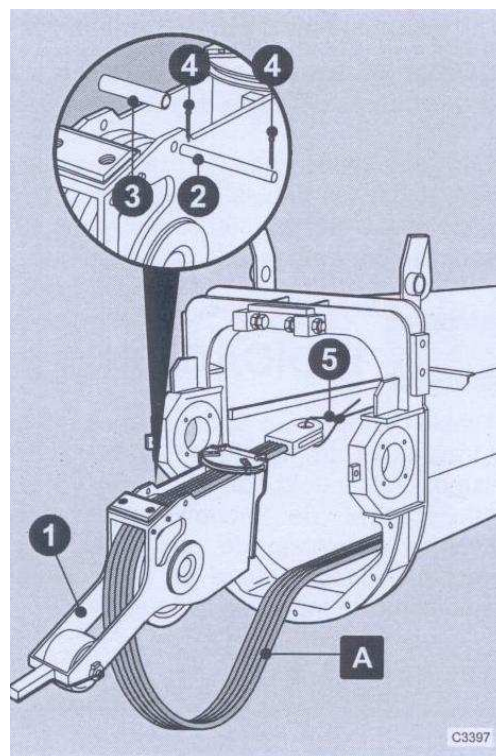


Figura C3397

- En el carro de extensión (1), desmontar en la parte superior, el eje (2) y el rodillo (3) desmontando previamente los pasadores elásticos (4).

- Posicionar el carro de extensión (1) en la boca del tramo III.
- Atar una cuerda (5) de longitud suficiente para pasarla longitudinalmente por el tramo en el terminal del cable A.
- Pasar el cable A por la polea del carro como se indica en la figura, poniendo especial cuidado en no retorcer los cables.
- Montar de nuevo el rodillo (3), el eje (2) y fijarlo mediante los pasadores de seguridad (4).
- Tirar de la cuerda desde la parte posterior del tramo hasta que el carro llegue.

#### **A3.2.3. Colocar los patines regulables en el tramo III**

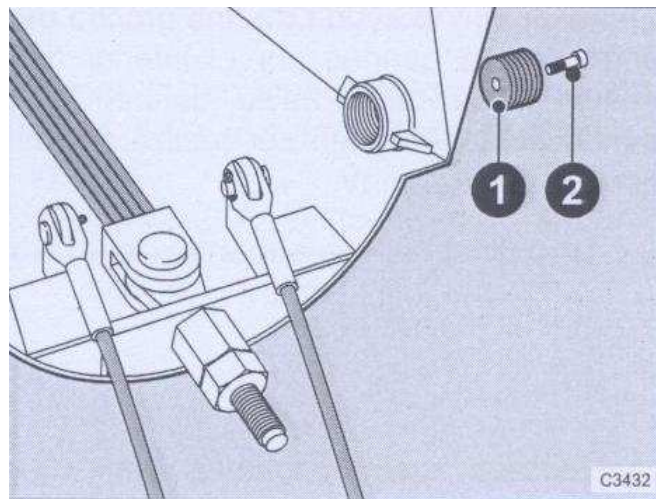


Figura C3432

- Montar en los patines roscados regulables (1) los tornillos (2) cuya misión es la de frenar el patín roscado forzando la rosca del mismo.
- Colocar a ambos lados de la parte trasera del tramo III los patines (1) con la ayuda de una llave allen.

### A3.2.4. Pasar los cables de retroceso D y de extensión B por el tramo III

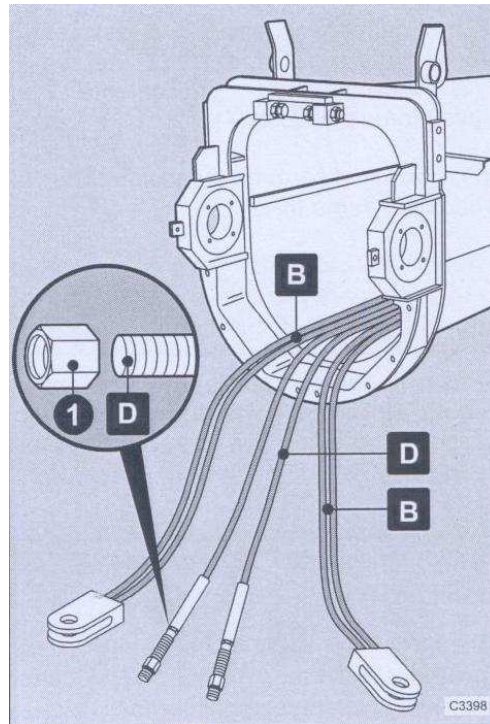


Figura C3398

- Colocar las tuercas abarcón (1) en los dos extremos del cable de retroceso D.
- Con la ayuda de unas cuerdas, pasar las parejas de los cables de extensión B y retroceso D por el interior del tramo III, sacando ambos lados de los extremos.



#### INDICACIÓN

El cable de retroceso D, debe ser pasado a través del tramo desde la boca del mismo, sujetándolo con la cuerda por su parte central de modo que cuando hayamos terminado de pasarlo, ambos terminales queden fuera de la boca del tramo como se indica en la figura.

### A3.2.5. Engrasar el interior del tramo III

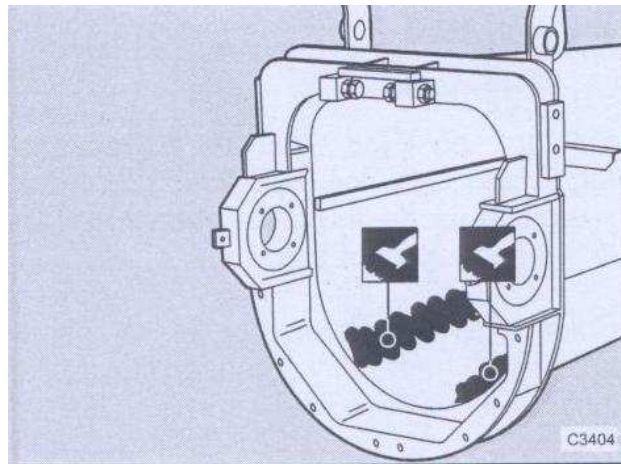


Figura C3404

- Engrasar con la ayuda de una brocha de engrase dos bandas por el interior del tramo III de atrás hacia delante por donde posteriormente se deslizarán los apoyos del tramo IV.

### A3.2.6. Colocar los cables de retroceso D y de extensión B en el tramo IV

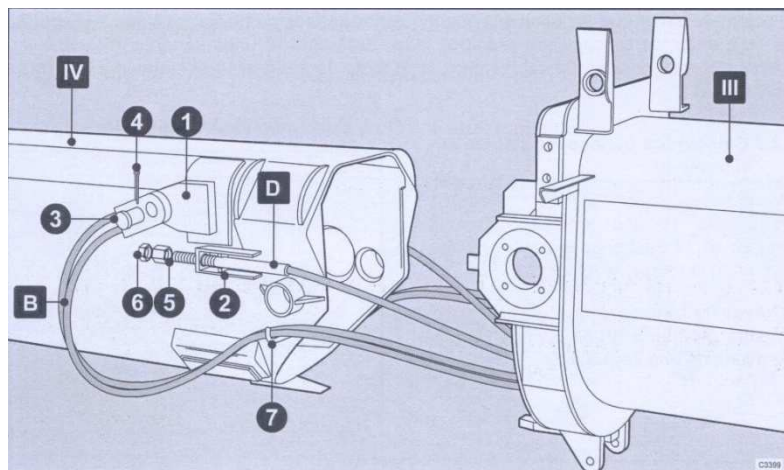


Figura C3399

- Posicionar el tramo IV delante del tramo III aproximadamente a una distancia entre ambos de 1,5 m.

- Fijar los terminales de los cables D a los enganches (2) en ambos lados del tramo IV mediante las tuercas abarcón (5) y las tuercas (6).
- Fijar los terminales de los cables B a los enganches (1) en ambos lados del tramo IV mediante los bulones (3) y sus pasadores de seguridad (4), asegurándonos de que los dos cables no se cruzan y se encuentran paralelos entre sí.
- Tirar de los cables D y B por la parte posterior del tramo para que queden tensados.



#### INDICACIÓN

Los cables B, deben colocarse como se indica en la figura anterior, es decir, describiendo una curva suficiente que nos permita en el momento de ensamblar ambos tramos, poder colocar la roldana guía de dichos cables.



#### ATENCIÓN

Al objeto de evitar que los cables B puedan ser atrapados o aplastados en el ensamblaje de los tramos, se ha colocado a ambos lados del tramo IV unos soportes (7) sobre los que se deberán colocar los cables para el perfecto deslizamiento de estos sobre el interior del tramo III.

### A3.2.7. Colocar los patines regulables en el tramo IV

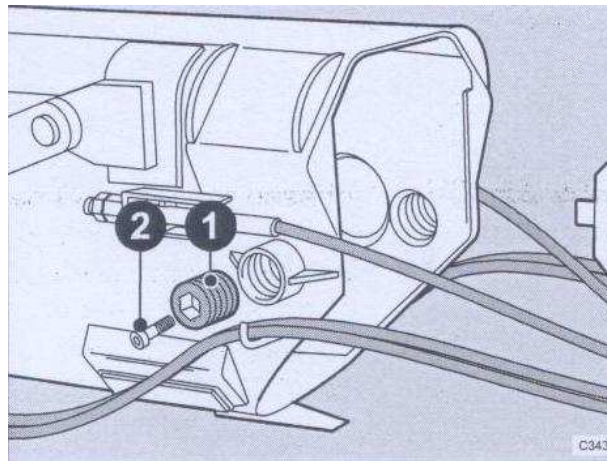


Figura C3433

- Montar en los patines roscados regulables (1) los tornillos (2) cuya misión es la frenar el patín roscado forzando la rosca del mismo.
- Colocar a ambos lados de la parte trasera del tramo IV los patines (1) con la ayuda de una llave allen.

### A3.2.8. Ensamblaje de los tramos IV y III

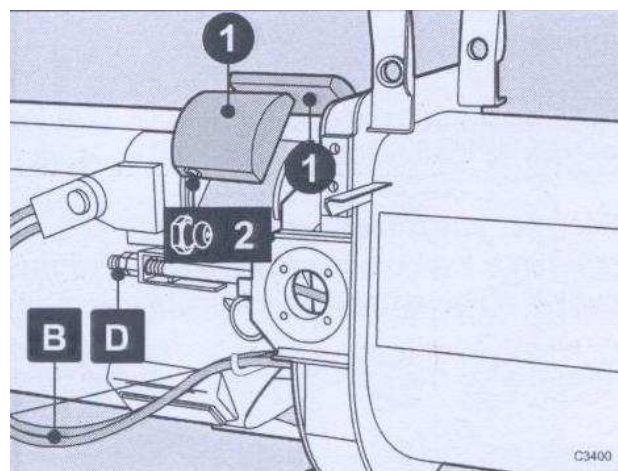


Figura C3400

- Introducir aproximadamente 1m el tramo IV en el interior del tramo III, colocando los patines superiores (1) en sus alojamientos prestando

especial cuidado en que los engrasadores (2) queden a la parte delantera.



### INDICACIÓN

Estos patines de deslizamiento, únicamente se sujetan por los registros del tramo IV, por lo que deberemos sujetarlos manualmente al iniciar la maniobra hasta que queden alojados en el interior del tramo III.

### CUIDADO



Peligro de atrapamiento.

- Volver a tirar de los cables B y D por la parte posterior del tramo III para tensarlos.

#### A3.2.8.1. Colocar las poleas guía cable en la boca del tramo III.

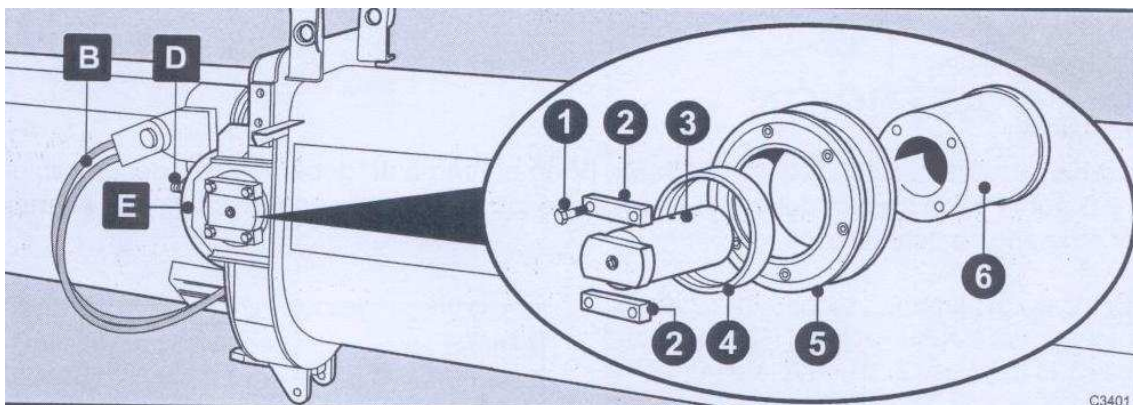


Figura C3401

- Colocar en ambos lados y por el interior del tramo III las poleas E con los separadores (4) y sujetarlas con los casquillos (6) y los bulones (3).

- Colocar los frenos (2) y fijarlos con los tornillos (1) en la parte superior e inferior de la cabeza del bulón.

#### A3.2.8.2. Engrasar el exterior del tramo IV

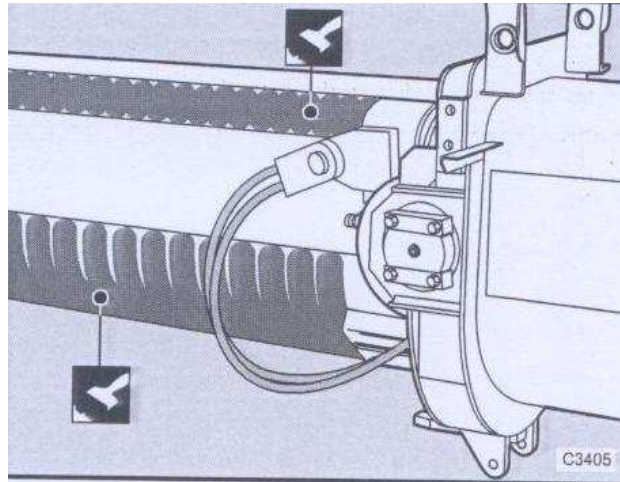


Figura C3405

- Engrasar con la ayuda de una brocha de engrase las dos bandas superiores y la panza del tramo IV.



#### INDICACIÓN

A lo largo del tramo se han dejado sin pintar las bandas por donde posteriormente se ha de engrasar, así pues, son estas bandas las que delimitan la zona de engrasado.

### A3.2.8.3. Alojamiento de los cables en las poleas guía

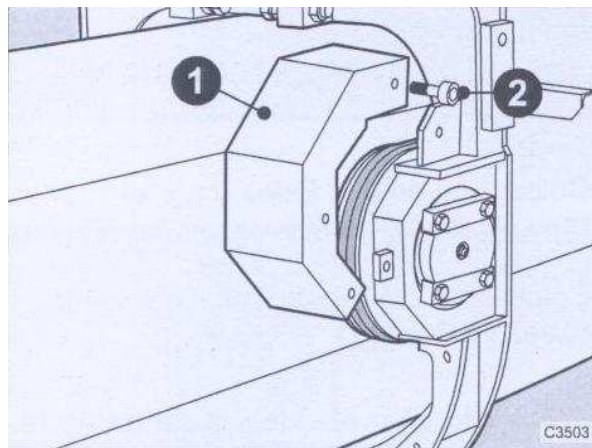


Figura C3503

- Introducir el tramo IV en el interior del tramo III hasta que falte aproximadamente 1,3m del total de su longitud.



#### ATENCIÓN

Realizar la maniobra lentamente. Durante la maniobra, los cables B deben alojarse en las poleas E. Poner especial cuidado en que se produzca un buen asentamiento y los cables en las poleas no queden retorcidos.



#### ATENCIÓN

Durante la maniobra de introducir el tramo IV en el tramo III, debemos tirar de los cables B y D por la parte trasera del tramo III para que los cables queden tensados y no puedan ser atrapados o deteriorados.

- Colocar a ambos lados los cierres protectores de las poleas (1) fijándolos con sus tornillos (2).
- Introducir totalmente el tramo IV.

### A3.2.9. Colocar los patines en la boca del tramo III.

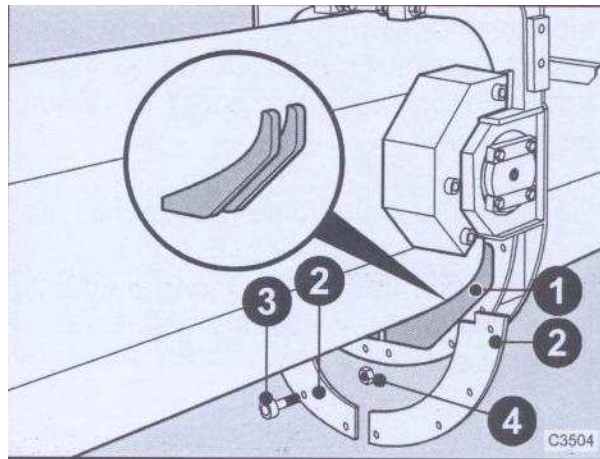


Figura C3504

- Colocar en ambos lados los patines inferiores delanteros (1) compuestos por dos juegos de placas de dos unidades cada uno en el tramo III.
- Colocar los cierres de los patines (2) del tramo III y sujetarlos mediante los tornillos (3) y tuercas (4).

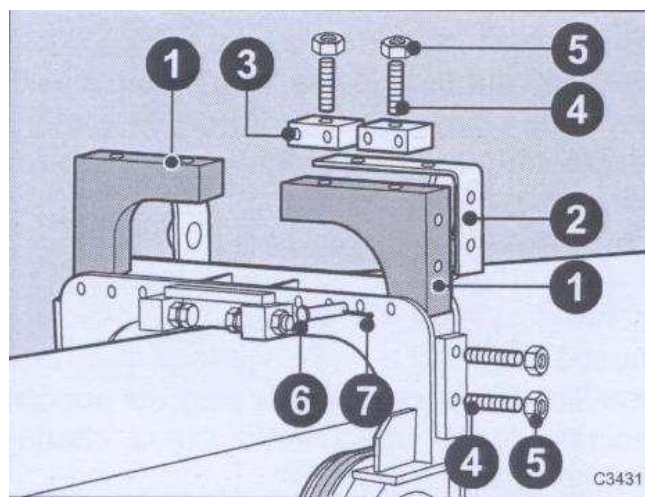


Figura C3431

- Colocar en ambos lados los patines superiores delanteros (1) en el tramo III con sus protectores metálicos (2).

- Colocar los cierres de los patines (3) del tramo III y fijar los espárragos regulables (3) con sus tuercas (4).
- Colocar los bulones de fijación (6), dos en cada cierre, con sus pasadores de seguridad (7).

### A3.3. Montaje del cilindro de extensión en la pluma

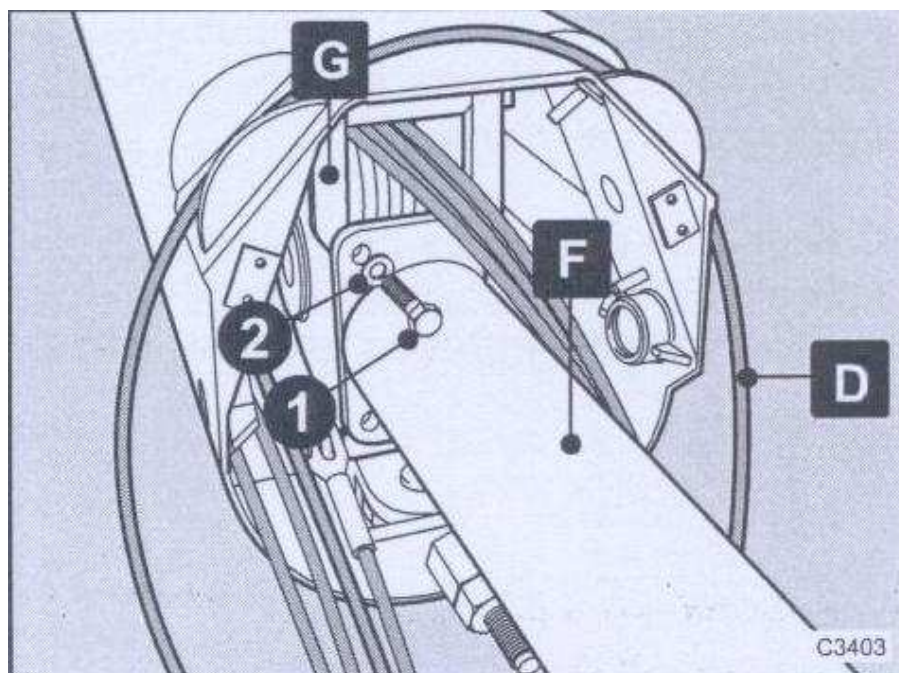


Figura C3403

- Colocar el cable D que sale por la parte posterior del tramo III, sobre los alojamientos de los patines de la parte superior como se indica en la figura anterior antes de proceder a colocar el cilindro de extensión F.
- Con la ayuda del puente grúa, posicionar el cilindro de extensión F por la parte posterior del tramo III y fijarlo mediante los tornillos (1) y sus arandelas (2) al carro de extensión G.

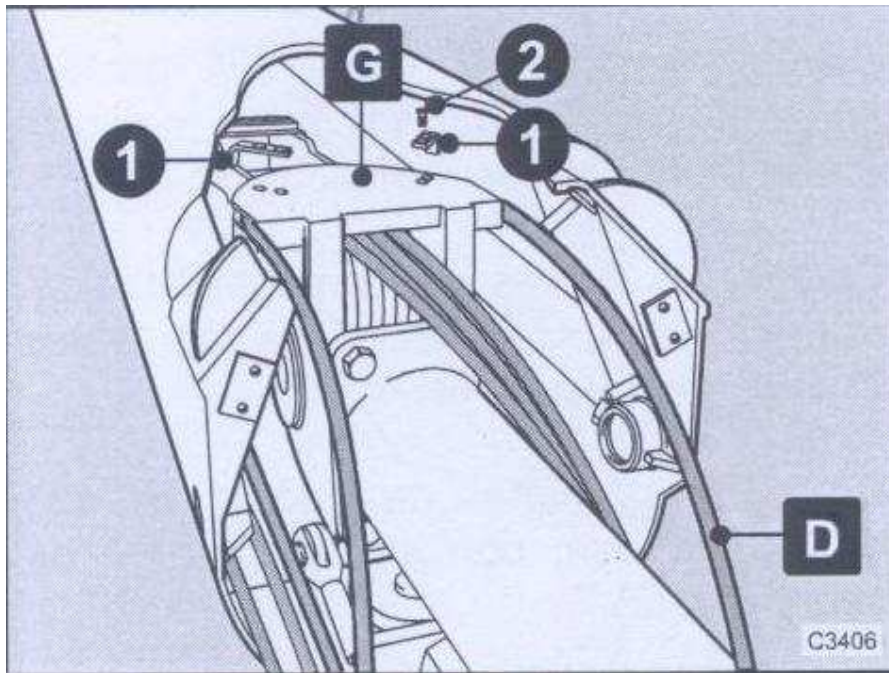


Figura C3406

- Desmontar los dos topos del cable (1) de la parte superior de la semipolea H del carro de apoyo del cilindro de extensión desmontando previamente los cuatro tornillos avellanados (2).
- Pasar el cable D por la semipolea H como se indica en la figura y colocar de nuevo los topos (1) fijados con los tornillos (2) para que el cable no pueda salirse de su alojamiento en la citada semipolea.

### A3.3.1. Montaje de las poleas de retroceso del tramo IV

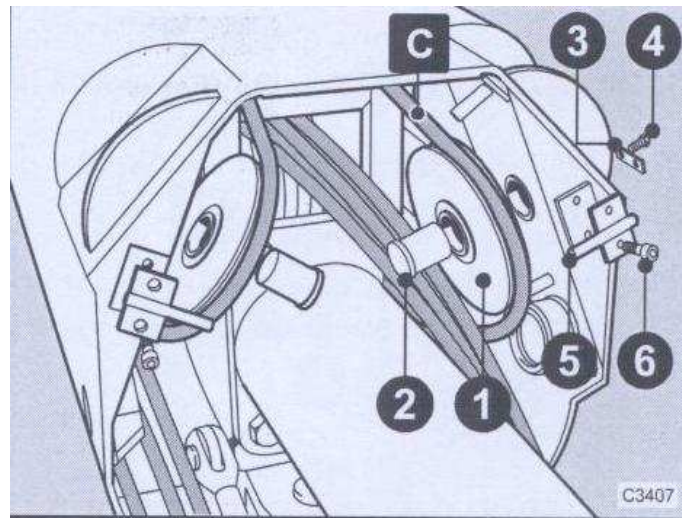


Figura C3407

- Debemos ahora montar las poleas de retroceso del tramo IV en la parte trasera del tramo III.



#### INDICACIÓN

Debido a que se encuentran soldados en el interior de la pluma unos topes para evitar la salida del cable de la guía de las poleas, debemos antes de fijar las mismas, pasar el cable D por las poleas (1) y montarlas equipadas con el cable.

- Colocar las poleas (1) en sus alojamientos, fijándolas con los bulones (2).
- Colocar los frenos (3) de los bulones (2) y fijarlos con los tornillos (4).
- Colocar en ambos lados los topes (5) fijándolos con los tornillos (6).

### A3.3.2. Equipar e introducir el cilindro de extensión en el tramo III

- Una vez montados los cables, el cilindro pueden ser introducido a lo largo del tramo III hasta que veamos que el cable D alojado en las poleas superiores, queda totalmente tensado, momento en que el cilindro habrá hecho su tope.

En este momento tenemos montados el conjunto tramos III y IV con el cilindro de extensión.

- Desmontar de los caballetes el conjunto de tramos III y IV con la ayuda del puente grúa y depositarlo en el suelo delante de los caballetes donde a continuación vamos a colocar el tramo II.

### A3.4. Montaje del conjunto tramos III y IV con tramo II

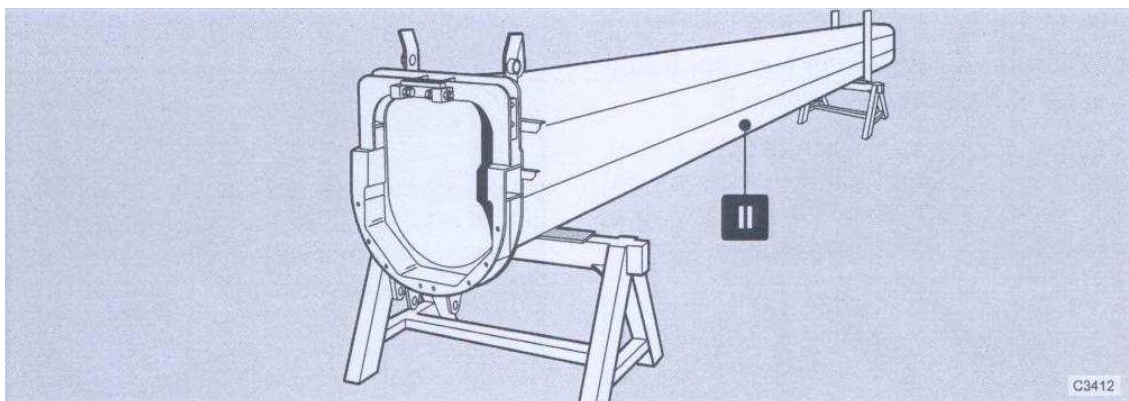


Figura C3412

- Colocar el tramo II sobre los caballetes.

#### A3.4.1. Engrasar el interior del tramo II

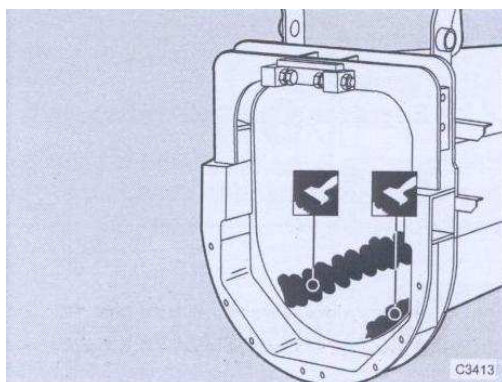


Figura C3413

- Engrasar con la ayuda de una brocha de engrase dos bandas por el interior del tramo II de atrás hacia delante por donde posteriormente se deslizarán los apoyos del tramo III.

#### A3.4.2. Pasar los cables a través del tramo II

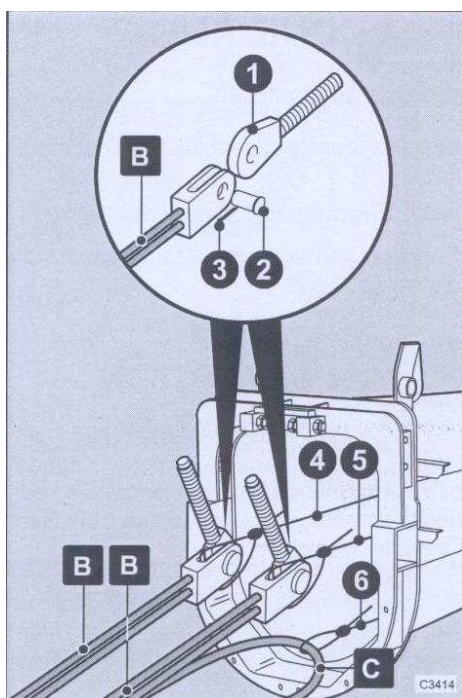


Figura C3414

- Antes de pasar los cables por el interior del tramo, debemos equiparlos con los terminales de enganche (1) y fijarlos con sus bulones (2) y sus

pasadores (3), ya que al colocarlos en sus amarres del tramo II, el espacio es muy reducido para su equipación.

- Pasar tres cuerdas (4), (5) y (6) por el interior del tramo II de longitud suficiente para tirar posteriormente de la parte trasera del tramo II.
- Sujetar el extremo de las cuerdas a los terminales de los calves de extensión B y de la curva del cable de retroceso C que viene del conjunto de los tramos III y IV.
- Tirar de las cuerdas por la parte posterior del tramo hasta que estas queden tensadas.

#### A3.4.3. Ensamblaje de los tramos III y IV con el tramo II

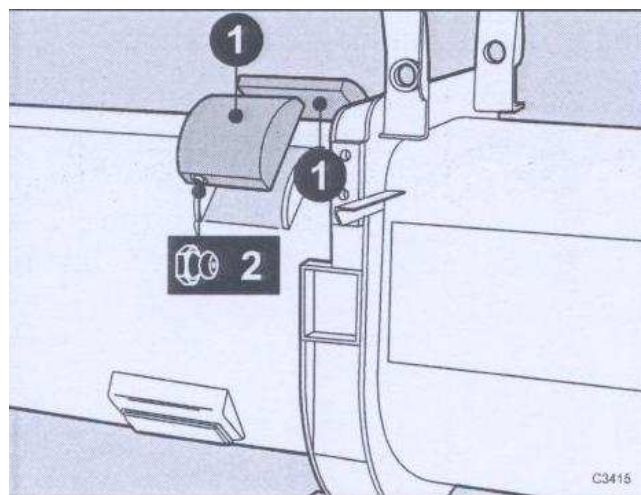


Figura C3415

- Introducir aproximadamente 1m el conjunto tramos III y IV en el interior del tramo II, colocando los patines superiores (1) en sus alojamientos prestando especial cuidado en que los engrasadores (2) queden en la parte delantera.



### INDICACIÓN

Estos patines de deslizamiento, únicamente se sujetan por los registros del tramo III, por lo que deberemos sujetarlos manualmente al iniciar la maniobra hasta que queden alojados en el interior del tramo III.



### CUIDADO

Peligro de atrapamiento.

- Volver a tirar de los cables B y C por la parte posterior del tramo II para tensarlos.

#### A3.4.3.1. Engrasar el exterior del tramo III

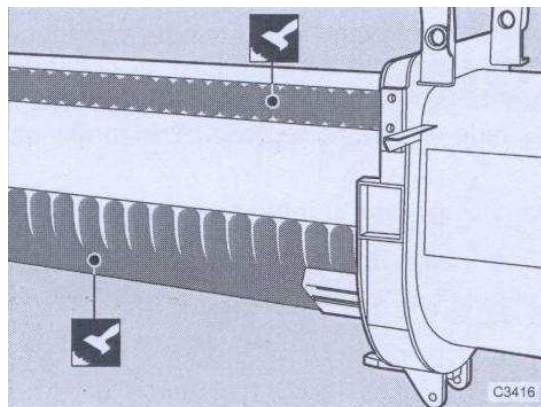


Figura C3416

- Engrasar con la ayuda de una brocha de engrase las dos bandas superiores y la panza del tramo III.



### INDICACIÓN

A lo largo del tramo se han dejado sin pintar las bandas por donde posteriormente se ha de engrasar, así pues, son estas bandas las que delimitan la zona de engrasado.

- Introducir el conjunto de tramos III y IV en el interior del tramo II hasta que falte aproximadamente 1,3m del total de su longitud.



### ATENCIÓN

Realizar la maniobra lentamente. Durante la misma, deberemos ir tirando de las cuerdas que sujetan los cables B y C por la parte posterior del tramo II a medida que los tramos III y IV vayan introduciéndose en el tramo II para que los cables queden tensados y no puedan ser atrapados o deteriorados.

#### A3.4.4. Colocar los patines en la boca del tramo II

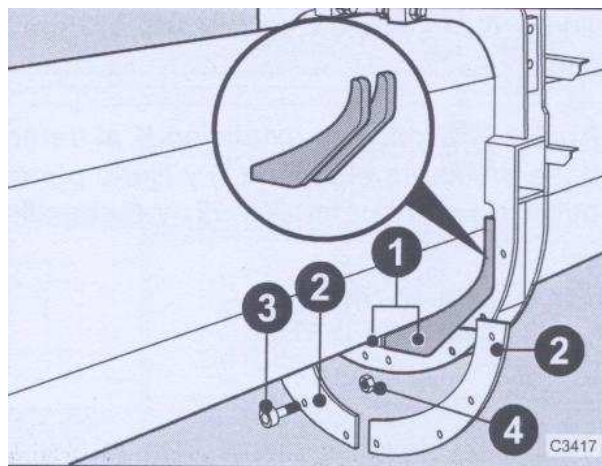


Figura C3417

- Colocar en ambos lados los patines inferiores delanteros (1) compuestos por dos juegos de placas de dos unidades cada uno en el tramo II.

- Colocar los cierres de los patines (2) del tramo II y sujetarlos mediante los tornillos (3) y tuercas (4).

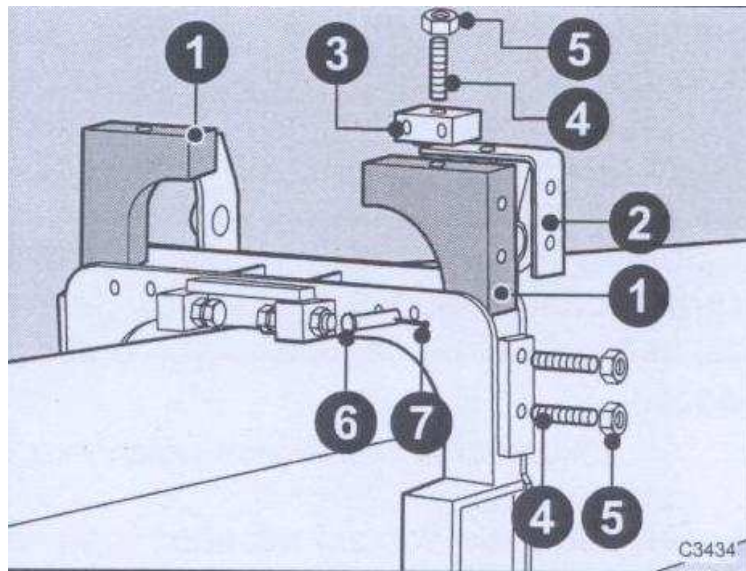


Figura C3434

- Colocar en ambos lados los patines superiores delanteros (1) en el tramo II con sus protectores metálicos (2).
- Colocar los cierres de los patines (3) del tramo II y fijar los espárragos regulables (3) con sus tuercas (4).
- Colocar los bulones de fijación (6), dos en cada cierre, con sus pasadores de seguridad (7).

#### A3.4.5. Fijar los cables de extensión B al tramo II

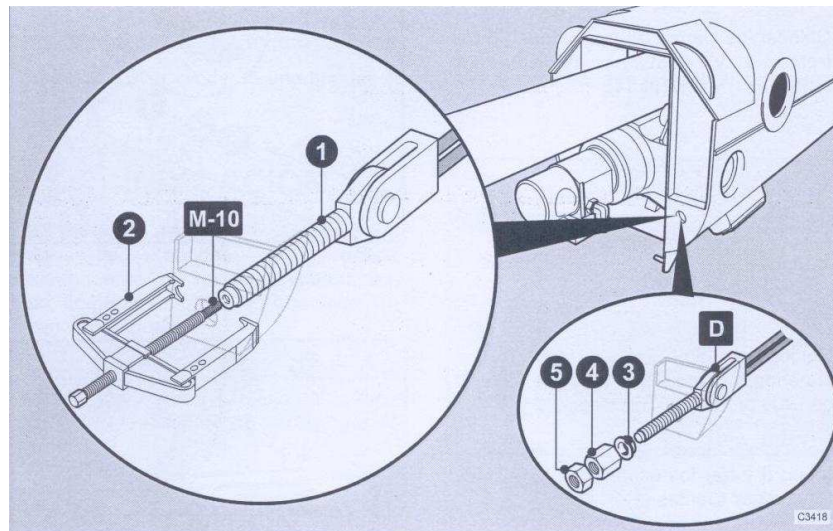


Figura C3418

- En la parte posterior del tramo II, existen los dos alojamientos uno a cada lado del mismo en los que debemos anclar los terminales del cable B y que previamente hemos equipado con los enganches para los mismos.



#### INDICACIÓN

Al quedar los cables B por el interior del tramo sin tensar, se puede dar la circunstancia de que necesitemos la ayuda de un extractor (2) para poder, tensando los cables, pasar los terminales por los alojamientos donde posteriormente los vamos a fijar. Para ello se han realizado en los terminales (1) unos taladros para extractor de M-10 x 20mm.

- Una vez hemos pasado los terminales de los cables B por sus alojamientos en el tramo, colocar el casquillo protector (3) la tuerca abarcón (4) y la contratuerca (5) en ambos lados.

- Ajustar la tensión del cable B mediante la tuerca y contratuerca (4) y (5) sin forzarla demasiado. El terminal roscado sale por la parte posterior del tramo aproximadamente unos 120mm.

#### A3.4.6. Montaje de las poleas de retroceso del tramo III en el tramo II

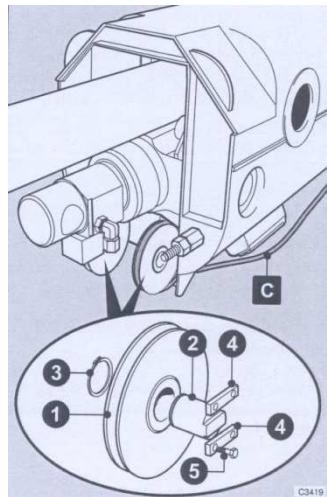


Figura C3419

- Debemos ahora montar las poleas de retroceso del tramo III en la parte trasera del tramo II.

Debido a que se encuentran soldados en el interior de la pluma unos topes para evitar la salida del cable de la guía de las poleas, debemos antes de fijar las mismas, pasar el cable C por las poleas (1) y montarlas equipadas con el cable.

- Colocar las poleas (1) en sus alojamientos, fijándolas con los bulones (2) y los anillos elásticos (3) por el interior.
- Colocar por el exterior los frenos (4) y fijarlos con los tornillos (5).

La curva restante del cable C queda fuera del tramo, sobre el suelo y hacia delante.

#### A3.4.7. Fijar el cilindro de extensión de los tramos II, III y IV al tramo II

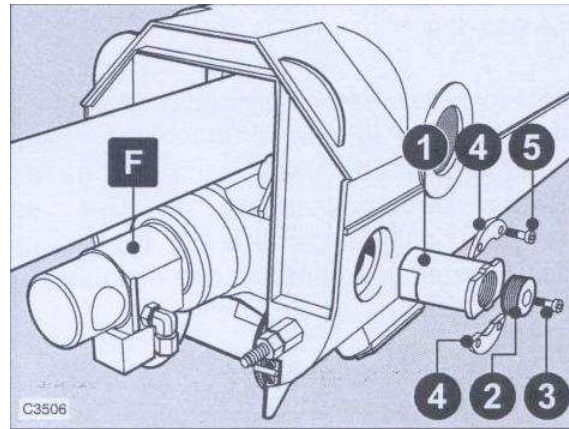


Figura C3506

- Ya podemos ahora fijar el cilindro de extensión F al tramo II.
- Montar en los patines roscados regulables (2) los tornillos (3) cuya misión es la de frenar el patín roscado forzando la rosca del mismo.
- En ambos bulones (1) montar los patines (2) con la ayuda de una llave allen.
- En ambos lados, introducir en su alojamiento los bulones (1).
- Colocar los frenos superiores e inferiores (4) y fijarlos mediante tornillos (5).

En estos momentos, disponemos de los tramos II, III y IV ensamblados y dispuestos para ser montados en el tramo base.

- Desmontar de los caballetes el conjunto tramos II, III y IV con ayuda del puente grúa y depositarlo en el suelo delante de los caballetes donde a continuación vamos a colocar el tramo base.

### A3.5. Montaje del conjunto de tramos II, III y IV con tramo base

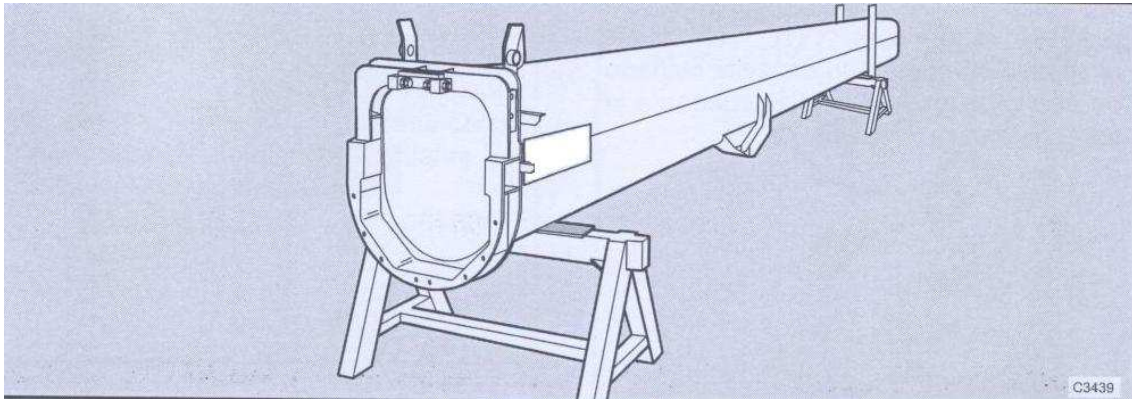


Figura C3421

- Colocar el tramo I sobre los caballetes.



#### ATENCIÓN

En el conjunto ya montado, recordamos que el cable C es el único cable que nos queda por sujetar en la pluma. Este cable una vez montado en el conjunto tramos II, III y IV en el inferior del tramo base debe quedar por fuera de la boca delantera de este tramo por lo que en el momento de introducir el conjunto debemos sujetar el cable por medio de una cuerda de modo que este se introduzca fijado a la panza del tramo II, poniendo especial cuidado en que no se produzcan torsiones o pinzamientos del cable.

### A3.5.1. Engrasar el interior del tramo base

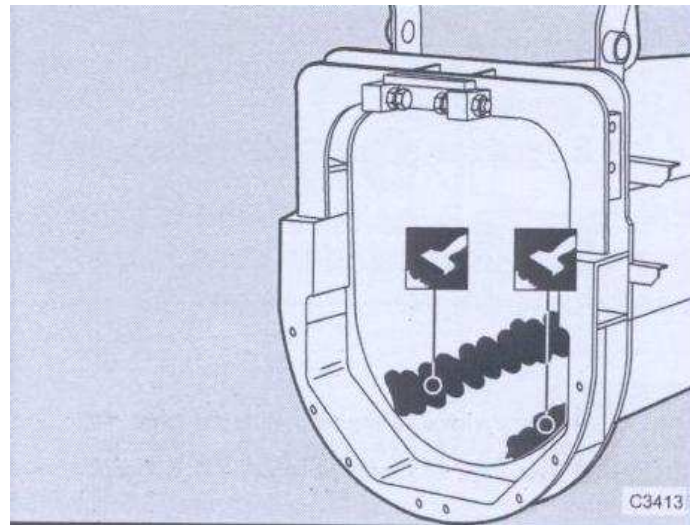


Figura C3413

- Engrasar con la ayuda de una brocha de engrase dos bandas por el interior del tramo base de atrás hacia delante por donde posteriormente se deslizarán los apoyos del tramo II.

### A3.5.2. Ensamblaje de los tramos II, III y IV con tramo base

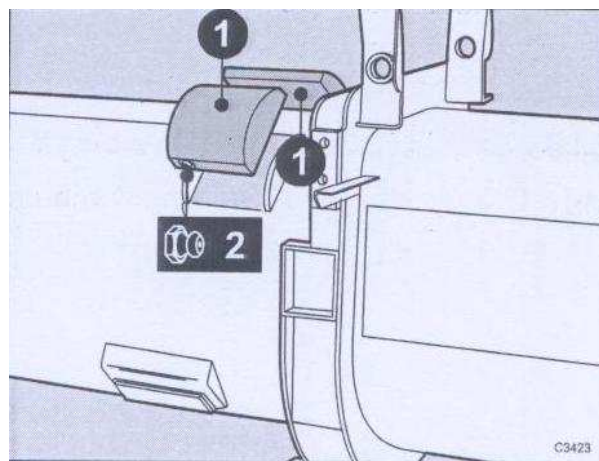


Figura C3423

- Introducir aproximadamente 1m el conjunto tramos II, III y IV en el interior del tramo base, colocando los patines superiores (1) en sus

alojamientos prestando especial cuidado en que los engrasadores (2) queden a la parte delantera.



### INDICACIÓN

Estos patines de deslizamiento, únicamente se sujetan por los registros del tramo II, por lo que deberemos sujetarlos manualmente al iniciar la maniobra hasta que queden alojados en el interior del tramo base.



### CUIDADO

Peligro de atrapamiento.

#### A3.5.2.1. Engrasar el exterior del tramo II

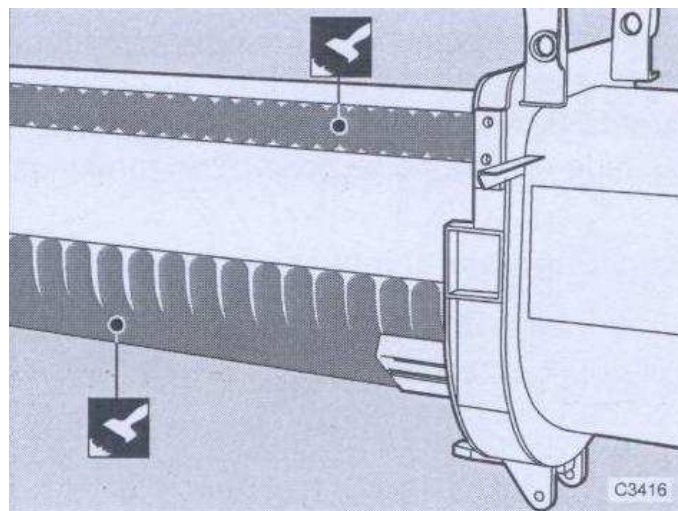


Figura C3416

- Engrasar con la ayuda de una brocha de engrase las dos bandas superiores y la panza del tramo II.



## INDICACIÓN

A lo largo del tramo se han dejado sin pintar las bandas por donde posteriormente se ha de engrasar, así pues, son esas bandas las que delimitan la zona de engrasado.

### A3.5.2.2. Montaje de la semipolea del cable de retroceso C

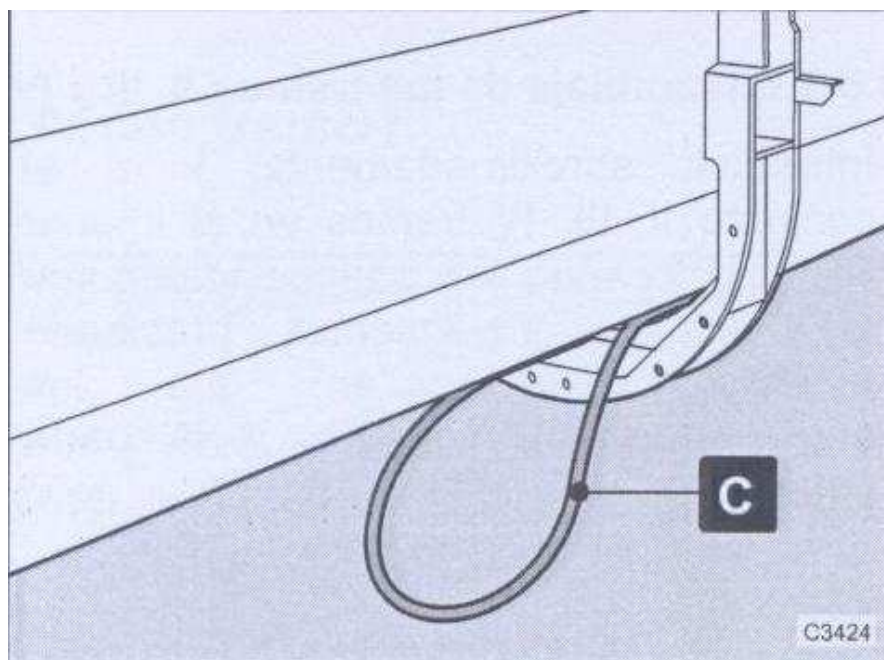


Figura C3424

- Introducir el conjunto en el interior del tramo base hasta que la curva del cable C quede fuera de la boca del tramo base aproximadamente 0,3m para posteriormente disponer del espacio necesario para montar la semipolea donde se fija el cable.

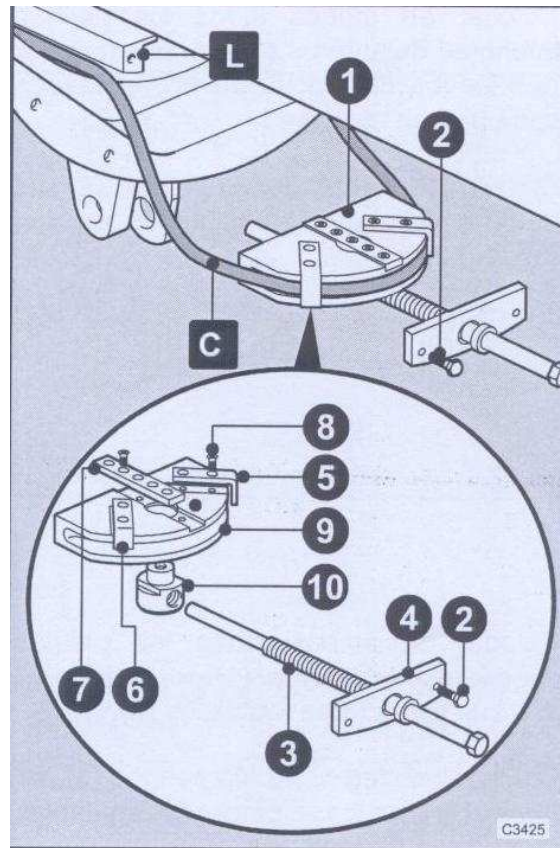


Figura C3425

- En la semipolea (1), desmontar los frenos (5) y (6) desmontando previamente los tornillos (8).
- Pasar el cable C por la semipolea (9).
- Montar de nuevo los frenos (5) y (6) y fijarlos con los tornillos (8).
- Colocar la semipolea en su alojamiento del tramo base (L) de modo que los taladros roscados del soporte coincidan con los de la chapa de cierre (4).
- Sujetar la semipolea al tramo mediante los tornillos (2).
- Acabar de introducir el conjunto de los tres tramos en el tramo base.

### A3.5.3. Colocar los patines en la boca del tramo base

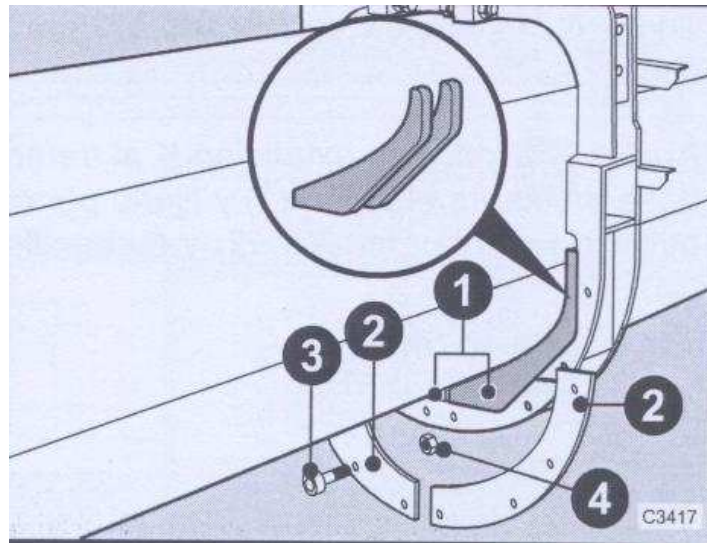


Figura C3417

- Colocar en ambos lados los patines inferiores delanteros (1) compuestos por dos juegos de placas de dos unidades cada uno en el tramo base.
- Colocar los cierres de los patines (2) del tramo base y sujetarlos mediante los tornillos (3) y tuercas (4).

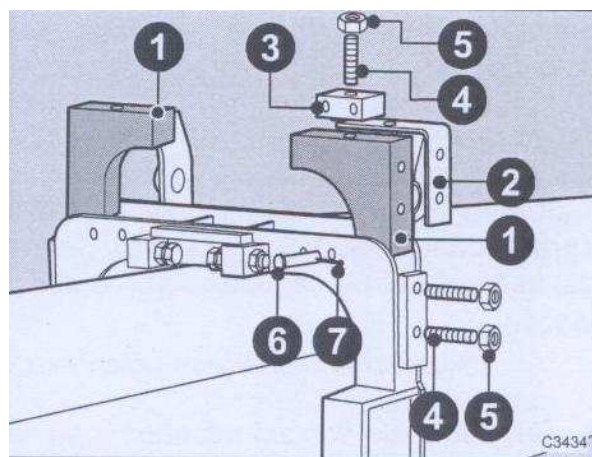


Figura C3434

- Colocar en ambos lados los patines superiores delanteros (1) en el tramo base con sus protectores metálicos (2).

- Colocar los cierres de los patines (3) del tramo base y fijar los espárragos regulables (4) con sus tuercas (5).
- Colocar los bulones de fijación (6), dos en cada cierre, con sus pasadores de seguridad (7).

#### A3.5.4. Fijar el cilindro de extensión al tramo base

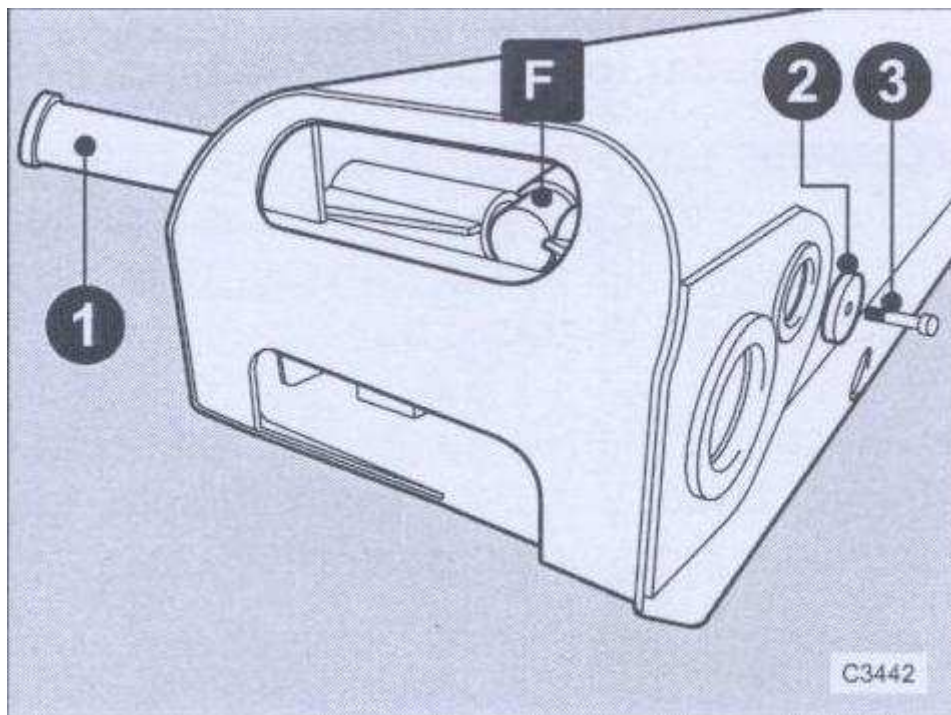


Figura C3442

En estos momentos, ya podemos fijar el cilindro de extensión superior F al tramo base.

- Anclar el cilindro de extensión F al tramo base mediante el bulón (1) y fijarlo por el otro lado con la arandela (2) y su tornillo (3).

### A3.5.5. Colocar la electroválvula del cilindro de extensión de los tramos II, III y IV

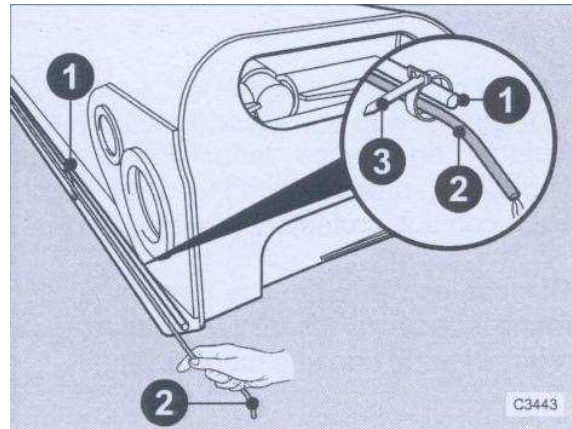


Figura C3443

En el lateral izquierdo del tramo base se encuentra soldada una varilla (1) a la que debemos fijar un cable eléctrico de conexión.

- Sujetar el cable eléctrico (2) a la varilla (1) mediante bridas (3) de longitud suficiente que nos permita disponer aproximadamente de 1,5m de cable fuera de la longitud de la varilla por ambos lados.

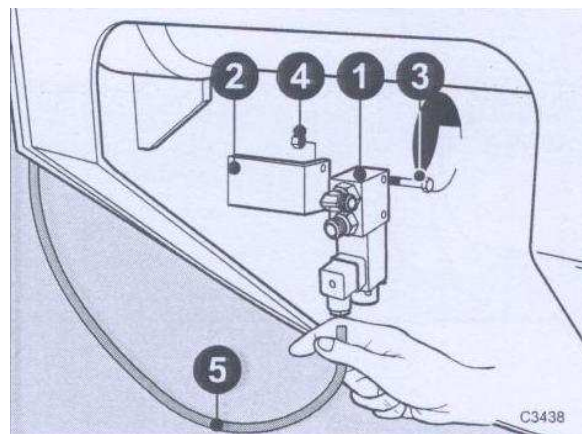


Figura C3438

- Colocar en el soporte (2) de la parte posterior del tramo base la electroválvula (1) del cilindro de extensión K fijándola mediante los tornillos (3) y sus tuercas (4).

- Conectar el cable eléctrico (5) que previamente hemos pasado por el tubo con la electroválvula (1).

### A3.6. Colocación de elementos externos de la pluma

#### A3.6.1. Colocación de roldanas en la cabeza de la pluma

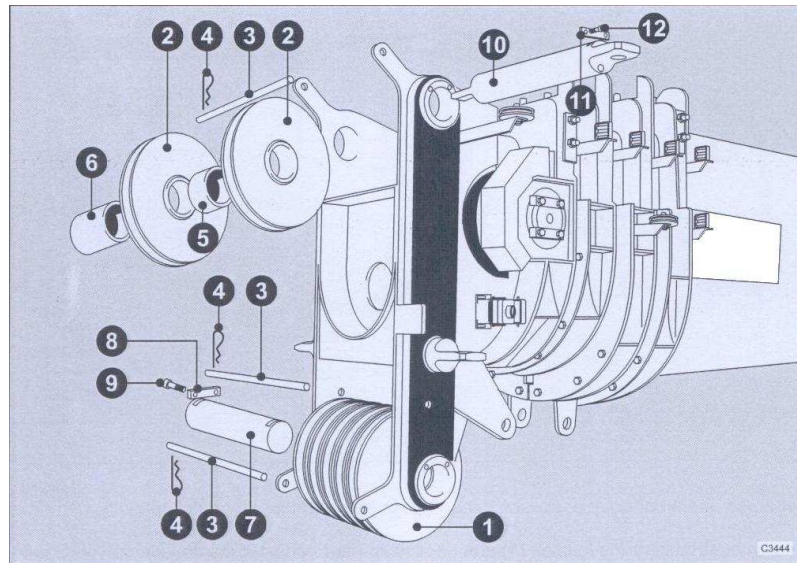


Figura C3444

Debemos ahora equipar la pluma con sus roldanas y elementos para la posterior instalación del cable de elevación.

- En la parte superior de la cabeza de la pluma, colocar las dos roldanas (2) con los casquillos separadores (5) y (6) como se indica en la figura anterior, siendo el casquillo de menos longitud (5) el que se coloca entre las dos roldanas. Montar el eje (10) y asegurarlo en ambos lados de la cabeza con los frenos (8) y sus tornillos (9).
- En la parte inferior de la cabeza de la pluma, colocar las cinco roldanas (1). Montar el eje (7) y asegurarlo en ambos lados de la cabeza con los frenos (8) y sus tornillos (9).

- Montar los ejes (3) con sus pasadores de seguridad (4) en ambos extremos.

### A3.6.2. Colocación de los rodillos salvacables

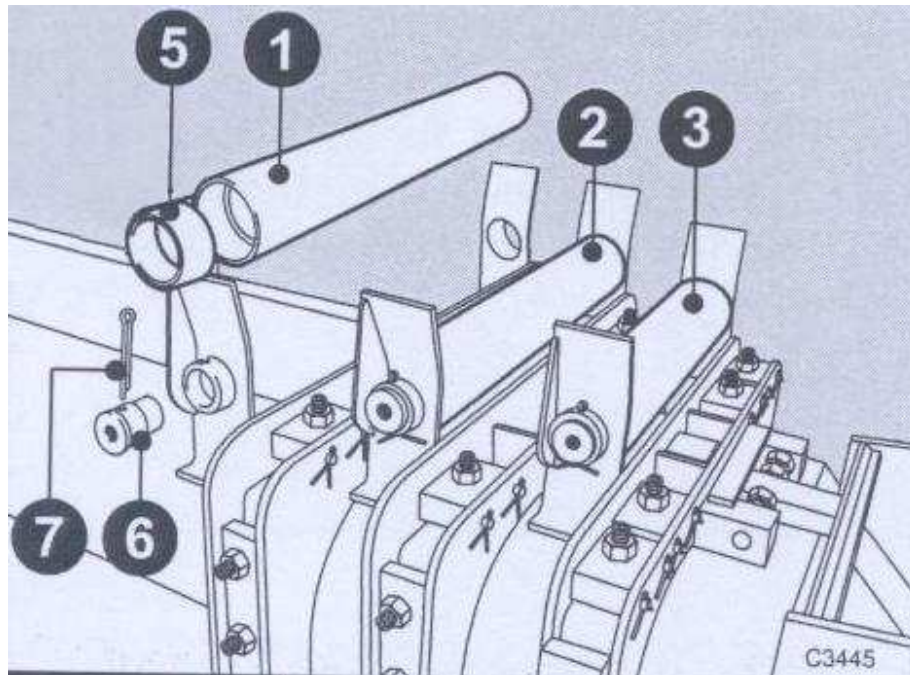


Figura C3445

- Montar los rodillos de deslizamiento para el cable de elevación en el tramo base (1), tramo II (2) y tramo III (3).
- Previamente a su montaje en la pluma, debemos montar en ambos extremos de los rodillos los rodamientos (5).
- Fijar los rodillos a la pluma mediante los bulones (6) y sus pasadores de seguridad (7).

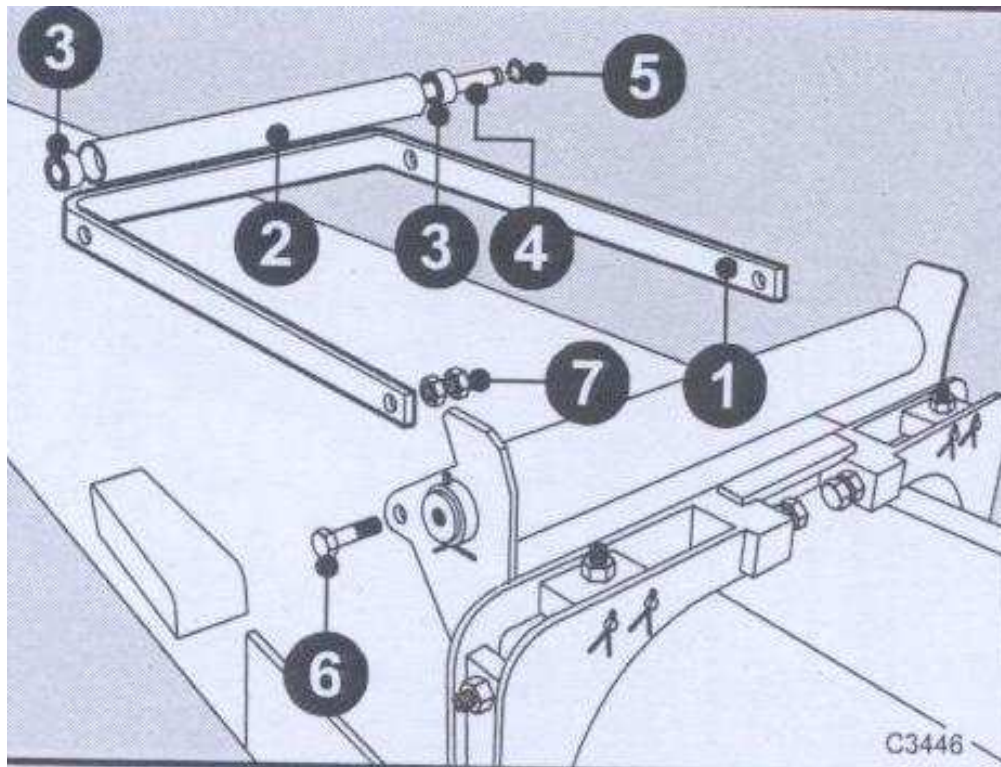


Figura C3446

- Colocar en la guía cable (1) el rodillo de deslizamiento para el cable de elevación (2).
- Previamente a su montaje en la guía, debemos montar en ambos extremos del rodillo los rodamientos (3).
- Fijar el rodillo a la guía mediante el eje (4) y sus anillos elásticos (5).
- Colocar el conjunto de la guía cable en el tramo base mediante los tornillos (6) y sus tuercas (7).

### A3.6.3. Colocación de los sistemas de conexión del limitador de cargas

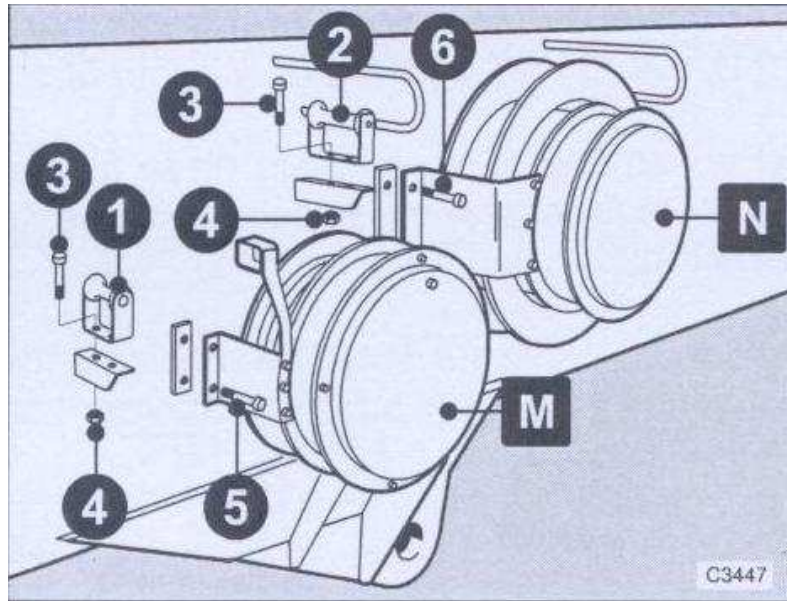


Figura C3447

- Montar los enrolladores eléctricos M y N en sus soportes del tramo base mediante los tornillos (5) y (6).
- Montar los rodillos para cable eléctrico (1) y (2), fijándolos a sus soportes del tramo base mediante los tornillos (3) y tuercas (4).

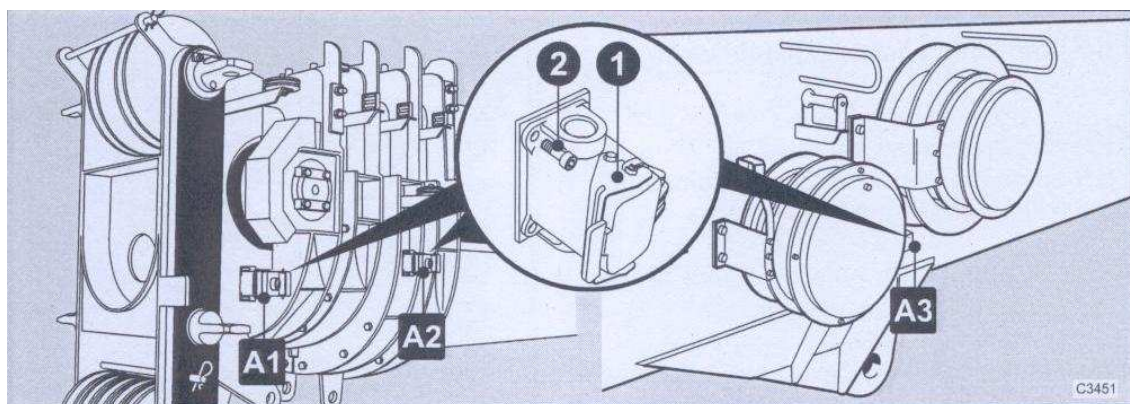


Figura C3451

- Colocar en los puntos A1 en la parte izquierda de la cabeza de la pluma, A2 en la parte izquierda de la boca del tramo I y A3 entre los enrolladores eléctricos de la parte izquierda del tramo base las bases de los enchufes (1) fijándolos mediante los tornillos (2).

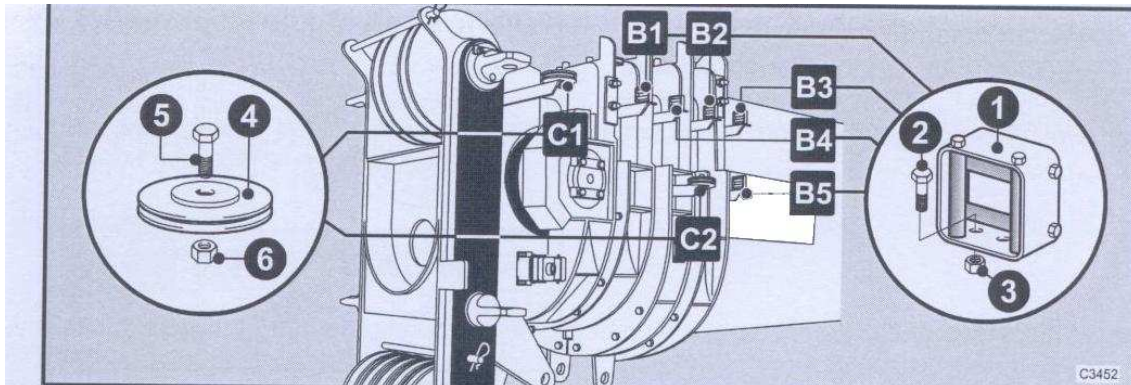


Figura C3452

- Colocar en los puntos B1, B2, B3, B4 y B5 los conjuntos de rodillos para cable eléctrico (1), fijándolos a los soportes mediante los tornillos (2) y sus tuercas (3).
- Colocar en los puntos C1 y C2 las poleas (4) fijándolas a los soportes mediante los tornillos (5) y sus tuercas (6).

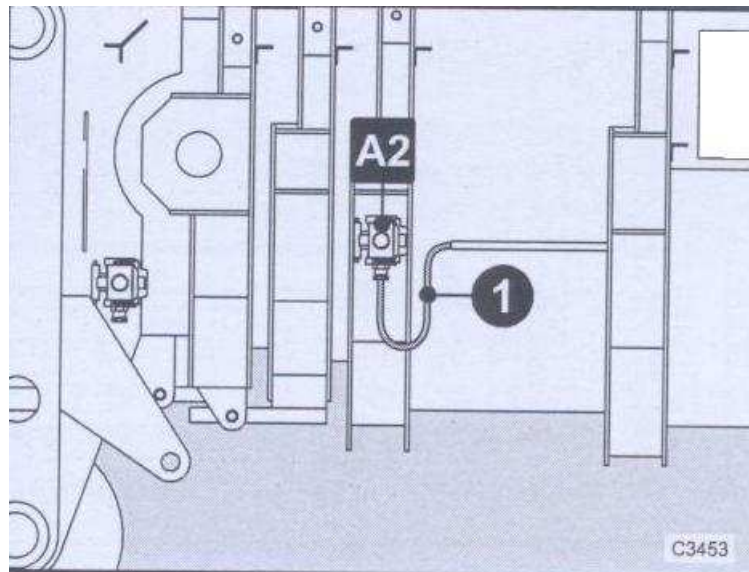


Figura C3453

- Conectar el cable eléctrico (1) que viene desde las electroválvulas Q colocada en la parte trasera del tramo II en la base A2 colocada en el cinturón del tramo II.

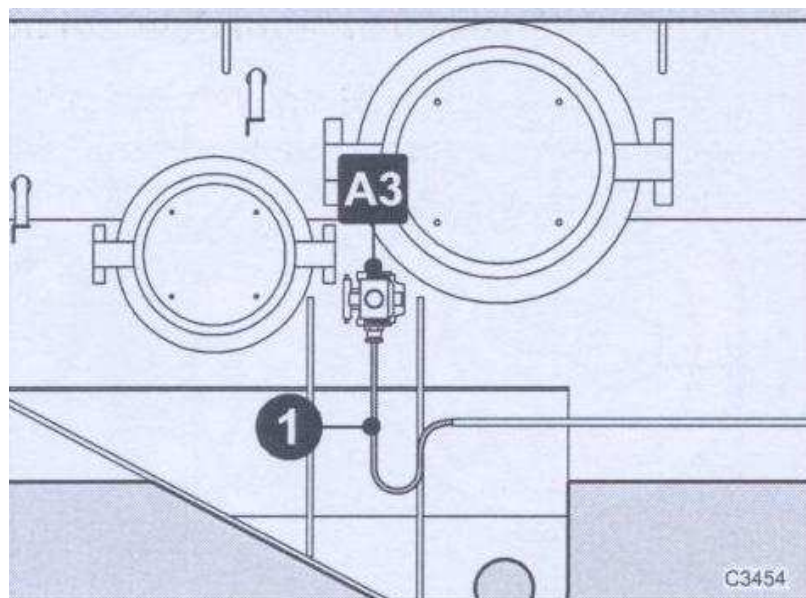


Figura C3454

- Conectar el cable eléctrico (1) que viene desde la electroválvula P colocada en la parte trasera del tramo base en la base A3 colocada entre los enrolladores eléctricos del tramo base.

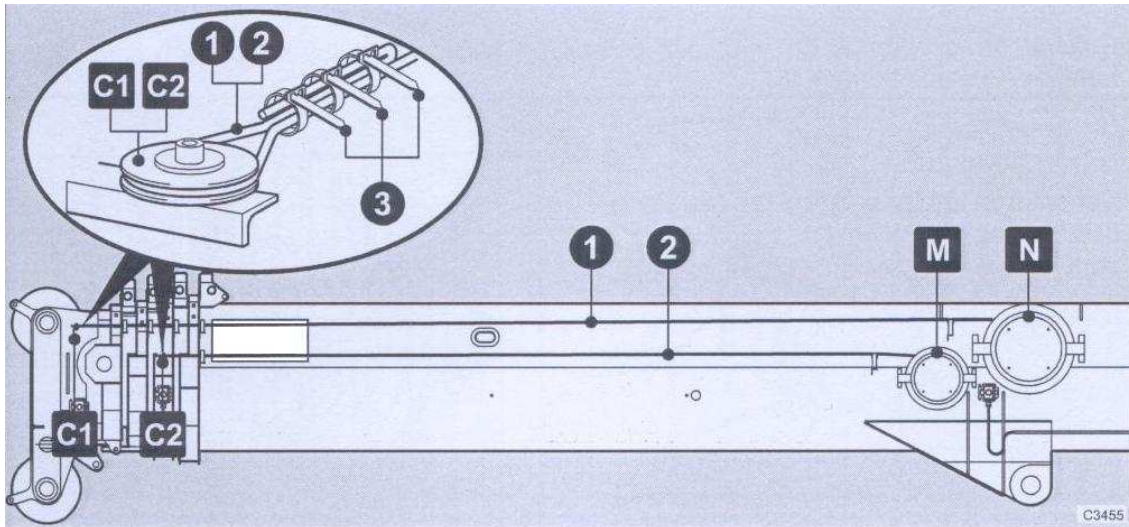


Figura C3455

- Pasar los cables eléctricos de los enrolladores M y N por los conjuntos de rodillos para cable eléctrico y sujetarlos a las poleas C1 y C2, fijando el cable con al menos tres bridas (3) como se indica en la figura anterior.

### A3.7. Engrase y ajuste de la pluma

#### A3.7.1. Engrase

Una vez montada la pluma, para el perfecto funcionamiento de telescopaje de la misma, se debe proceder al engrase general.



#### INDICACIÓN

Los tramos en su parte superior e inferior están ya engrasados, pues la operación se ha realizado durante el montaje.

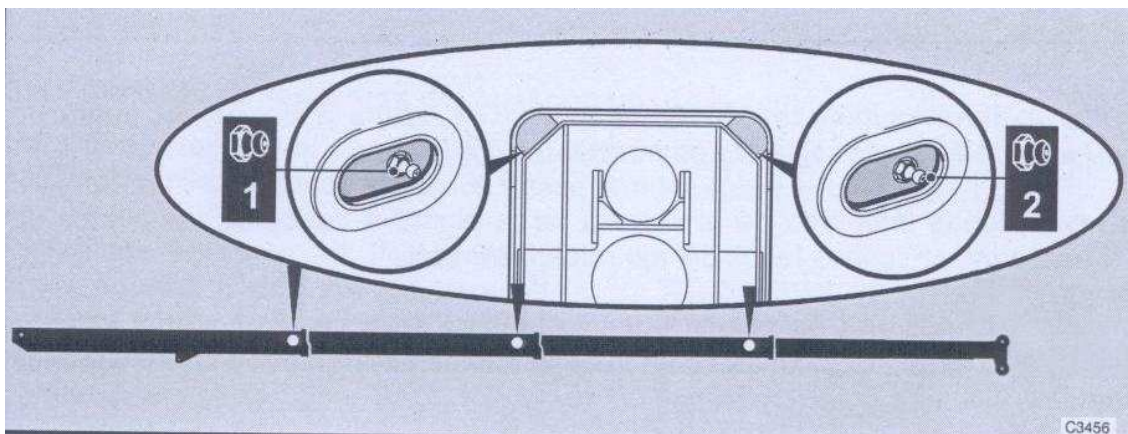


Figura C3456

- Para acceder a los engrasadores que lubrican los patines traseros superiores, los tramos deberán ser extendidos en su totalidad y en los dos laterales de cada tramo aparecerán unos agujeros que dan acceso a los engrasadores izquierdo (1) y derecho (2) de los patines superiores. Engrasar abundantemente.
- Recoger totalmente la pluma.

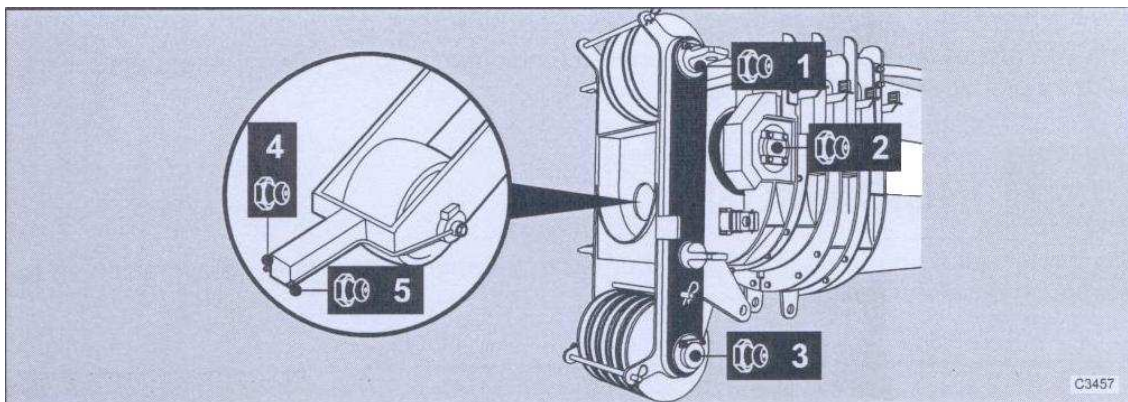


Figura C3457

- Engrasar las roldanas superiores de la cabeza de la pluma a través del punto de engrase (1) situado en el eje roldanas en su lado izquierdo.

- Engrasar las roldanas inferiores de la cabeza de la pluma a través de los puntos de engrase (3) situados en ambos lados del eje de las roldanas inferiores.
- Engrasar las poleas situadas en ambos lados de la parte delantera del tramo II a través de los puntos de engrase (3) colocados en los ejes de las poleas en la parte exterior de dicho tramo.
- Engrasar la polea del carro del cilindro de extensión inferior a través del punto de engrase (4) situado en la parte frontal de la cabeza de la pluma.

Por la parte trasera inferior de la pluma, existe una ventana por la que, con toda la pluma recogida, tendremos acceso a las poleas de retroceso del tramo III colocadas en la parte trasera del tramo II.

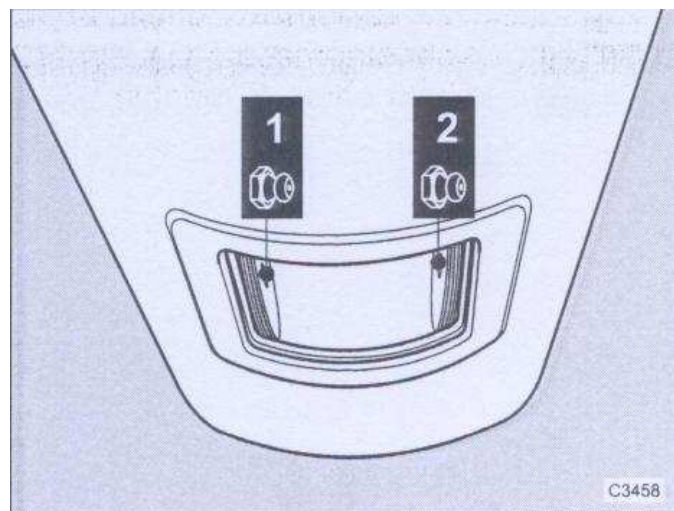


Figura C3458

- Engrasar las poleas (1) y (2) a través de los puntos de engrase del eje de ambas poleas.

Por ambos laterales de la pluma, existen unas ventanas R por las que, con toda la pluma recogida, tendremos acceso a las poleas de retroceso del tramo IV colocadas en la parte trasera del tramo III.

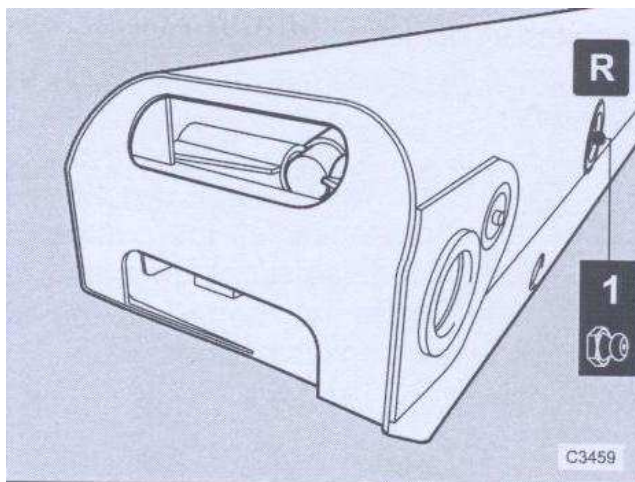


Figura C3459

- Engrasar las poleas (1) en ambos lados a través de los puntos de engrase del eje de ambas poleas.

La pluma ya está ahora totalmente engrasada.

#### **A3.7.2. Tensado de las sirgas del telescopado de la pluma**

Para poder realizar el correcto ajuste del tensado de las sirgas se debe partir de una situación similar en todos los casos desde donde aplicar este procedimiento.

Al extender los tramos II, III y IV un 60%, aparece junto a la boca del tramo II la ventana S, desde donde se accede en ambos lados a la regulación de las sirgas de retroceso del tramo IV.

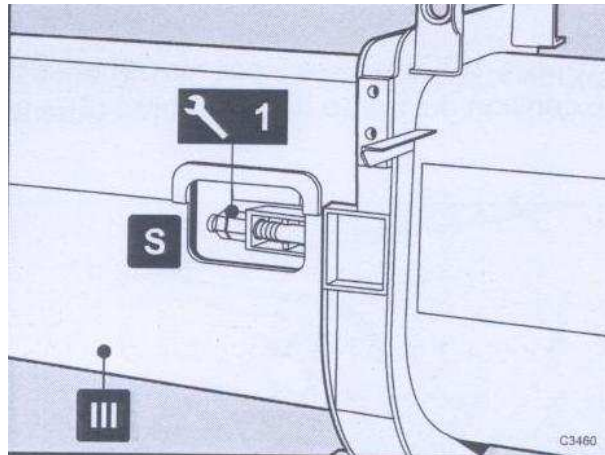


Figura C3460

- Mediante una llave plana de 42mm entre caras, destensar en ambos lados las sirgas de retroceso del tramo IV de tal forma que no se aprecie tensión en las mismas.
- Recoger totalmente la pluma.

Recogiéndola totalmente la pluma, por la ventana T, se accede en ambos lados a la regulación de las sirgas de extensión del tramo IV.

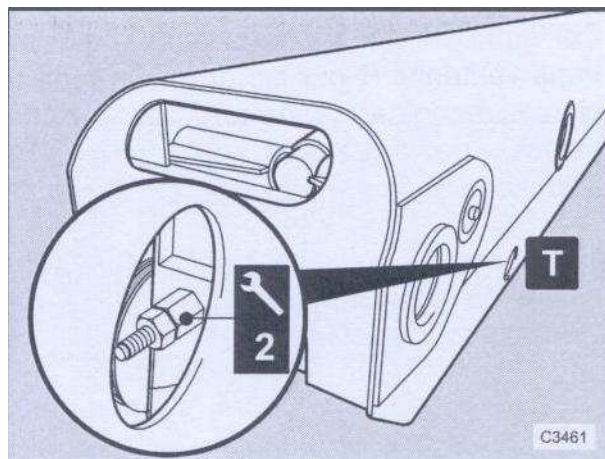


Figura C3461

- Mediante una llave plana de 42mm entre caras, destensar en los puntos (2) de ambos lados, las sirgas de tensión del tramo IV de tal forma que no se aprecie tensión en las mismas.

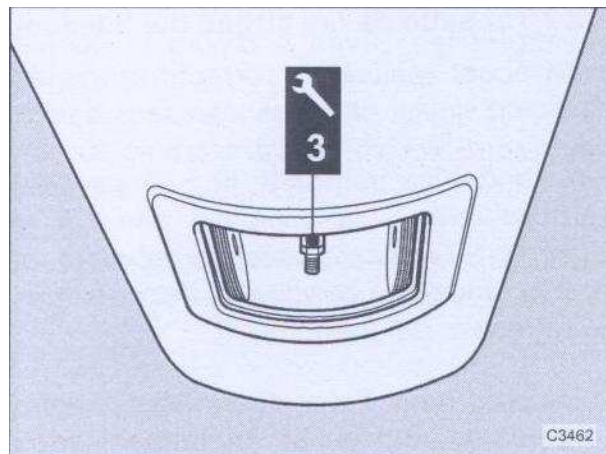


Figura C3462

- Mediante una llave plana de 80mm entre caras, destensar la sirga de extensión del tramo III a la que se accede por la ventana trasera inferior hasta que prácticamente tenga holgura el abarcón (3).
- Tensar de nuevo a tope la sirga de extensión del tramo III en el punto (3).

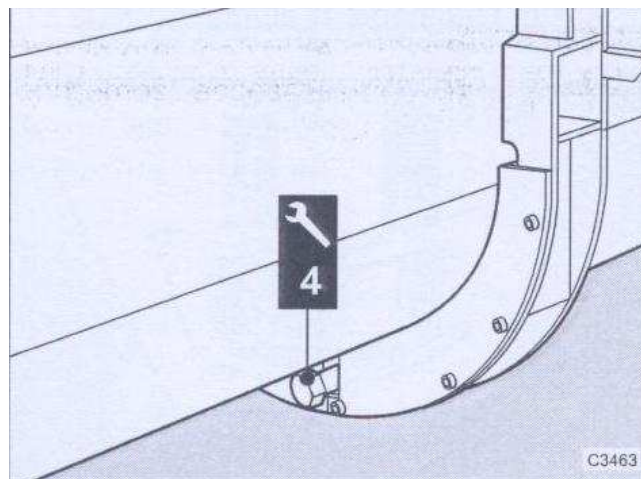


Figura C3463

- Mediante una llave de vaso de 32mm entre caras, destensar la sirga de retroceso del tramo III hasta que vaya suave (mover la tuerca con la llave accionada sólo por una mano) (4).

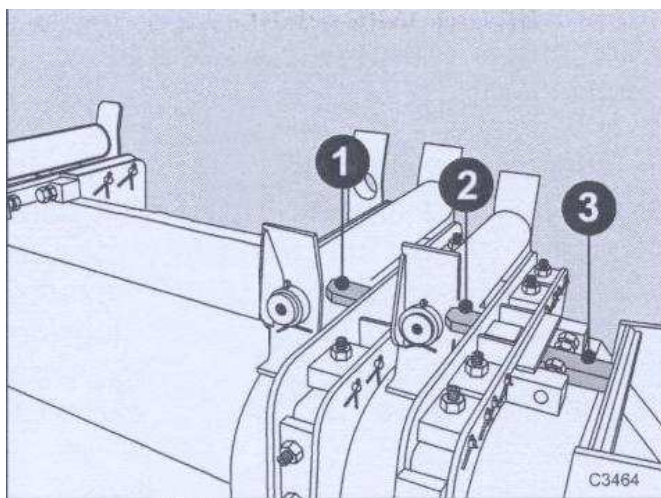


Figura C3464

- Comprobar el tope superior del tramo III con el tramo II (2).

Si cuando forzamos el retroceso de la pluma no hace tope el tramo III con el II será necesario tensar un poco la sirga de retroceso. Para ello y si es necesario, destensar un poco la sirga de extensión (sólo en el caso que el tensado de la sirga de retroceso deba hacerse con excesiva fuerza).

- Verificar el efecto rebote del tramo II que se produce cuando se recogen los tres tramos sincronizados de la pluma y se alcanza el tope mecánico, al soltar el joystick de accionamiento del tramo II tiene un efecto rebote hacia delante.



### INDICACIÓN

Se puede admitir un efecto rebote de 1 a 2 mm. Si fuera excesivo volver a comprobar que se han realizado correctamente los pasos anteriores.

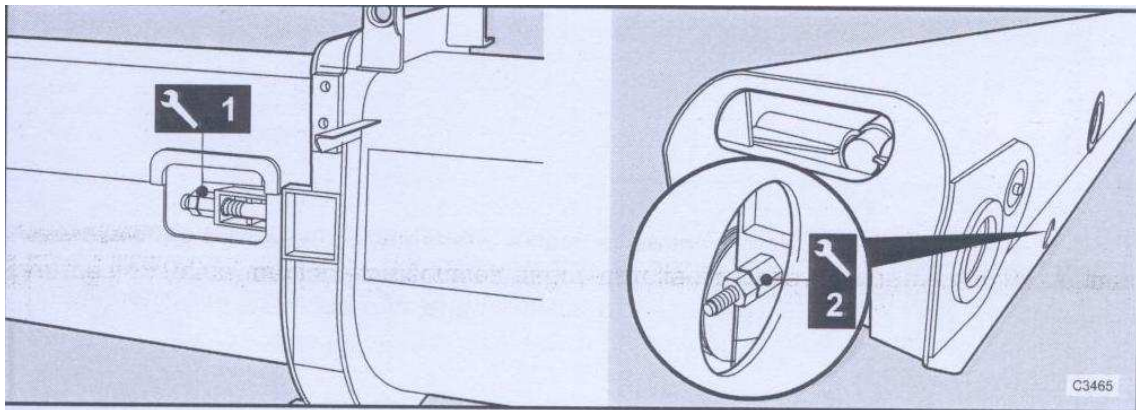


Figura C3465

- Tensar las sirgas de extensión del tramo IV, puntos (1) y (2) de forma compensada, dándoles en principio los movimientos de llave necesarios para que las sirgas se vean con tensión.

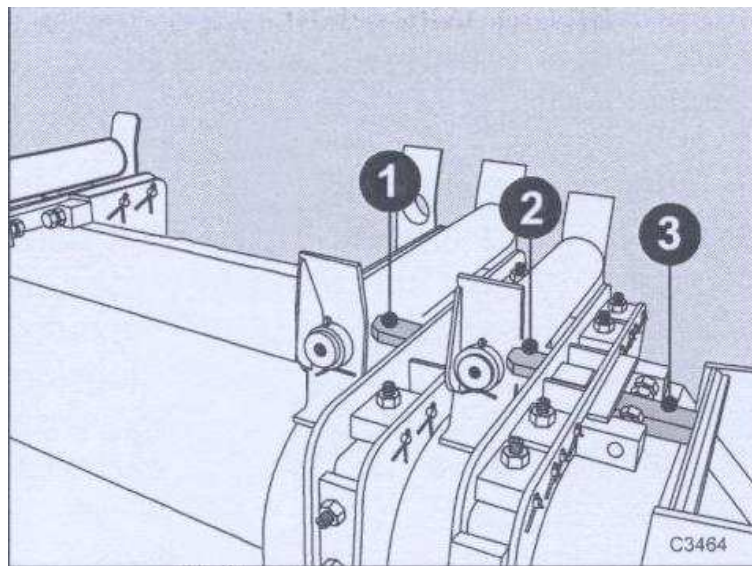


Figura C3464

- Posteriormente comprobar el tope del tramo IV con el tramo III (3). Si cuando forzamos el retroceso de la pluma no hace tope el tramo IV con el III será necesario tensar un poco la sirga de retroceso (1). Para ello y

si es necesario destensar un poco la sirga de extensión (2), solamente en el caso de que el tensado de la sirga de retroceso deba hacerse con excesiva fuerza.

- Volver a verificar el efecto rebote del tramo II, si ha aumentado respecto al medido anteriormente, será necesario destensar de forma compensada, comprobando el tope del tramo IV en el III (3) hasta que ese incremento de medida haya desaparecido.
- Finalmente proceder a la extensión total de los tres tramos sincronizados y comprobar si los puntos de engrase de los patines traseros son accesibles en las ventanas ovaladas laterales en los tramos II y III.

Si no lo son y quedan retrasados destensar la extensión y tensar el retroceso con la misma compensación del tramo que corresponda (III o IV). Análogamente si quedan adelantados, tensar la extensión y destensar el retroceso manteniendo siempre la misma compensación.