

## Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una excavadora con cadenas para una fuerza de excavación del cazo de 22.5 KN

### **ANEXO 1. ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS**

Autor/es

Eduardo Peñarrubia Castro

Director/es

Javier Óscar Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza.

2017/2018



## Índice Anexo 1

<b>1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2.</b>	<b>Elección de las posiciones .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>3.</b>	<b>Cálculo de los esfuerzos .....</b>	<b>- 14 -</b>
<b>3.1</b>	<b>Cálculo de los esfuerzos mediante MEFI.....</b>	<b>- 14 -</b>
<b>3.2</b>	<b>Cálculo de los esfuerzos mediante las ecuaciones de sólido libre.....</b>	<b>- 18 -</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Diagramas de Sólido Libre (DSL) de las barras y planteamiento de las ecuaciones de equilibrio.....</b>	<b>- 19 -</b>
<b>3.3</b>	<b>Validación de los resultados.....</b>	<b>- 24 -</b>



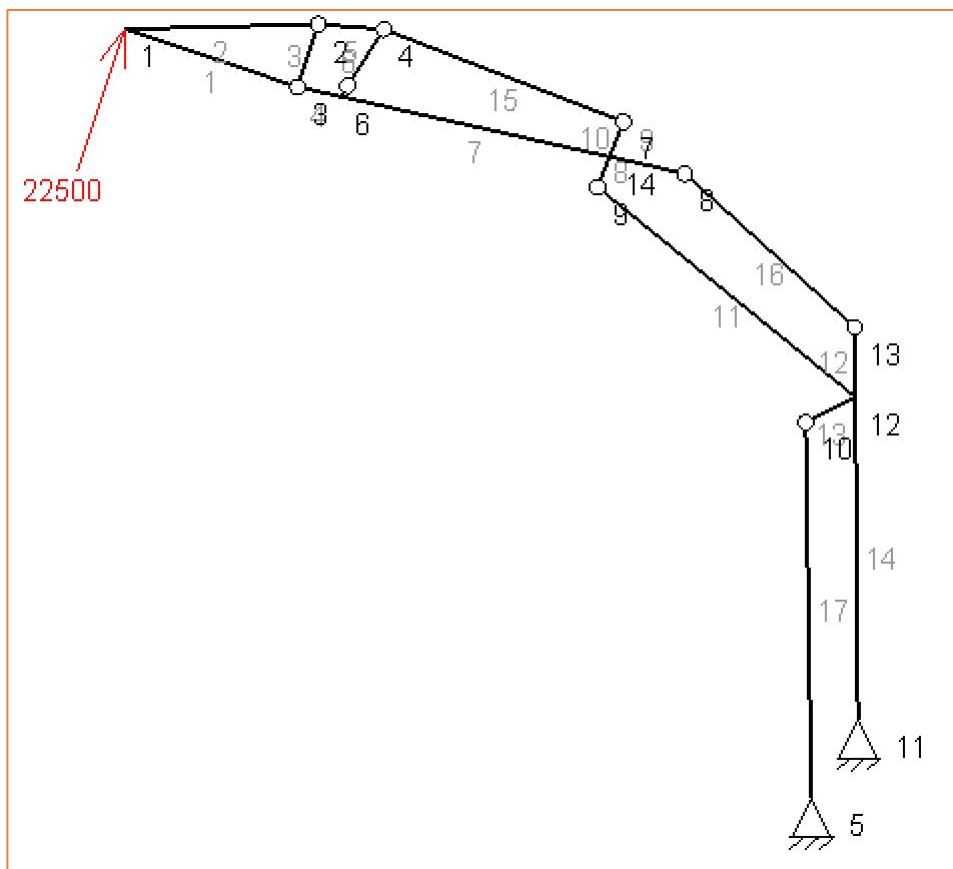
## 1. Introducción

En este Anexo se va a tratar el análisis de los esfuerzos a los que están sometidas cada una de las barras y cilindros hidráulicos de la mini excavadora. Para ello, se van a utilizar dos métodos:

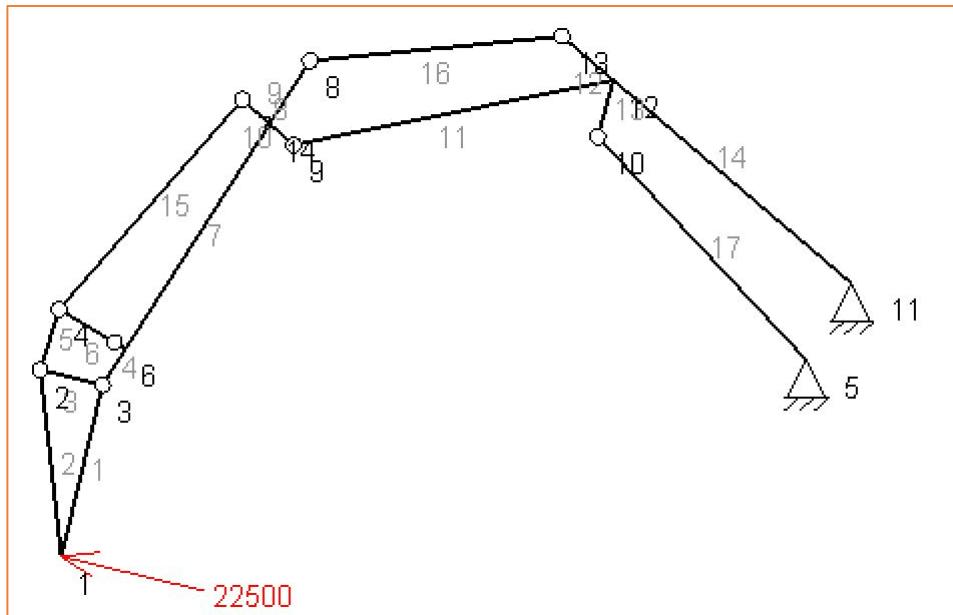
- Método de los Elementos Finitos: gracias al programa MEFI, introduciendo previamente la geometría de forma precisa y la fuerza que debe realizar la máquina en el extremo del cazo, sabremos los esfuerzos a los que están sometidas las barras y los cilindros hidráulicos.
- Planteamiento de las ecuaciones de la forma tradicional: planteando las ecuaciones de los sólidos libres de cada uno de los elementos que forman la mini excavadora podremos comprobar que el modelo estudiado en el programa MEFI es correcto. El sistema de ecuaciones planteado se resolverá con la herramienta EES (*Engineering Equation Solver*).

## 2. Elección de las posiciones

El primer paso es determinar las posiciones a estudiar. Lo primero que debemos saber es que la mini excavadora no va a poder realizar la fuerza máxima requerida en todo el abanico de posiciones, como es lógico. Esta fuerza máxima requerida solo la va a poder realizar en lo que vamos a denominar “posiciones comunes de trabajo”. Estas posiciones son las posiciones más habituales de trabajo de este tipo de máquinas. Por ejemplo, una posición poco común sería la siguiente:



Y una posición de trabajo donde la máquina deberá hacer la máxima fuerza requerida sería esta otra:



Entonces, vamos a obtener los esfuerzos que soporta la máquina para una serie de posiciones, en concreto, 16. Dentro de estas 16 posiciones,



estudiaremos algunas posiciones que no sean de trabajo habitual, pero la mayoría serán de trabajo habitual que son las que nos interesa estudiar.

Para obtener estas posiciones, se procederá de la siguiente manera:

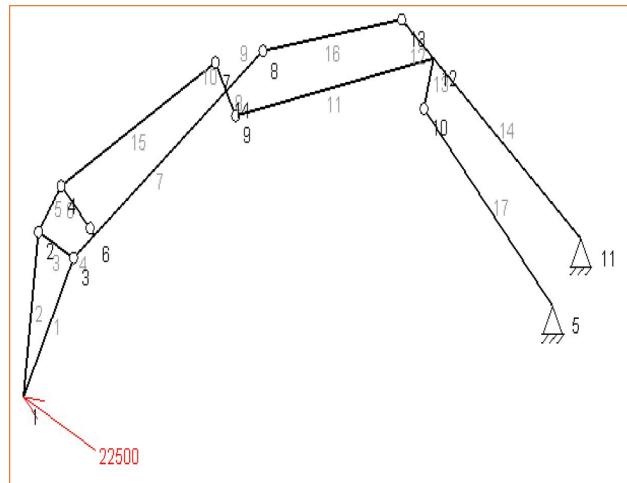
- Se dibujará en SolidWorks el esquema de barras de la estructura.
- Se irá moviendo el esquema en el propio programa atendiendo a la posición que se quiera analizar. Para cada posición, se irán obteniendo los parámetros necesarios para poder hacer el estudio:
  - Para poder realizarlo en MEFI, necesitaremos saber las coordenadas de cada punto respecto del punto origen. En nuestro caso, el punto origen es el llamado "K".
  - Para poder realizar el estudio planteando las ecuaciones, necesitaremos saber las distancias entre los puntos los cuales vamos a realizar la ecuación de momentos en cada sólido libre.

Las 16 posiciones que vamos a realizar son las siguientes:

#### Posición 1

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:

Puntos	X	Y
A - 1	-3518,564	-699,13
B - 2	3424,74	28,737
C - 3	-3202,508	-85,763
D - 4	-3281,612	231,83
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-3069,707	15,7
G - 7	-2307,31	775,515
H - 8	-2007,207	827,48
I - 9	-2180,296	540,865
J - 10	-991,06	572,189
K - 11	0	0
L - 12	-930,4	794,034
M - 13	-1131,031	965,31
N - 14	-2239,41	650,072

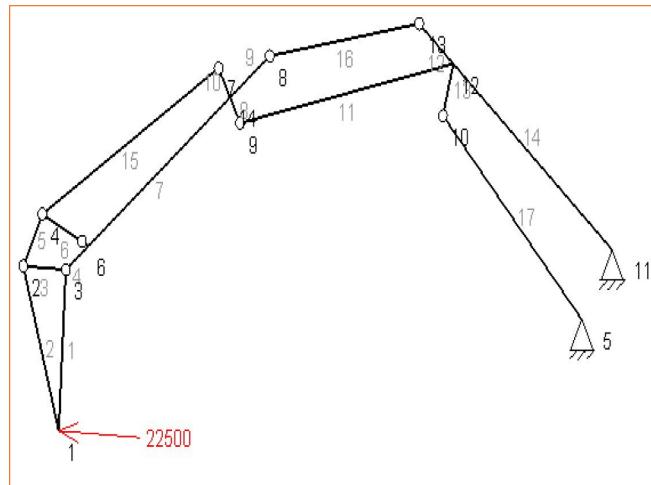


#### Posición 2

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:



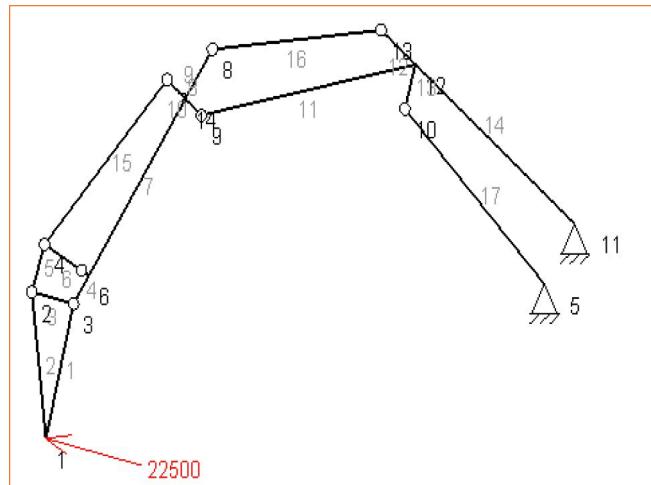
Puntos	X	Y
A - 1	-3244,53	-774,49
B - 2	-3452,04	-70,55
C - 3	-3202,508	-85,763
D - 4	-3340,285	151,359
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-3069,707	15,7
G - 7	-2307,31	775,515
H - 8	-2007,207	827,48
I - 9	-2180,296	540,865
J - 10	-991,06	572,189
K - 11	0	0
L - 12	-930,4	794,034
M - 13	-1131,091	965,31
N - 14	-2239,41	650,072



### Posición 3

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:

Puntos	X	Y
A - 1	-3087,518	-1068,56
B - 2	-3169,64	-339,277
C - 3	-2926,54	-397,59
D - 4	-3096,445	-101,8432
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2836,452	-256,825
G - 7	-2379,9	717,9233
H - 8	-2115,67	869,3954
I - 9	-2180,296	540,8649
J - 10	-991,06	572,189
K - 11	0	0
L - 12	-930,4	794,034
M - 13	-1131,091	965,3091
N - 14	-2273,194	623,2686

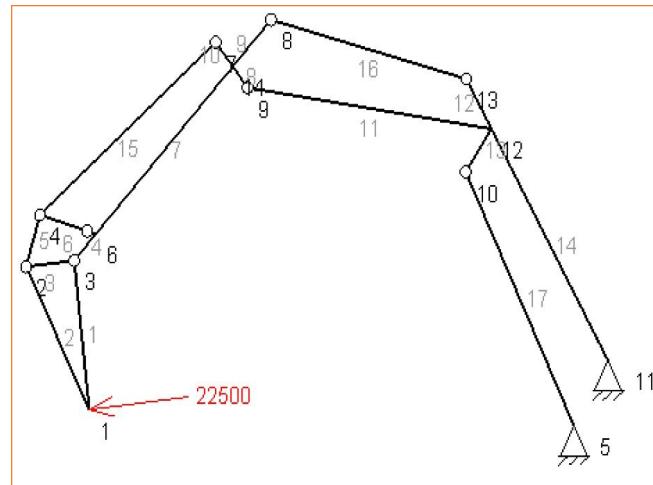


### Posición 4

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:



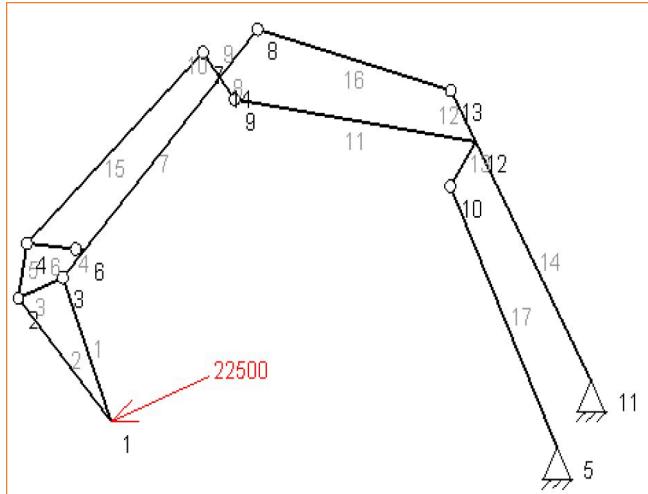
Puntos	X	Y
A - 1	-2683,4746	-226,221
B - 2	-3010,073	430,9898
C - 3	-2761,691	459,338
D - 4	-2938,551	668,933
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2648,5263	582,3213
G - 7	-2029,651	1462,9819
H - 8	-1743,1319	1566,2697
I - 9	-1863,82	1253,952
J - 10	-735,592	866,6444
K - 11	0	0
L - 12	-602,715	1064,36
M - 13	-732,723	1293,9498
N - 14	-1940,999	1351,2353



### Posición 5

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:

Puntos	X	Y
A - 1	-2508,7	-182,62
B - 2	-2994,27	367,6697
C - 3	-2761,691	459,338
D - 4	-2949,74	612,1
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2648,5263	582,3213
G - 7	-2029,651	1462,9819
H - 8	-1743,1319	1566,2697
I - 9	-1863,82	1253,952
J - 10	-735,592	866,6444
K - 11	0	0
L - 12	-602,715	1064,36
M - 13	-732,723	1293,9498
N - 14	-1940,999	1351,2353

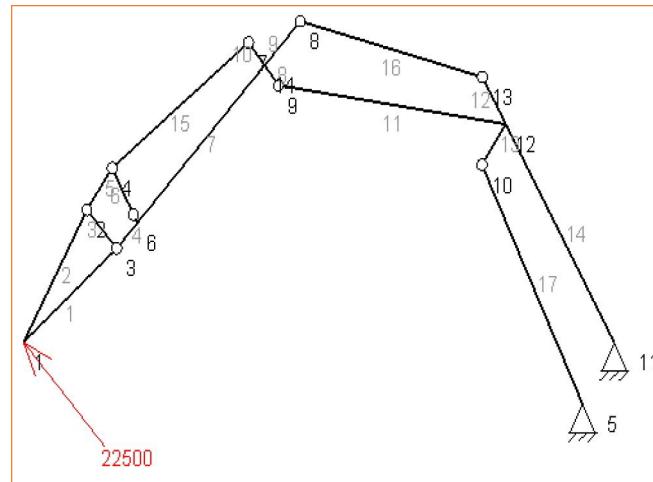


### Posición 6

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:



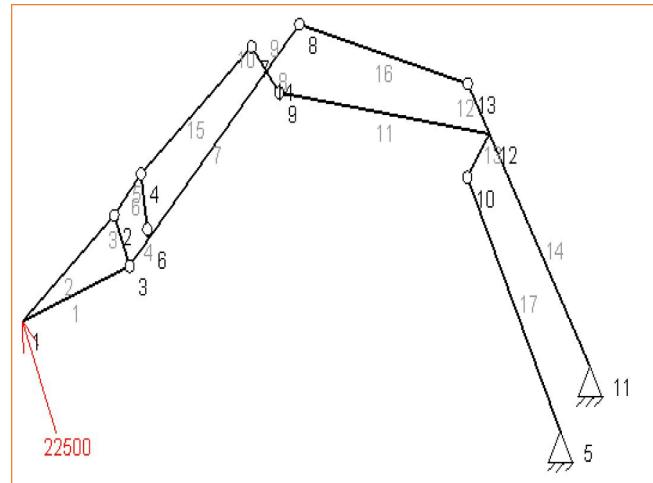
Puntos	X	Y
A - 1	-3278,4	2,04642
B - 2	-2927,38	646,54
C - 3	-2761,691	459,338
D - 4	-2786,94	851,5
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2648,5263	582,3213
G - 7	-2029,651	1462,9819
H - 8	-1743,1319	1566,2697
I - 9	-1863,82	1253,952
J - 10	-735,592	866,6444
K - 11	0	0
L - 12	-602,715	1064,36
M - 13	-732,723	1293,9498
N - 14	-1940,999	1351,2353



### Posición 7

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:

Puntos	X	Y
A - 1	-3403,65	206,35
B - 2	-2853,36	691,92
C - 3	-2761,691	459,338
D - 4	-2693,015	881,7149
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2648,5263	582,3213
G - 7	-2029,651	1462,9819
H - 8	-1743,1319	1566,2697
I - 9	-1863,82	1253,952
J - 10	-735,592	866,6444
K - 11	0	0
L - 12	-602,715	1064,36
M - 13	-732,723	1293,9498
N - 14	-1940,999	1351,2353

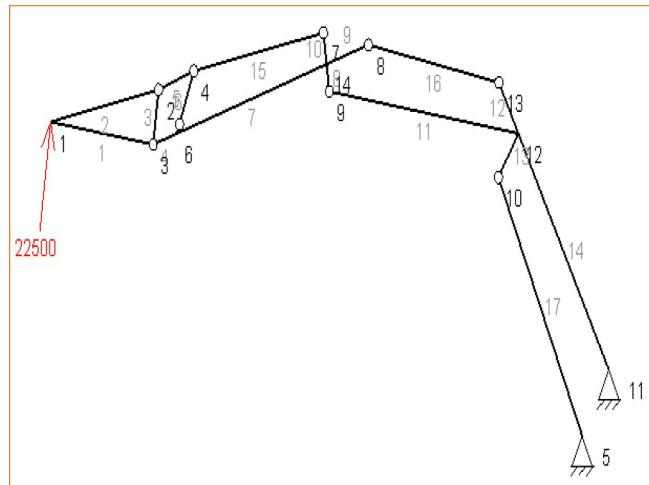


### Posición 8

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:



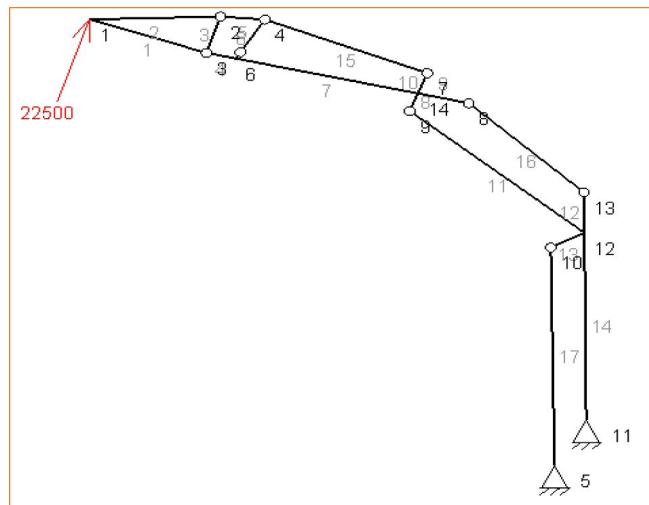
Puntos	X	Y
A - 1	-3721,15	1116,62
B - 2	-3001,8	1261,987
C - 3	-3038,71	1014,73
D - 4	-2768,042	1346,1819
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2879,211	1064,6552
G - 7	-1902,92	1517,9
H - 8	-1603,14	1464,01
I - 9	-1863,62	1253,952
J - 10	-735,592	866,6444
K - 11	0	0
L - 12	-602,715	1064,36
M - 13	-732,723	1293,9498
N - 14	-1882,02	1376,79



### Posición 9

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:

Puntos	X	Y
A - 1	-2778,614	2616,9778
B - 2	-2044,9527	2635,2272
C - 3	-2124,2311	2398,1359
D - 4	-1797,2312	2616,082
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-1961,1423	2361,624
G - 7	-889,03	2265,9922
H - 8	-656,321	2069,5037
I - 9	-987,141	2017,865
J - 10	-198,7191	1126,9923
K - 11	0	0
L - 12	10,214887	1223,1236
M - 13	12,4183	1486,9549
N - 14	-941,4797	2133,3443

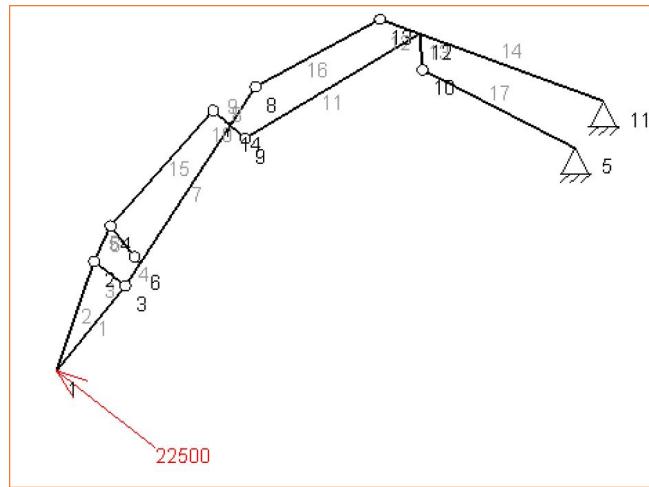


### Posición 10

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:



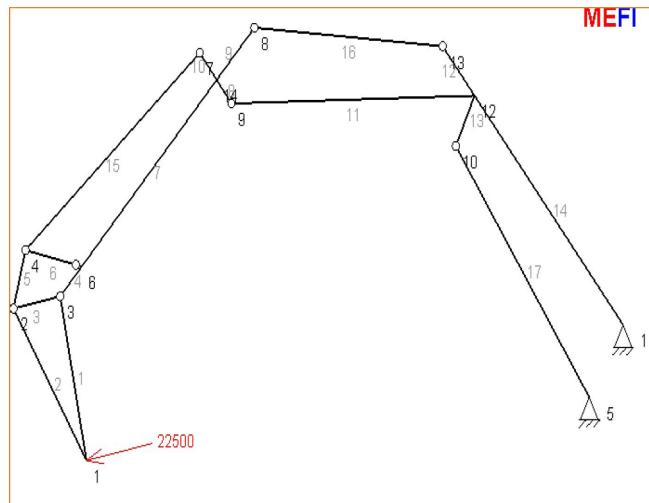
Puntos	X	Y
A - 1	-3409,4969	-1715,9846
B - 2	-3175,7185	-1020,3261
C - 3	-2980,04	-1175,91
D - 4	-3073	-794,0922
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2889,951	-1035,148
G - 7	-2433,4023	-60,4
H - 8	-2169,172	91,072
I - 9	-2233,795	-237,4584
J - 10	-1126,99	198,72
K - 11	0	0
L - 12	-1145,866	427,9318
M - 13	-1393,033	520,24
N - 14	-2326,6929	-155,055



### Posición 11

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:

Puntos	X	Y
A - 1	-2813,4526	-559,495
B - 2	-3196,088	66,75
C - 3	-2951,1217	116,639
D - 4	-3133,0264	307,074
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2837,957	239,62
G - 7	-2219,081	1120,2824
H - 8	-1932,5628	1223,57
I - 9	-2053,2523	911,2524
J - 10	-876,64	735,59
K - 11	0	0
L - 12	-778,3836	943,533
M - 13	-946,2832	1147,056
N - 14	-2130,43	1008,536

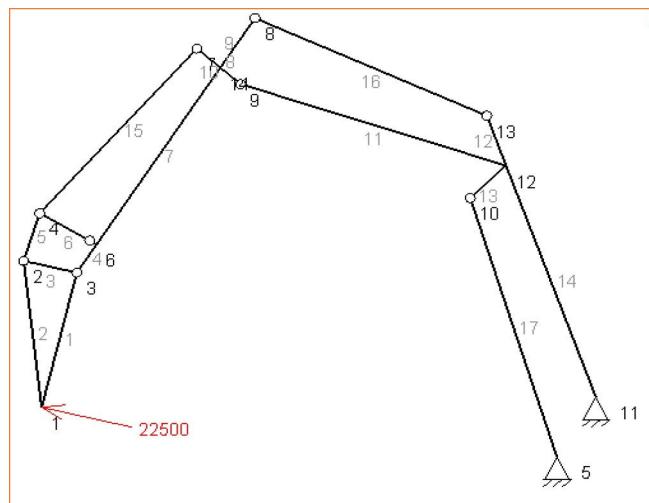


### Posición 12

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:



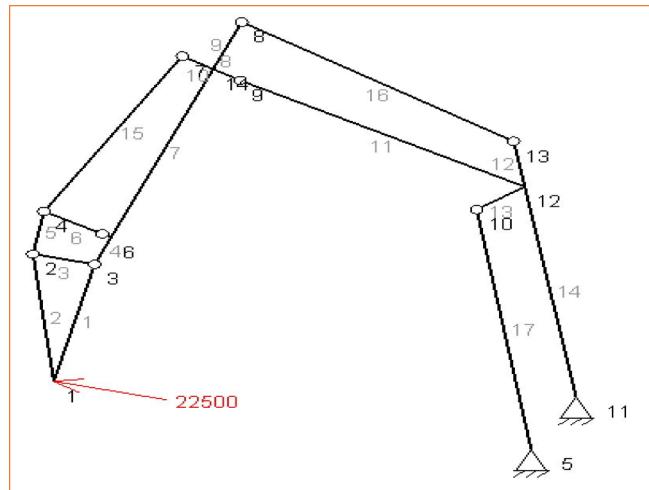
Puntos	X	Y
A - 1	-2524,9807	-50,871
B - 2	-2607,1035	678,41
C - 3	-2364	620,0957
D - 4	-2533,91	915,8426
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2273,9153	760,86
G - 7	-1817,3669	1735,6092
H - 8	-1553,1368	1887,08
I - 9	-1617,7593	1558,551
J - 10	-572,18898	991,06
K - 11	0	0
L - 12	-408,734	1152,8539
M - 13	-496,9	1401,5278
N - 14	-1710,6574	1640,954



### Posición 13

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:

Puntos	X	Y
A - 1	-2055,4657	91,045
B - 2	-2137,5885	820,3247
C - 3	-1894,4898	762,012
D - 4	-2093,89	1064,91
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-1830,21	916,28
G - 7	-1549,86	1955,5
H - 8	-1315,95	2150,5548
I - 9	-1322,54	1815,7939
J - 10	-391,4	1075,3635
K - 11	0	0
L - 12	-202,3335	1206,3154
M - 13	-245,9774	1466,521
N - 14	-1428,34	1880,814

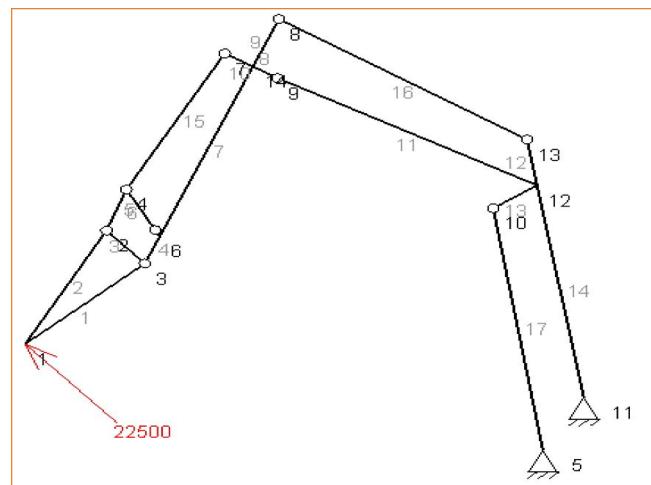


### Posición 14

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:



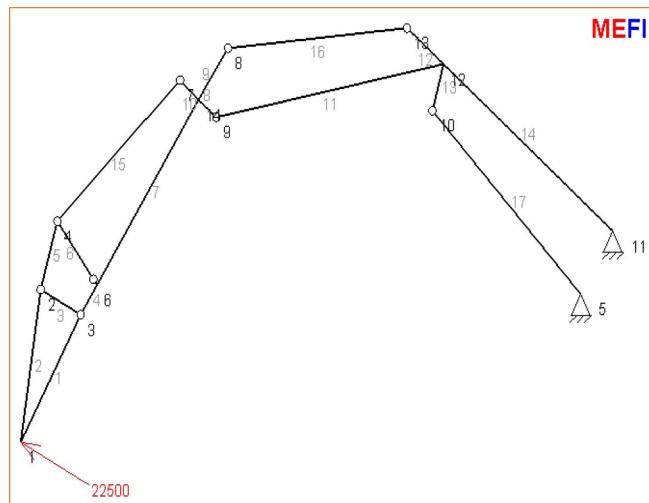
Puntos	X	Y
A - 1	-2411,2043	304,72
B - 2	-2060,178	949,2146
C - 3	-1894,4898	762,012
D - 4	-1974,4169	1182,4045
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-1830,21	916,28
G - 7	-1549,86	1955,5
H - 8	-1315,95	2150,5548
I - 9	-1322,54	1815,7939
J - 10	-391,4	1075,3635
K - 11	0	0
L - 12	-202,3335	1206,3154
M - 13	-245,9774	1466,521
N - 14	-1428,34	1880,814



### Posición 15

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:

Puntos	X	Y
A - 1	-3255,69	-1004,03
B - 2	-3146,2644	-278,3457
C - 3	-2926,542	-397,59
D - 4	-3054,89	-47,2984
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2836,452	-256,8247
G - 7	-2379,9	717,9233
H - 8	-2115,67	869,3954
I - 9	-2180,296	540,8649
J - 10	-991,06	572,189
K - 11	0	0
L - 12	-930,4	794,033
M - 13	-1131,091	965,31
N - 14	-2279,1942	623,2686

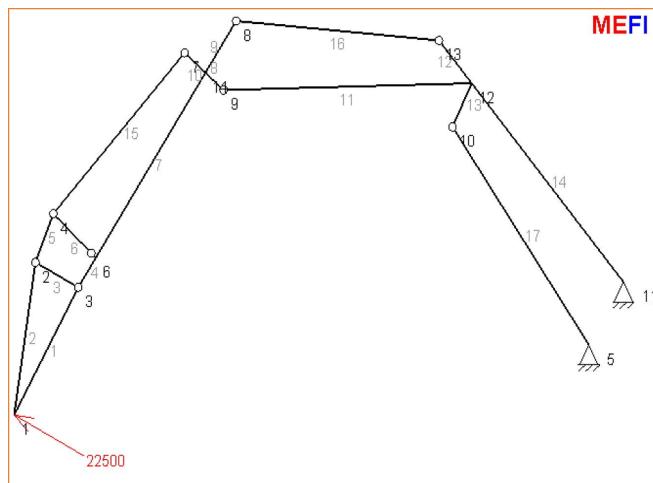


### Posición 16

Las cotas, en milímetros, respecto del punto 11, de cada uno de los puntos para esta posición son las siguientes:



Puntos	X	Y
A - 1	-3128,65	-633,64
B - 2	-3019,22	92,0418
C - 3	-2799,4978	-27,2
D - 4	-2927,84	323,089
E - 5	-176,97	-299,25
F - 6	-2709,408	113,562
G - 7	-2252,859	1088,3108
H - 8	-1988,63	1239,78
I - 9	-2053,25	911,2524
J - 10	-876,644	735,59
K - 11	0	0
L - 12	-778,383	943,533
M - 13	-946,2832	1147,055
N - 14	-2146,15	993,656





### 3. Cálculo de los esfuerzos

En este apartado se va a tratar de calcular los esfuerzos a los que están sometidas las barras de la estructura que forma la mini excavadora. Como ya se ha comentado anteriormente, estos esfuerzos se van a obtener a través de dos métodos distintos. De esta forma, podremos comprobar de una forma más veraz si se han obtenido de forma correcta o no.

#### 3.1 Cálculo de los esfuerzos mediante MEFI

Los pasos que se han seguido para obtener los esfuerzos usando el programa MEFI han sido los siguientes:

- Obtención de las coordenadas relativas de cada punto respecto el punto origen, que en nuestro caso es el punto "K".
- En el programa MEFI, se introducen estos datos, para posteriormente definir las barras de la estructura. Una vez se conocen las barras, se define el tipo de unión que tiene cada barra.
- Teniendo la estructura correctamente definida, se introduce la fuerza en el extremo del cazo (punto "A") con el ángulo correcto para cada posición. El valor absoluto o módulo de la fuerza para cada posición va a ser el mismo para todas las posiciones, 22.500 N.

Los resultados del axil, cortante, momento flector al inicio de la barra y al final de esta; son los siguientes:

Posición 1		Posición 2							
Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin	Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	1,62E+02	-1,12E+02		1	6,21E+04	2,20E+02	-1,52E+02	
2	-6,60E+04	-1,52E+02	1,12E+02		2	-6,60E+04	-2,07E+02	1,52E+02	
3	3,10E+04				3	4,89E+04			
4	6,95E+04	1,53E+03		2,57E+02	4	7,78E+04	-1,48E+04		-2,47E+03
5	-6,27E+04				5	-6,76E+04			
6	2,81E+04				6	4,25E+04			
7	7,29E+04	2,95E+04	2,57E+02	3,11E+04	7	9,64E+04	2,34E+04	-2,47E+03	2,20E+04
8	6,88E+04	-1,55E+05		-1,92E+04	8	5,23E+04	-1,33E+05		-1,65E+04
9	-1,32E+05	-7,17E+04		-2,10E+04	9	-1,06E+05	-5,76E+04		-1,68E+04
10	8,22E+02	6,39E+04		9,12E+03	10	3,79E+03	7,98E+04		1,14E+04
11	1,68E+05	2,07E+04		2,64E+04	11	1,43E+05	1,11E+04		1,42E+04
12	-9,80E+04	1,14E+05		3,02E+04	12	-7,87E+04	9,19E+04		2,42E+04
13	7,90E+04	-1,28E+05		-2,95E+04	13	3,44E+04	-5,57E+04		-1,28E+04
14	-1,28E+05	-2,21E+04		-2,71E+04	14	-4,71E+04	-2,09E+04		-2,56E+04
15	-6,39E+04				15	-7,99E+04			
16	-1,51E+05				16	-1,21E+05			
17	1,51E+05				17	6,55E+04			



<b>Posición 3</b>				
Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	1,47E+02	-1,01E+02	
2	-6,60E+04	-1,38E+02	1,01E+02	
3	2,63E+04			
4	6,73E+04	4,64E+03		7,76E+02
5	-6,22E+04			
6	2,58E+04			
7	6,82E+04	3,04E+04	7,76E+02	3,25E+04
8	1,05E+05	-1,02E+05		-1,27E+04
9	-7,71E+04	-9,80E+04		-2,86E+04
10	4,49E+02	6,15E+04		8,77E+03
11	1,44E+05	2,23E+04		2,84E+04
12	-8,65E+04	8,97E+04		2,37E+04
13	6,23E+04	-1,01E+05		-2,32E+04
14	-9,79E+04	-2,36E+04		-2,88E+04
15	-6,15E+04			
16	-1,25E+05			
17	1,19E+05			

<b>Posición 4</b>				
Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	2,20E+02	-1,52E+02	
2	-6,60E+04	-2,07E+02	1,52E+02	
3	4,89E+04			
4	7,78E+04	-1,48E+04		-2,47E+03
5	-6,76E+04			
6	4,25E+04			
7	9,64E+04	2,34E+04	-2,47E+03	2,20E+04
8	8,67E+04	-7,45E+04		-9,25E+03
9	-4,30E+04	-8,26E+04		-2,41E+04
10	3,79E+03	7,98E+04		1,14E+04
11	1,14E+05	4,75E+03		6,05E+03
12	-6,54E+04	6,63E+04		1,75E+04
13	-3,14E+03	5,33E+03		1,27E+03
14	1,50E+04	-2,03E+04		-2,48E+04
15	-7,99E+04			
16	-9,31E+04			
17	-6,19E+03			

<b>Posición 5</b>				
Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	2,59E+02	-1,79E+02	
2	-6,60E+04	-2,44E+02	1,79E+02	
3	6,08E+04			
4	8,20E+04	-2,92E+04		-4,89E+03
5	-7,31E+04			
6	5,87E+04			
7	1,17E+05	1,77E+04	-4,89E+03	1,36E+04
8	6,63E+04	-6,57E+04		-8,16E+03
9	-3,44E+04	-6,59E+04		-1,93E+04
10	7,37E+03	9,71E+04		1,39E+04
11	9,33E+04	-2,81E+03		-3,59E+03
12	-5,22E+04	5,29E+04		1,40E+04
13	-2,96E+04	5,03E+04		1,20E+04
14	6,14E+04	-1,83E+04		-2,24E+04
15	-9,74E+04			
16	-7,43E+04			
17	-5,84E+04			

<b>Posición 6</b>				
Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	8,32E+01	-5,74E+01	
2	-6,60E+04	-7,82E+01	5,74E+01	
3	6,85E+03			
4	6,11E+04	1,33E+04		2,21E+03
5	-6,40E+04			
6	1,87E+04			
7	5,46E+04	3,08E+04	2,21E+03	3,44E+04
8	1,25E+05	-7,71E+04		-9,58E+03
9	-5,90E+04	-1,13E+05		-3,31E+04
10	4,96E+02	5,75E+04		8,21E+03
11	1,44E+05	2,90E+04		3,69E+04
12	-8,96E+04	9,09E+04		2,40E+04
13	9,70E+04	-1,65E+05		-3,92E+04
14	-1,69E+05	-1,77E+04		-2,17E+04
15	-5,75E+04			
16	-1,28E+05			
17	1,91E+05			



Posición 7				
Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	2,51E+01	-1,73E+01	
2	-6,60E+04	-2,36E+01	1,73E+01	
3	-1,10E+04			
4	6,06E+04	1,73E+04		2,88E+03
5	-7,05E+04			
6	1,25E+04			
7	5,28E+04	2,70E+04	2,88E+03	3,11E+04
8	1,20E+05	-6,65E+04		-8,25E+03
9	-5,68E+04	-1,09E+05		-3,18E+04
10	3,08E+03	6,29E+04		8,97E+03
11	1,33E+05	3,34E+04		4,26E+04
12	-8,62E+04	8,74E+04		2,31E+04
13	1,22E+05	-2,07E+05		-4,94E+04
14	-2,18E+05	-1,33E+04		-1,63E+04
15	-6,30E+04			
16	-1,23E+05			
17	2,41E+05			

Posición 8				
Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	2,51E+01	-1,73E+01	
2	-6,60E+04	-2,36E+01	1,73E+01	
3	-1,10E+04			
4	6,06E+04	1,73E+04		2,88E+03
5	-7,05E+04			
6	1,25E+04			
7	5,28E+04	2,70E+04	2,88E+03	3,11E+04
8	7,50E+04	-1,44E+05		-1,79E+04
9	-1,40E+05	-7,60E+04		-2,22E+04
10	3,08E+03	6,29E+04		8,97E+03
11	1,59E+05	2,95E+04		3,76E+04
12	-1,04E+05	1,21E+05		3,20E+04
13	1,52E+05	-2,58E+05		-6,15E+04
14	-2,81E+05	-6,62E+03		-8,10E+03
15	-6,30E+04			
16	-1,60E+05			
17	2,99E+05			

Posición 9				
Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	8,32E+01	-5,74E+01	
2	-6,60E+04	-7,82E+01	5,74E+01	
3	6,85E+03			
4	6,11E+04	1,33E+04		2,21E+03
5	-6,40E+04			
6	1,87E+04			
7	5,46E+04	3,08E+04	2,21E+03	3,44E+04
8	7,98E+04	-1,54E+05		-1,91E+04
9	-1,42E+05	-8,05E+04		-2,35E+04
10	4,96E+02	5,75E+04		8,21E+03
11	1,71E+05	2,96E+04		3,73E+04
12	-1,11E+05	1,20E+05		3,17E+04
13	1,89E+05	-3,86E+05		-8,16E+04
14	-4,08E+05	1,03E+04		1,26E+04
15	-5,75E+04			
16	-1,63E+05			
17	4,30E+05			

Posición 10				
Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	8,32E+01	-5,74E+01	0
2	-6,60E+04	-7,82E+01	5,74E+01	0
3	6,85E+03			
4	6,11E+04	1,33E+04		2,21E+03
5	-6,40E+04			0
6	1,87E+04			
7	5,46E+04	3,08E+04	2,21E+03	3,44E+04
8	7,78E+04	-1,58E+05		-1,96E+04
9	-1,46E+05	-7,90E+04		-2,31E+04
10	4,96E+02	5,75E+04		8,21E+03
11	1,73E+05	2,84E+04		3,62E+04
12	-1,08E+05	1,26E+05		3,32E+04
13	1,20E+05	-1,90E+05		-4,36E+04
14	-2,01E+05	-2,11E+04		-2,58E+04
15	-5,75E+04			
16	-1,66E+05			
17	2,25E+05			



Posición Barras	11			
	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	2,33E+02	-1,61E+02	0
2	-6,60E+04	-2,19E+02	1,61E+02	0
3	5,28E+04			
4	7,94E+04	-1,92E+04		-3,21E+03
5	-6,92E+04			0
6	4,71E+04			
7	1,03E+05	2,16E+04	-3,21E+03	1,94E+04
8	7,17E+04	-8,64E+04		-1,07E+04
9	-5,59E+04	-7,11E+04		-2,08E+04
10	4,80E+03	8,48E+04		1,21E+04
11	1,12E+05	5,35E+03		6,82E+03
12	-6,28E+04	6,51E+04		1,72E+04
13	-4,80E+02	8,10E+02		1,86E+02
14	1,15E+04	-1,98E+04		-2,42E+04
15	-8,49E+04			
16	-9,05E+04			
17	-9,42E+02			

Posición Barras	12			
	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	1,47E+02	-1,01E+02	0
2	-6,60E+04	-1,38E+02	1,01E+02	0
3	2,63E+04			
4	6,73E+04	4,64E+03		7,76E+02
5	-6,22E+04			0
6	2,58E+04			
7	6,82E+04	3,04E+04	7,76E+02	3,25E+04
8	1,37E+05	-4,63E+04		-5,75E+03
9	-1,69E+04	-1,22E+05		-3,55E+04
10	4,49E+02	6,15E+04		8,77E+03
11	1,45E+05	1,11E+04		1,42E+04
12	-8,56E+04	8,80E+04		2,32E+04
13	2,60E+04	-4,95E+04		-1,14E+04
14	-4,36E+04	-2,13E+04		-2,61E+04
15	-6,15E+04			
16	-1,23E+05			
17	5,59E+04			

Posición Barras	13			
	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	1,22E+02	-8,41E+01	0
2	-6,60E+04	-1,15E+02	8,41E+01	0
3	1,87E+04			
4	6,43E+04	8,76E+03		1,46E+03
5	-6,22E+04			0
6	2,26E+04			
7	6,16E+04	3,12E+04	1,46E+03	3,41E+04
8	1,67E+05	-4,40E+03		-5,46E+02
9	2,52E+04	-1,43E+05		-4,19E+04
10	1,60E+02	5,88E+04		8,38E+03
11	1,67E+05	4,41E+03		5,63E+03
12	-9,76E+04	1,08E+05		2,85E+04
13	1,74E+04	-3,58E+04		-8,24E+03
14	-3,10E+04	-2,12E+04		-2,59E+04
15	-5,88E+04			
16	-1,46E+05			
17	3,98E+04			

Posición Barras	14			
	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin
1	6,21E+04	2,51E+01	-1,73E+01	0
2	-6,60E+04	-2,36E+01	1,73E+01	0
3	-1,10E+04			
4	6,07E+04	1,73E+04		2,88E+03
5	-7,05E+04			0
6	1,25E+04			
7	5,28E+04	2,70E+04	2,88E+03	3,11E+04
8	1,65E+05	9,08E+03		1,13E+03
9	2,48E+04	-1,41E+05		-4,12E+04
10	3,08E+03	6,29E+04		8,97E+03
11	1,64E+05	1,78E+04		2,26E+04
12	-9,60E+04	1,06E+05		2,80E+04
13	7,11E+04	-1,47E+05		-3,38E+04
14	-1,44E+05	-1,38E+04		-1,69E+04
15	-6,30E+04			
16	-1,43E+05			
17	1,63E+05			



Posición 15				Posición 16					
Barras	Axil	Cortante	Flector Ini	Flector Fin					
1	6,21E+04	8,79E+01	-6,06E+01	0	1	6,21E+04	1,09E+02	-7,54E+01	0
2	-6,60E+04	-8,26E+01	6,06E+01	0	2	-6,60E+04	-1,03E+02	7,54E+01	0
3	8,28E+03				3	1,49E+04			
4	6,25E+04	3,88E+03		6,48E+02	4	6,30E+04	1,05E+04		1,75E+03
5	-6,37E+04			0	5	-6,26E+04			0
6	3,18E+04				6	2,12E+04			
7	5,06E+04	3,37E+04	6,48E+02	3,57E+04	7	5,89E+04	3,13E+04	1,75E+03	3,45E+04
8	1,14E+05	-9,78E+04		-1,26E+04	8	1,24E+05	-8,03E+04		-9,97E+03
9	-8,29E+04	-1,02E+05		-3,01E+04	9	-5,84E+04	-1,12E+05		-3,28E+04
10	-1,72E+03	5,04E+04		6,96E+03	10	1,61E+02	5,80E+04		8,27E+03
11	1,48E+05	2,79E+04		3,56E+04	11	1,45E+05	2,56E+04		3,27E+04
12	-9,11E+04	9,45E+04		2,49E+04	12	-8,88E+04	9,00E+04		2,37E+04
13	8,62E+04	-1,40E+05		-3,22E+04	13	7,48E+04	-1,26E+05		-2,90E+04
14	-1,41E+05	-2,32E+04		-2,84E+04	14	-1,25E+05	-2,24E+04		-2,74E+04
15	-5,04E+04				15	-5,80E+04			
16	-1,31E+05				16	-1,26E+05			
17	1,64E+05				17	1,47E+05			

### 3.2 Cálculo de los esfuerzos mediante las ecuaciones de sólido libre

Para poder obtener los esfuerzos mediante el planteamiento de las ecuaciones, debemos tratar a cada elemento como un sólido libre. Para cada una de las 16 posiciones, debemos plantear las 3 ecuaciones del movimiento en cada uno de los distintos elementos. Así, podremos obtener los esfuerzos a los que están sometidos cada uno de estos elementos.

Los pasos a seguir serían los siguientes:

- Modelizar todo el entramado de barras en elementos a los que poderles aplicar 3 ecuaciones de los sólidos libres que se encuentran en equilibrio:
  - Sumatorio de fuerzas en el eje X igual a cero.
  - Sumatorio de fuerzas en el eje Y igual a cero.
  - Sumatorio de momentos igual a cero.
- El siguiente paso es estudiar a que fuerzas se encuentran sometidos cada uno de estos elementos. El número de fuerzas a los que van a estar sometidos en cada posición va a ser el mismo, pero no así la dirección y sentido de cada una de estas fuerzas.

Vamos a realizar, a modo de ejemplo, el estudio de la posición 1, planteando las ecuaciones. Del resto de posiciones se presentaran los resultados más adelante.



### 3.2.1 Diagramas de Sólido Libre (DSL) de las barras y planteamiento de las ecuaciones de equilibrio

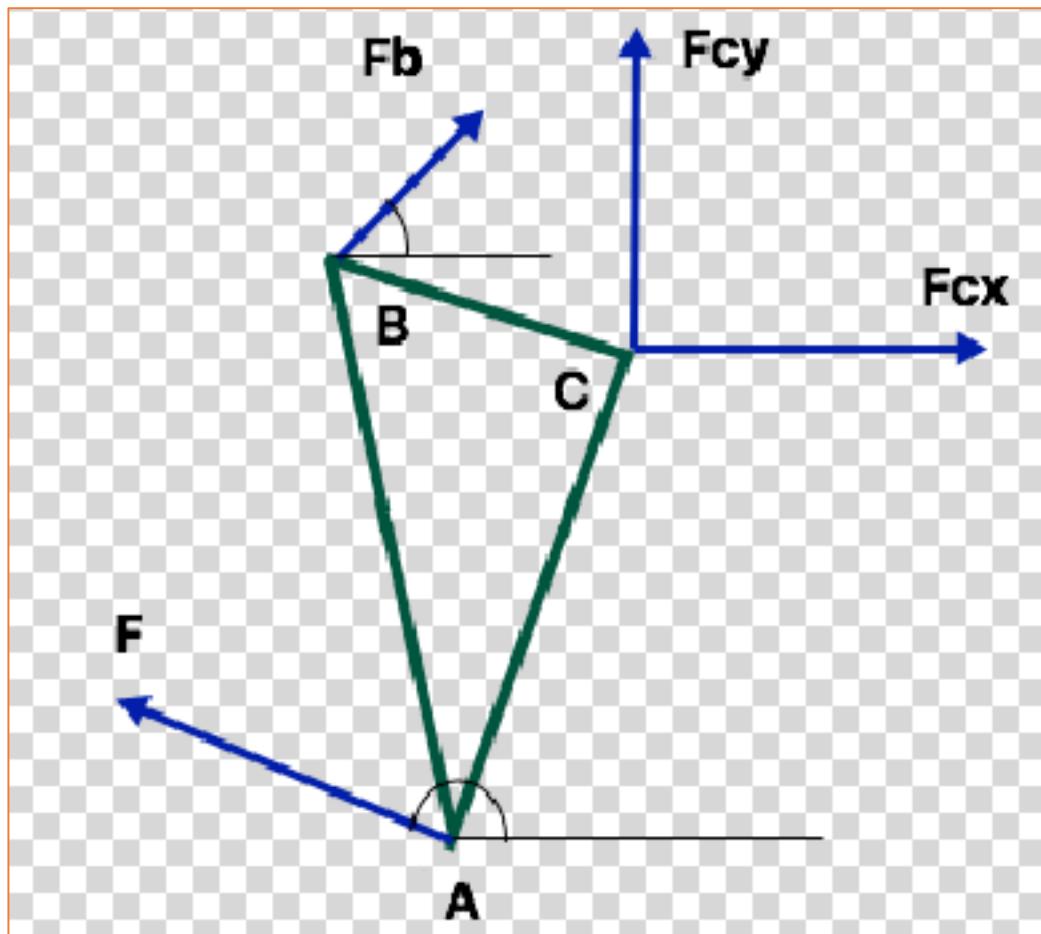
Debido a que los cilindros de la estructura solo pueden realizar esfuerzos axiles, se han simplificado como fuerzas en la dirección del cilindro. Por ello:

- El cilindro que mueve el cazo de la mini excavadora, ha pasado a llamarse F1 en los esquemas.
- El cilindro que mueve el balancín de la mini excavadora, se llama ahora F2.
- El cilindro que mueve la pluma, se llama F3

### Modelado de los elementos

El modelado de cada uno de los elementos quedaría de la siguiente forma:

#### Cazo

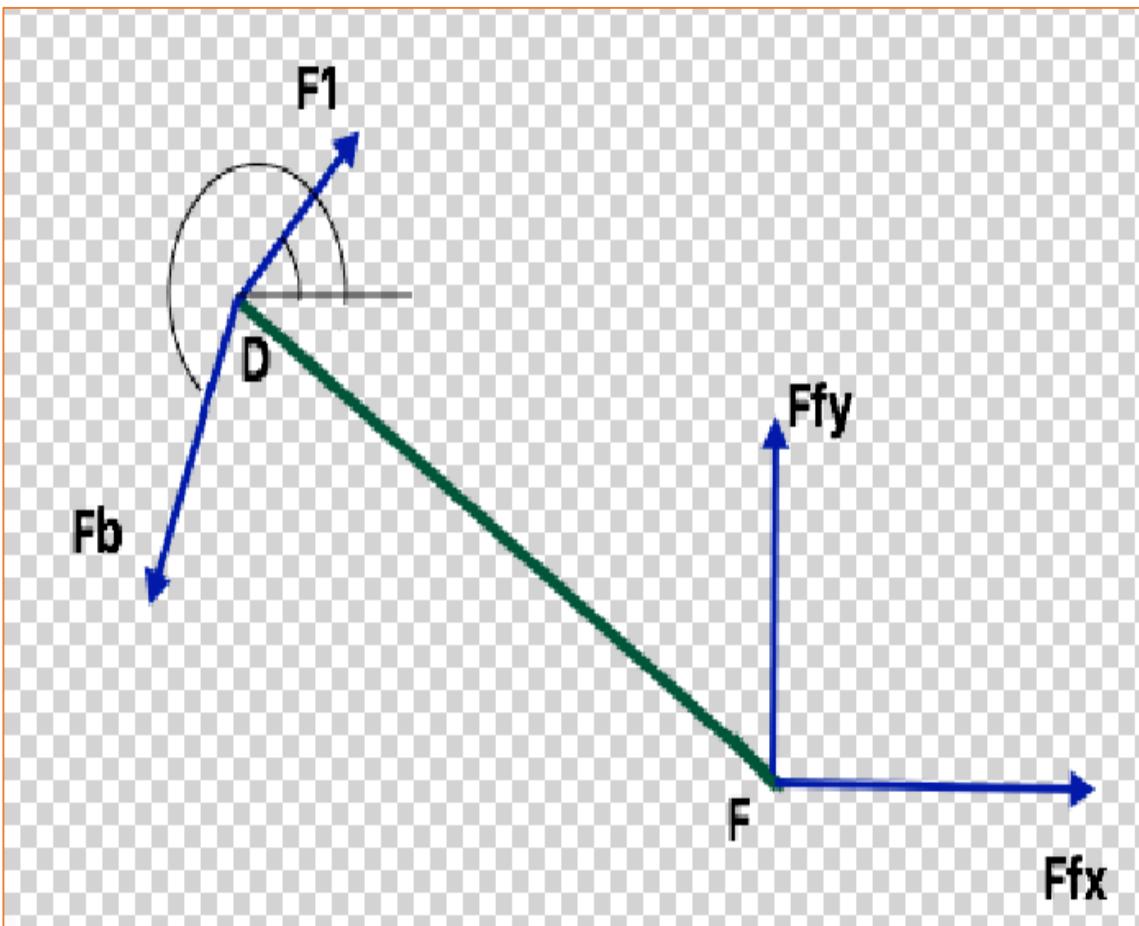


- El ángulo que forma F con la horizontal lo llamamos  $\alpha_1$



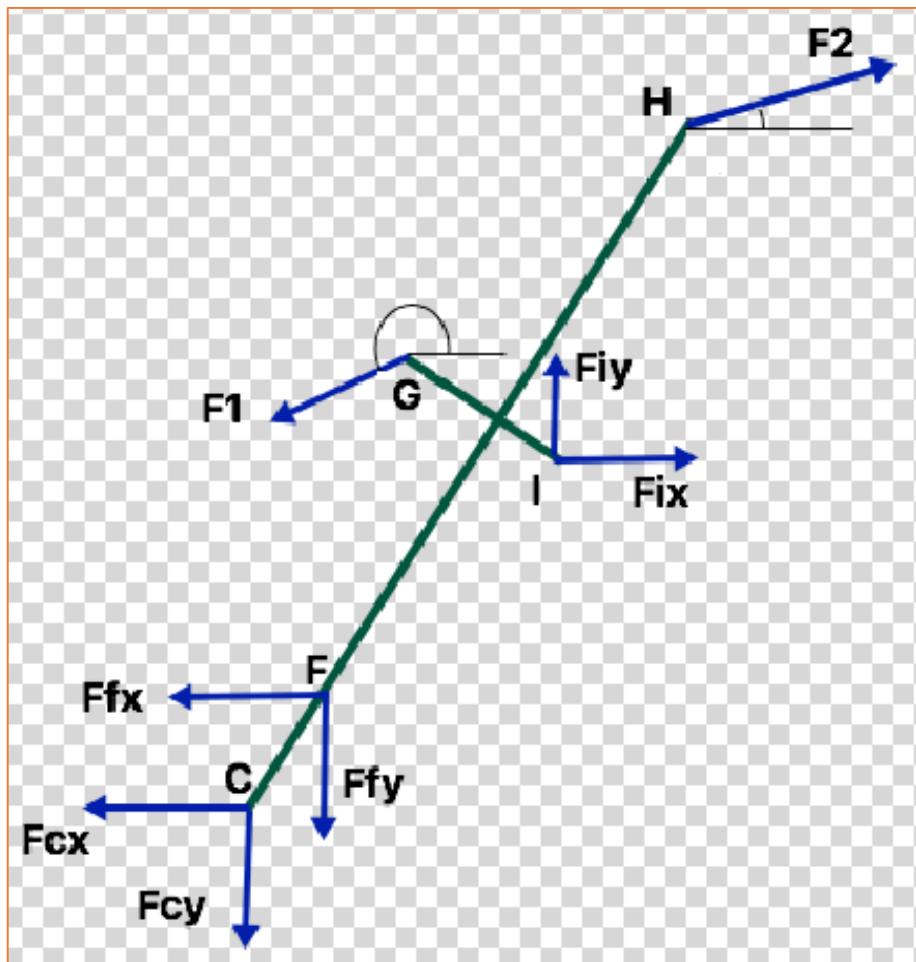
- El ángulo que forma  $F_b$  con la horizontal lo llamamos  $\alpha_2$

### Barra D-F



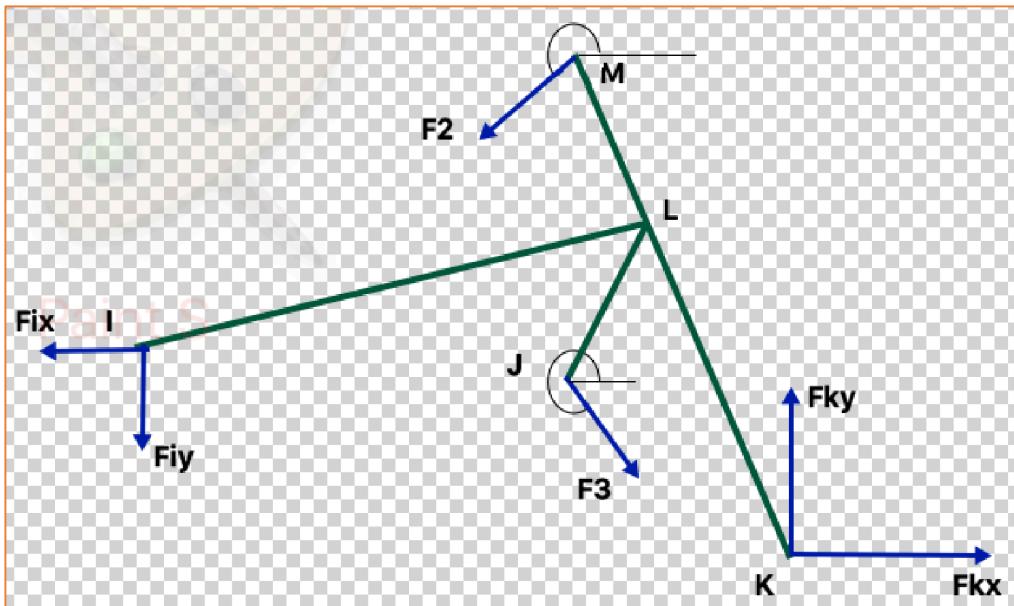
- El ángulo que forma  $F_b$  con la horizontal es el mismo que  $\alpha_2 + 180^\circ$
- El ángulo que forma  $F_1$  con la horizontal lo llamamos  $\alpha_3$

### Balancín



- El ángulo que forma  $F_1$  con la horizontal es el mismo que  $\alpha_3 + 180^\circ$
- El ángulo que forma  $F_2$  con la horizontal lo llamamos  $\alpha_4$

### Pluma





- El ángulo que forma F2 con la horizontal es  $\alpha_4 + 180^\circ$
- El ángulo que forma F3 con la horizontal lo llamamos  $\alpha_5$

## **Ecuaciones**

Una vez sabemos las fuerzas que actúan en cada uno de nuestros elementos, hay que plantear las ecuaciones:

### **Planteamiento de las ecuaciones necesarias para el cazo:**

$$\Sigma F_x = F * \cos(\alpha_1) + F_B * \cos(\alpha_2) + F_{Cx} = 0$$

$$\Sigma F_y = F * \sin(\alpha_1) + F_B * \sin(\alpha_2) + F_{Cy} = 0$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_C = & F * \cos(\alpha_1) * L_{CAy} - F * \sin(\alpha_1) * L_{CAx} - F_B * \cos(\alpha_2) * L_{CBy} - F_B \\ & * \sin(\alpha_2) * L_{CBx} = 0\end{aligned}$$

### **Planteamiento de las ecuaciones necesarias para la barra D-F:**

$$\Sigma F_x = F_1 * \cos(\alpha_3) + F_B * \cos(\alpha_2 + 180) + F_{Fx} = 0$$

$$\Sigma F_y = F_1 * \sin(\alpha_3) + F_B * \sin(\alpha_2 + 180) + F_{Fy} = 0$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_F = & -F_1 * \cos(\alpha_3) * L_{FDy} * -F_B \\ & * \cos(\alpha_2 + 180) * L_{FDy} - F_1 * \sin(\alpha_3) * L_{FDx} * -F_B \\ & * \sin(\alpha_2 + 180) * L_{FDx} = 0\end{aligned}$$

### **Planteamiento de las ecuaciones necesarias para el balancín:**

$$\Sigma F_x = F_2 * \cos(\alpha_4) + F_1 * \cos(\alpha_3 + 180) + F_{Ix} - F_{Fx} - F_{Cx} = 0$$

$$\Sigma F_y = F_2 * \sin(\alpha_4) + F_1 * \sin(\alpha_3 + 180) + F_{Iy} - F_{Fy} - F_{Cy} = 0$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_I = & -F_2 * \cos(\alpha_4) * L_{IHy} - F_1 * \cos(\alpha_3 + 180) * L_{IGy} - F_{Fx} * L_{IFy} \\ & - F_{Cx} * L_{ICy} + F_2 * \sin(\alpha_4) * L_{IHx} - F_1 \\ & * \sin(\alpha_3 + 180) * L_{IGx} + F_{Fy} * L_{IFx} + F_{Cy} * L_{ICx} = 0\end{aligned}$$

### **Planteamiento de las ecuaciones necesarias para la pluma:**

$$\Sigma F_x = F_2 * \cos(\alpha_4 + 180) + F_3 * \cos(\alpha_5) + F_{Kx} - F_{Ix} = 0$$

$$\Sigma F_y = F_2 * \sin(\alpha_4 + 180) + F_3 * \sin(\alpha_5) + F_{Ky} - F_{Iy} = 0$$



$$\begin{aligned}\Sigma M_K = -F_2 * \cos(\alpha_4 + 180) * L_{KMy} - F_3 * \cos(\alpha_5) * L_{KJy} + F_{Ix} * L_{KIy} - F_2 \\ * \sin(\alpha_4 + 180) * L_{KMx} - F_3 * \sin(\alpha_5) * L_{KJx} + F_{Iy} * L_{KIx} = 0\end{aligned}$$

## **Datos necesarios para poder resolver el sistema de ecuaciones**

Para poder resolver las incógnitas de las ecuaciones, es necesario obtener el valor de las medidas que hay entre puntos para introducir los valores en las ecuaciones de los momentos. Estas medidas se obtienen en el boceto realizado en SolidWorks para cada una de las posiciones.

Medidas (mm)	X	Y	Posición
LCA	316,06	613,37	1
LCB	222,23	114,5	
LFD	211,9	216,13	
LCI	1022,21	626,63	
LFI	889,41	525,16	
LGI	127,01	234,65	
LHI	173,09	286,62	
LKJ	991,06	572,19	
LKI	2180,3	540,86	
LKM	1131,09	965,31	

Otras variables que se deben obtener son el valor de cada uno de los ángulos. Estas también se miden directamente del boceto de SolidWorks realizado para cada posición.

- $\alpha_1 = 152,7^\circ$
- $\alpha_2 = 54,83^\circ$
- $\alpha_3 = 209,2^\circ$
- $\alpha_4 = 8,94^\circ$
- $\alpha_5 = 313,1^\circ$

Por último, también necesitamos el valor del módulo de la fuerza, el cual es 22.500 Newtons.

## **Resultados obtenidos**

Para resolver las ecuaciones se ha usado el programa Engineering Equation Solver. Los resultados obtenidos de las incógnitas han sido los siguientes:



Incógnitas	Valor (N)	Incógnitas	Valor (N)
<b>F<sub>b</sub></b>	-62700	<b>Fix</b>	168793
<b>F<sub>cx</sub></b>	56116	<b>F<sub>iy</sub></b>	13101
<b>F<sub>cy</sub></b>	40948	<b>F<sub>2</sub></b>	-150621
<b>F<sub>1</sub></b>	-63928	<b>F<sub>3</sub></b>	150611
<b>F<sub>fx</sub></b>	19711	<b>F<sub>kx</sub></b>	-82811
<b>F<subfy< sub=""></subfy<></b>	-20104	<b>F<subky< sub=""></subky<></b>	99754

### 3.3 Validación de los resultados

El haber realizado la obtención de los esfuerzos por dos métodos diferentes, nos permite conocer si hemos resuelto el modelo de forma correcta. En este apartado, vamos a comparar los esfuerzos obtenidos en los cilindros de la mini excavadora.

- El cilindro 1 corresponde al que realiza el movimiento del cazo
- El cilindro 2 corresponde al que realiza el movimiento del balancín
- El cilindro 3 corresponde al que realiza el movimiento de la pluma

En la siguiente tabla vamos a recoger las fuerzas, en Newtons, a las que están sometidos cada uno de los cilindros según el método de resolución.



Posición	Método	C 1	C 2	C 3
1	EES	63928	150621	150611
	MEFI	63928	150620	150610
2	EES	79901	120985	65467
	MEFI	79898	120980	65460
3	EES	61468	124651	118682
	MEFI	61468	124640	118660
4	EES	79901	93106	6215
	MEFI	79898	93098	6190
5	EES	97423	74354	58532
	MEFI	97416	74337	58407
6	EES	57531	127647	191480
	MEFI	57531	127650	191090
7	EES	62967	122750	241210
	MEFI	62965	122760	240730
8	EES	62965	159505	300115
	MEFI	62965	159620	299470
9	EES	57531	165872	414460
	MEFI	57531	163320	429530
10	EES	57238	164783	223776
	MEFI	57531	165870	224550
11	EES	84942	90469	913,2
	MEFI	84942	90464	941
12	EES	61468	122827	55966
	MEFI	61466	122810	55931
13	EES	58757	145602	39814
	MEFI	58756	145600	39807
14	EES	62966	143105	163305
	MEFI	62964	143140	163190
15	EES	57959	131230	163949
	MEFI	50385	131250	164260
16	EES	57959	126407	146680
	MEFI	57958	126420	146740

Una vez conocemos los esfuerzos obtenidos para cada cilindro en cada una de las posiciones y por cada uno de los dos métodos, vamos a hacer una relación entre los dos para observar las posibles variaciones.



Posición	Relación EES/MEFI
1	1,000004426
2	1,000061938
3	1,000091219
4	1,001387417
5	1,000813566
6	1,000672474
7	1,00064808
8	1,000477781
9	0,993513635
10	0,994968958
11	0,990170744
12	1,000265578
13	1,000068868
14	1,000163983
15	1,049425599
16	0,999835179

Como conclusión, podemos decir que la variación media obtenida en cada posición es de 1,00203559, medida en tanto por uno. Por lo tanto, podemos concluir diciendo que se han obtenido de forma correcta los esfuerzos mediante ambos métodos, ya que la variación de los resultados obtenidos por las dos formas es ínfima.

## Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una excavadora con cadenas para una fuerza de excavación del cazo de 22.5 KN

### **ANEXO 2. DIMENSIONAMIENTO Y ELECCIÓN DE LOS CILINDROS**

Autor/es

Eduardo Peñarrubia Castro

Director/es

Javier Óscar Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza.

2017/2018



## Índice Anexo 2

<b>1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2.</b>	<b>Resumen de las fuerzas necesarias en los cilindros .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>3.</b>	<b>Dimensionamiento de los cilindros .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>3.1</b>	<b>Dimensionamiento del cilindro del cazo .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>3.2</b>	<b>Dimensionamiento del cilindro del balancín.....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>3.3</b>	<b>Dimensionamiento del cilindro de la pluma .....</b>	<b>- 6 -</b>
<b>4.</b>	<b>Selección de los cilindros necesarios .....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>4.1</b>	<b>Selección del cilindro del cazo .....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>4.2</b>	<b>Selección del cilindro del balancín.....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>4.3</b>	<b>Selección del cilindro de la pluma .....</b>	<b>- 10 -</b>



## 1. Introducción

En este anexo se va a tratar el dimensionamiento de los cilindros. Como ya tenemos calculadas las fuerzas que soportan cada uno de los cilindros en cada una de las posiciones, el dimensionamiento es una tarea sencilla gracias a la fórmula:

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área del cilindro}}$$

## 2. Resumen de las fuerzas necesarias en los cilindros

Las fuerzas, medidas en Newtons, obtenidas en cada uno de los cilindros para cada una de las posiciones mediante el programa MEF1 son las siguientes:

Posiciones	Fuerza Cilindro Cazo	Fuerza Cilindro Balancín	Fuerza Cilindro Pluma
1	63928	150620	150610
2	79898	120980	65460
3	61468	124640	118660
4	79898	93098	6190
5	97416	74337	58407
6	57531	127650	191090
7	62965	122760	240730
8	62965	159620	299470
9	57531	163320	429530
10	57531	165870	224550
11	84942	90464	941
12	61466	122810	55931
13	58756	145600	39807
14	62964	143140	163190
15	50385	131250	164260
16	57958	126420	146740



### 3. Dimensionamiento de los cilindros

En este apartado vamos a realizar el dimensionamiento de cada uno de los cilindros de la máquina.

Algo que vamos a intentar es elegir unos cilindros que tengan unas medidas estándar. De esta forma, a la hora de producir en serie la máquina, abarataremos el coste de una manera notoria.

Los diámetros estándar del émbolo de los cilindros son: 32 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm, 80 mm, 100 mm y 125 mm.

Observando el catálogo de varios fabricantes de máquinas de esta índole, la presión de alimentación de los cilindros es de 22,5 MPa.

Por lo tanto, las fuerzas que podrían realizar los cilindros, alimentados a 22,5 MPa, de los diámetros normalizados, son las siguientes:

Diámetro de émbolo (mm)	32	40
Fuerza (N)	18095,5584	28274,31
Diámetro de émbolo (mm)	50	63
Fuerza (N)	44178,6094	70137,9602
Diámetro de émbolo (mm)	80	100
Fuerza (N)	113097,24	176714,438
Diámetro de émbolo (mm)	125	
Fuerza (N)	276116,309	

#### 3.1 Dimensionamiento del cilindro del cazo

Como ya se conocen las fuerzas que debe soportar este cilindro, vamos a calcular el diámetro de émbolo del pistón necesario para que pueda realizarlas.

Teniendo la presión a la que trabaja el cilindro y la fuerza requerida para cada posición, calcularemos el diámetro del émbolo usando la siguiente fórmula:

$$\text{Diámetro del émbolo} = \sqrt{\frac{4 * \text{Fuerza}}{\pi * \text{Presión}}}$$

Los resultados son obtenidos son los siguientes:



Posición	Fuerza necesaria (N)	Diámetro émbolo (mm)
1	63928	60,14638675
2	79898	67,24065538
3	61468	58,9777941
4	79898	67,24065538
5	97416	74,24703758
6	57531	57,05778985
7	62965	59,69165051
8	62965	59,69165051
9	57531	57,05778985
10	57531	57,05778985
11	84942	69,3306425
12	61466	58,97683461
13	58756	57,66205218
14	62964	59,6911765
15	50385	53,39672426
16	57958	57,26914231

Por lo tanto, el diámetro mínimo necesario es de 53,4 mm. Por otro lado, el diámetro máximo requerido es de 74,25 mm.

Al usar un cilindro de 80 mm de diámetro, podemos operar en todas las posiciones.

### 3.2 Dimensionamiento del cilindro del balancín

En este apartado se va a tratar de dimensionar el diámetro del émbolo necesario del cilindro que mueve el balancín de la mini excavadora.

Del mismo modo que en el apartado anterior, conociendo ya las fuerzas que soporta el cilindro y la presión a la que se alimenta, procedemos a calcular los diámetros de émbolo.



Posición	Fuerza necesaria (N)	Diámetro émbolo (mm)
1	150620	92,3220215
2	120980	82,74100159
3	124640	83,98325518
4	93098	72,58287379
5	74337	64,85844003
6	127650	84,99128456
7	122760	83,34747041
8	159620	95,04026464
9	163320	96,13547341
10	165870	96,88307309
11	90464	71,54872138
12	122810	83,36444234
13	145600	90,77048818
14	143140	90,00041046
15	131250	86,18141883
16	126420	84,58081716

Por lo tanto, el diámetro mínimo necesario es de 64,86 mm. Por otro lado, el diámetro máximo requerido es de 96,88 mm.

Al usar un cilindro de 100 mm de diámetro, podemos operar en todas las posiciones.

### 3.3 Dimensionamiento del cilindro de la pluma

En este apartado se va a tratar de dimensionar el diámetro del émbolo necesario en el cilindro que se encarga del movimiento de la pluma de la mini excavadora.

Del mismo modo que en el apartado anterior, conociendo ya las fuerzas que soporta el cilindro y la presión a la que se alimenta, procedemos a calcular los diámetros de émbolo necesario.



Posición	Fuerza necesaria (N)	Diámetro émbolo (mm)
1	150610	92,31895672
2	65460	60,86280784
3	118660	81,94381056
4	6190	18,71583933
5	58407	57,49054605
6	191090	103,9879374
7	240730	116,7156496
8	299470	130,1789142
9	429530	155,9052481
10	224550	112,7250699
11	941	7,297242778
12	55931	56,25877556
13	39807	47,4617457
14	163190	96,09720468
15	164260	96,41173379
16	146740	91,12514682

Por lo tanto, el diámetro mínimo necesario es de 47,46 mm. Por otro lado, el diámetro máximo requerido es de 155,9 mm.

Al usar un cilindro de 125 mm de diámetro, podemos operar en todas las posiciones excepto en la 8 y la 9, por lo que elegiremos este diámetro de cilindro.

Que este cilindro no pueda realizar la fuerza requerida en todas las posiciones no es un problema debido a que el dimensionamiento de la mini excavadora se hace para que pueda realizar una fuerza de 22500 N. En el resto de posiciones, la mini excavadora las hace, por lo que la máquina se vea superada en esas dos posiciones no supone un mayor problema.



## 4. Selección de los cilindros necesarios

Una vez conocemos el diámetro de émbolo o pistón necesario para cada uno de los cilindros que componen el mecanismo de nuestra máquina, llega la hora de seleccionar cada uno de ellos sobre los catálogos que nos proporcionan las distintas empresas que se dedican a la fabricación de estos elementos.

Otra opción podría ser encargar a las empresas del sector unos cilindros con nuestras exigencias específicas. Esta opción sería la única válida en los caso en los que ningún cilindro comercial satisficiera nuestras exigencias, pero como no es el caso, se seleccionaran cilindros comerciales.

El ahorro de costes, la facilidad de recambio y la fiabilidad son algunos motivos por los que decantarse ante la opción de seleccionar un cilindro comercial.

La empresa suministradora de los cilindros va a ser HIDRÁULICA FERRER, la cual dispone de un amplio catálogo de cilindros hidráulicos.

### 4.1 Selección del cilindro del cazo

Para seleccionar el cilindro necesario, lo primero es conocer la carrera. Para ello, medimos la diferencia de longitud que existe entre la posición de máximo alargamiento y la de mínimo alargamiento.

En este caso:

$$\text{Carrera} = 1279,01 \text{ mm} - 1110,5 \text{ mm} = 168 \text{ mm}$$

El diámetro del vástago va relacionado con la longitud de pandeo y con la fuerza máxima que puede realizar el cilindro.

La Longitud de pandeo es el producto de un coeficiente  $\beta$  por la carrera. Este coeficiente  $\beta$  toma un valor u otro según el tipo de fijación del cilindro. En nuestro caso, tenemos una unión con vástago articulado y guiada, con el cilindro fijado mediante articulación en parte posterior. En este caso,  $\beta$  toma un valor de 2.

Por tanto:

$$\begin{aligned}\text{Longitud de pandeo} &= 2 * \beta = 2 * 168 = 336 \text{ mm} \\ \text{Fuerza máxima} &= 113.097 \text{ N}\end{aligned}$$

El diámetro del vástago mínimo teórico sería de 36 milímetros.



En el catálogo de cilindros encontramos el siguiente modelo:

HIDRÁULICA FERRER		Catálogo Cilindros Hidráulicos ISO 6022																
Características Cilindros Hidráulicos Serie ISO 6022																		
<b>Norma</b>		ISO-6022																
<b>Tipo de construcción</b>		Con brida																
<b>Tipo de efecto</b>		Doble																
<b>Presión nominal</b>		250 bar																
<b>Presión de prueba</b>		375 bar																
<b>Posición de montaje</b>		s/pedido																
<b>Temperatura ambiente</b>		-20°C + 70°C con juntas estándar. -10°C + 160°C con juntas para temperaturas elevadas.																
<b>Temperatura de fluido</b>		-20°C + 70°C con juntas estándar. -10°C + 160°C con juntas para temperaturas elevadas.																
<b>Fluido</b>		Aceite mineral CETOP RP 91-H. (para otros fluidos consulten con nuestra oficina técnica)																
<b>Viscosidad</b>		12÷90 (mm <sup>2</sup> /s)																
<b>Filtración</b>		Grado de filtración según NAS 1638																
<b>ø Pistón</b>		40	50	63	80	100	125	160	200									
<b>ø Vástago</b>		22	28	28	36	36	45	45	56	56	70	70						
<b>Velocidad máx. (m/s) Juntas estándar</b>		0,5				0,4												
<b>Velocidad máx. (m/s) Juntas Vitón</b>		1																
<b>Tolerancia carrera</b>		⇒ Entre 0 y 1,5 mm para carreras de 0 a 499 mm ⇒ Entre 0 y 2 mm para carreras de 500 a 1249 mm ⇒ Entre 0 y 3 mm para carreras de 1250 a 3149 mm ⇒ Entre 0 y 5 mm para carreras superiores a 3150 mm																
<b>Carrera máxima estándar</b>		3000 mm. (Para carreras superiores consulten con nuestra oficina técnica).																
<b>Amortiguación</b>		Opcional en uno o ambos extremos																

Nos ofrecen un cilindro que, para un diámetro de 80 milímetros, tiene un diámetro de vástagos de 56 milímetros. Por tanto, cumplimos las exigencias. El modelo seleccionado sería un cilindro perteneciente a la serie ISO 6022.

## 4.2 Selección del cilindro del balancín

La selección se haría de forma análoga al caso anterior.

Las exigencias de este cilindro serían las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Carrera} &= 523,46 \text{ mm} ; \beta = 2 \longrightarrow \text{Longitud de pandeo} = 1046,92 \text{ mm} \\ \text{Diámetro pistón} &= 100 \text{ mm} ; \text{Fuerza máxima} = 176.714 \text{ N} \end{aligned}$$

Por tanto, el diámetro mínimo de vástagos tiene que ser de 70 milímetros. El catálogo de la empresa suministradora nos ofrece un modelo de la serie ISO 6022 que cumple las exigencias, ofreciendo un cilindro de 70 milímetros de vástagos.



## 4.3 Selección del cilindro de la pluma

La selección se haría de forma análoga al caso anterior.

Las exigencias de este cilindro serían las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Carrera} &= 454,67 \text{ mm} ; \beta = 2 \rightarrow \text{Longitud de pandeo} = 910 \text{ mm} \\ \text{Diámetro pistón} &= 125 \text{ mm} ; \text{Fuerza máxima} = 276.116 \text{ N} \end{aligned}$$

Por tanto, el diámetro mínimo de vástago tiene que ser de 70 milímetros. El catálogo de la empresa suministradora nos ofrece un modelo de la serie ISO 6022 que cumple las exigencias, ofreciendo un cilindro de 90 milímetros de vástago.

## Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una excavadora con cadenas para una fuerza de excavación del cazo de 22.5 KN

### **ANEXO 3. DIMENSIONAMIENTO DE LAS BARRAS**

Autor/es

Eduardo Peñarrubia Castro

Director/es

Javier Óscar Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza.

2017/2018



## Índice Anexo 3

<b>1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2.</b>	<b>Dimensionamiento de las barras.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.1</b>	<b>Teoría usada .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.2</b>	<b>Dimensionamiento de las barras huecas .....</b>	<b>- 5 -</b>
2.2.1	Dimensionamiento de la pluma.....	- 6 -
2.2.2	Dimensionamiento del balancín .....	- 10 -
<b>2.3</b>	<b>Dimensionamiento de las barras macizas .....</b>	<b>- 14 -</b>
2.3.1	Dimensionamiento barra DF.....	- 14 -
2.3.2	Dimensionamiento barra BD .....	- 15 -



## 1. Introducción

En este Anexo vamos a tratar de dimensionar cada una de las barras que forman el mecanismo del brazo de la mini excavadora. Los pasos que se van a seguir van a ser los siguientes:

1. Para cada una de las barras, se va a averiguar cual es la posición más crítica. Para ello, nos fijaremos en el valor del esfuerzo axil y fletor que soportan en cada posición. Las posición donde se registren los valores máximos, será la más crítica para cada una de las barras.
2. Una vez conozcamos la posición más crítica, averiguaremos el espesor de la pieza ya que la mayoría de estas barras son perfiles huecos de pequeño espesor. Para ello, debemos prefijar un valor de altura y anchura del perfil. La altura y anchura del perfil se obtendrá por semejanza a partir del catálogo de la máquina en la que nos hemos basado para obtener las dimensiones iniciales.
3. En las piezas en las que la altura no se conserve, después de haber hallado el espesor, iremos variando la altura para poder satisfacer las necesidades geométricas de la máquina.



## 2. Dimensionamiento de las barras

### 2.1 Teoría usada

Para el dimensionamiento de las barras se va a usar la teoría del cortante máximo. Como analizamos la fibra superior o inferior de la sección, el esfuerzo cortante es nulo, por eso no lo tenemos en cuenta

Lo primero que debemos saber es el coeficiente de seguridad con el que se va a trabajar. En nuestro caso, fijamos un coeficiente de seguridad igual a 3. Otro dato que debemos conocer para poder dimensionar las barras es el límite elástico, que toma un valor de 450 MPa.

Por tanto:

$$C_S = 3$$

$$\sigma_F = 450 \frac{N}{mm^2} = 450 \text{ MPa}$$

El siguiente paso es calcular la tensión máxima admisible:

$$C_S = \frac{\sigma_F}{\sigma_{máx \text{ adm}}} \rightarrow \sigma_{máx \text{ adm}} = \frac{\sigma_F}{C_S} = \frac{450}{3} = 150 \text{ MPa}$$

Para obtener la tensión a la que se encuentran sometida cada una de las barras usaremos la fórmula que nos permite obtener la tensión cuando un elemento se encuentra sometido a tracción o compresión más flexión:

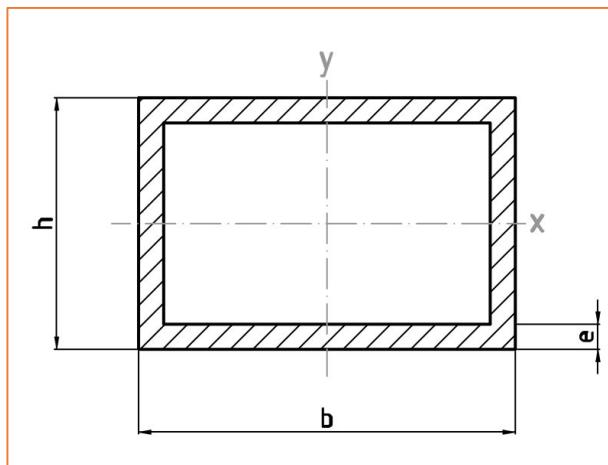
$$\sigma_X = \frac{N}{A} + \frac{M_Z}{W_Z}$$

Siendo:

- $\sigma_X$  el esfuerzo al que está sometida la barra
- N, el esfuerzo axil al que se encuentra sometida la barra
- A, corresponde al área de la sección:

$$A = b * h - (b - 2 * e) * (h - 2 * e)$$

En el siguiente esquema se puede ver a que corresponde cada una de las siglas:



- $M_z$ , el momento flector al que se encuentra sometida la barra
- $W_z$ , el módulo resistente de la sección, que se obtiene de la siguiente manera:

$$W_z = \frac{I_z}{y_{máx}}$$

donde:

$$y_{máx} = \frac{h}{2}$$

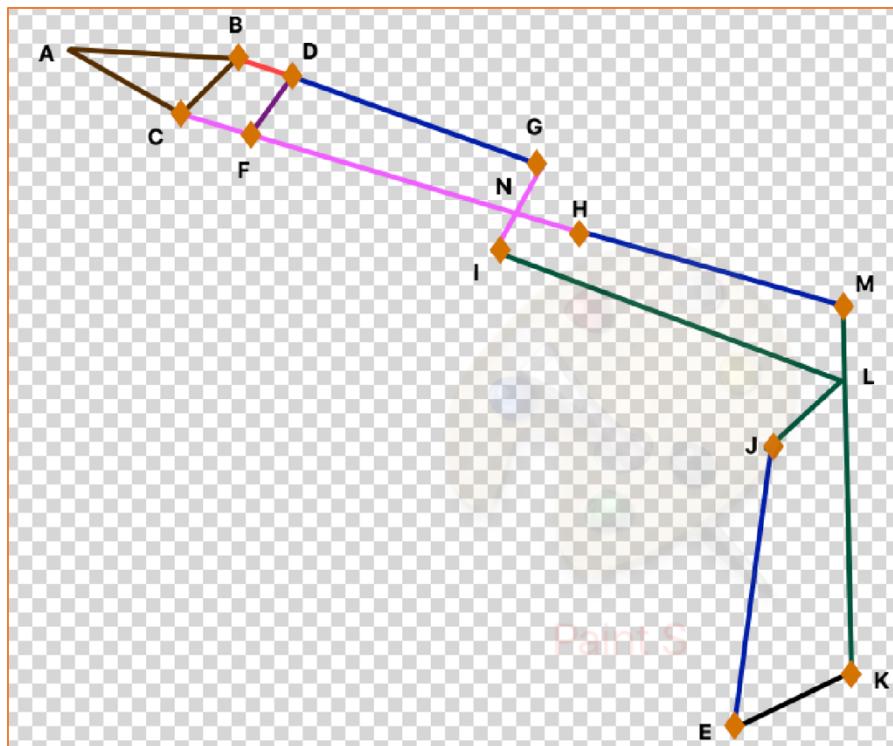
$$I_z = \frac{1}{12} * (b * h^3 - (b - 2 * e) * (h - 2 * e)^3)$$

Los valores de altura y base del perfil se medirán en el programa SolidWorks de los catálogos de máquinas similares.

De esta forma podremos obtener el espesor mínimo que debe tener el perfil para que la barra pueda soportar los esfuerzos a los que está sometida.

## 2.2 Dimensionamiento de las barras huecas

Antes de empezar el dimensionamiento, vamos a volver a poner un esquema del mecanismo, para recordar los nombres de cada punto:



Una vez tenemos presente el esquema del mecanismo, procedemos a dimensionar.

### 2.2.1 Dimensionamiento de la pluma

La pluma, en nuestro esquema de barras, está formada por las barras LI, LK, LM y LJ. En nuestro caso, solo tenemos que dimensionar las barras LI y LK, ya que las otras dos son orejetas que permiten el movimiento del mecanismo.

#### BARRA LK

Esta barra parte de la articulación K, donde su momento vale 0, y va hasta el punto L, donde es una unión rígida. La barra va ganando esfuerzo flector de manera lineal hasta L, donde tendrá el máximo momento.

Por otro lado, el esfuerzo axil se mantendrá constante a lo largo de toda la barra para cada posición.

Los valores de base y altura se han obtenido por semejanza al introducir una imagen del catálogo de la máquina en el SolidWorks.

Para esta barra tenemos dos posiciones donde a primera vista no somos capaces de averiguar en cual de ellas la barra está solicitada a mayores esfuerzos. Para ello, vamos a obtener el espesor para cada posición, y la posición donde se obtenga mayor espesor será la más solicitada.



Posiciones	Pos 9		Pos 15	
Barra LK	N	M	N	M
Esfuerzos	408240	12569	141000	28400
Área ( $m^2$ )	0,003965825		0,003744335	
Base (m)	0,25		0,25	
Altura (m)	0,2		0,2	
Espesor (m)	<b>0,004496325</b>		<b>0,004240283</b>	
Modulo resistente ( $m^3$ )	0,000267082		0,000252797	
Sigma (Mpa)	150000000		150000000	

El espesor mayor lo da en la posición 9, en concreto, 4,5 milímetros aproximadamente.

Esta pieza, como podemos ver en el catálogo de la mini excavadora, se va ensanchando de forma que llega al punto L, por lo que vamos a prefijar el espesor de la pieza con el que hemos obtenido anteriormente y vamos a averiguar cual sería la altura mínima en cada punto de la pieza.

Sabiendo que el momento varía según la siguiente función:

$$M(x) = 10275,76 * x$$

Siendo "x" la distancia, en metros, que hay desde el punto K hasta donde se quiere obtener el momento. La longitud total de esta barra es de 1,22317 metros.

Los valores mínimos de altura en cada punto de la barra son los siguientes:



<b>Longitud</b>	<b>x = 0</b>		<b>x = L/3</b>	
<b>Barra LK</b>	N	M	N	M
Esfuerzos	4,08E+05	0,00E+00	4,08E+05	4189,667
Área (m <sup>2</sup> )	0,0027216		0,003322539	
Base (m)	0,25		0,25	
Altura (m)	<b>0,061639796</b>		<b>0,128465417</b>	
Espesor (m)	0,004496325		0,004496325	
Modulo resistente (m <sup>3</sup> )	6,32194E-05		0,000154429	
Sigma (Mpa)	150000000		150000000	
<b>Longitud</b>	<b>x = 2L/3</b>		<b>x = L</b>	
<b>Barra LK</b>	N	M	N	M
Esfuerzos	4,08E+05	8379,3333	4,08E+05	1,26E+04
Área (m <sup>2</sup> )	0,003678161		0,003965825	
Base (m)	0,25		0,25	
Altura (m)	<b>0,168011212</b>		<b>0,2</b>	
Espesor (m)	0,004496325		0,004496325	
Modulo resistente (m <sup>3</sup> )	0,000214801		0,000267082	
Sigma (Mpa)	150000000		150000000	

### Barra LI

La barra LI, que corresponde a la número 11 en el programa MEFI, parte del punto L, donde está unida rígidamente, y va hasta el punto I donde dispone de una unión con el giro libre.

El valor de la base tiene que ser el mismo que en la barra LK, ya que son la misma pieza en la realidad.

Al igual que la barra anterior, vamos a calcular el espesor en las dos posiciones que más solicitudón requieren:

<b>Posiciones</b>	<b>Pos 8</b>		<b>Pos 10</b>	
<b>Barra LI</b>	N	M	N	M
Esfuerzos	159490	37581	173000	36200
Área (m <sup>2</sup> )	0,004819737		0,005663386	
Base (m)	0,25		0,25	
Altura (m)	0,2		0,2	
Espesor (m)	<b>0,00548918</b>		<b>0,005430745</b>	
Modulo resistente (m <sup>3</sup> )	0,000321455		0,000374087	
Sigma (Mpa)	150000000		150000000	



El mayor espesor se obtiene en la posición 8, y toma un valor de 5,5 milímetros aproximadamente.

Ahora vamos a ver con este espesor, cual sería la altura mínima para cada punto de la barra.

Longitud	x = 0		x = L/3	
<b>Barra LI</b>	N	M	N	M
	Esfuerzos	159490	0	159490 12527
	Área (m <sup>2</sup> )	0,001063267		0,003607601
	Base (m)	0,25		0,25
	Altura (m)	-0,1421705		0,089588618
	Espesor (m)	0,00548918		0,00548918
	Modulo resistente (m <sup>3</sup> )	-0,00016432		0,000118413
	Sigma (Mpa)	150000000		150000000
Longitud	x = 2L/3		x = L	
<b>Barra LI</b>	N	M	N	M
	Esfuerzos	159490 25054		1,59E+05 3,76E+04
	Área (m <sup>2</sup> )	0,00426263		0,004819737
	Base (m)	0,25		0,25
	Altura (m)	0,149254055		0,2
	Espesor (m)	0,00548918		0,00548918
	Modulo resistente (m <sup>3</sup> )	0,000222536		0,000321455
	Sigma (Mpa)	150000000		150000000

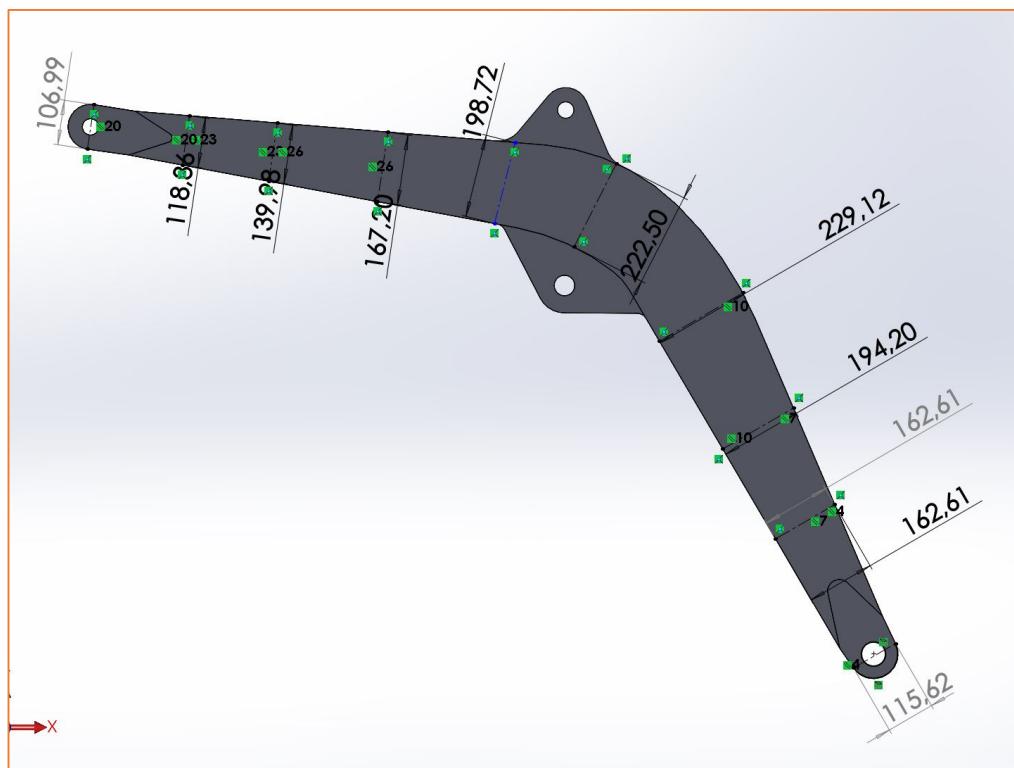
Que la altura salga negativa en el punto I solo nos dice que la barra soporta los esfuerzos para cualquier altura dada.

### Conclusiones del dimensionamiento de la pluma

Longitud (mm)	Base (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)
2762,69	250	Variable	5,5

Se ha elegido un espesor de 5,5 milímetros para todo el perfil debido a que es el más crítico, de esta forma estamos sobredimensionando la pieza y previniendo su rotura.

Un esquema de cómo va variando la altura a lo largo de la pieza sería el siguiente:





Posiciones	Pos 5	
<b>Barra CF</b>	<b>N</b>	<b>M</b>
Esfuerzos	82000	4890
Área ( $m^2$ )	0,001168419	
Base (m)	0,2	
Altura (m)	0,15	
Espesor (m)	<b>0,001685402</b>	
Modulo resistente ( $m^3$ )	6,12417E-05	
Sigma (Mpa)	150000000	

El espesor toma un valor de 2 milímetros aproximadamente.

### **Barra NF**

Las dimensiones características de esta barra son longitud, altura, profundidad y espesor.

La longitud, al igual que en el caso anterior, se ha prefijado con anterioridad y toma un valor de 1044,9 milímetros

La barra NF empieza en el punto N, donde está unida rígidamente, y termina en el punto F, donde también está unida rígidamente.

Esta barra está sometida a un axil constante, y a un momento linealmente distribuido. Observando las tablas que recopilan los esfuerzos, se observa que en todos los caso, el punto que obtiene una mayor solicitud de momento es el punto N, por lo que se va a calcular el espesor en este punto.

La base es constante a lo largo de toda la barra y toma un valor de 200 milímetros. Tiene que coincidir con la base de la barra CF ya que es una prolongación de esta barra.

La altura de la barra en el punto N toma un valor de 150 milímetros.

El espesor necesario para la barra en las dos posiciones de mayor solicitud es el siguiente:



<b>Posiciones</b>	<b>Pos 5</b>		<b>Pos 15</b>	
<b>Barra NF</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>M</b>
Esfuerzos	117340	13569	50600	35700
Área ( $m^2$ )	0,002736		0,00528036	
Base (m)	0,2		0,2	
Altura (m)	0,15		0,15	
Espesor (m)	<b>0,004</b>		<b>0,0079</b>	
Modulo resistente ( $m^3$ )	0,00013917		0,00025534	
Sigma (Mpa)	150000000		150000000	

Por tanto, la barra está más solicitada en la posición 15, necesitando un espesor de 8 milímetros en el punto N.

Como la altura de esta barra va variando, vamos a fijar este espesor en toda la barra y vamos a obtener la altura mínima necesaria a lo largo de la barra.

Las alturas necesarias en cada punto de la barra son las siguientes:

<b>Longitud</b>	<b>x = 0</b>		<b>x = L/3</b>	
<b>Barra NF</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>M</b>
Esfuerzos	5,06E+04	6,48E+02	5,06E+04	12332
Área ( $m^2$ )	0,00309777		0,00398388	
Base (m)	0,2		0,2	
Altura (m)	<b>0,01186143</b>		<b>0,06794461</b>	
Espesor (m)	0,0079		0,0079	
Modulo resistente ( $m^3$ )	4,8479E-06		8,9819E-05	
Sigma (Mpa)	150000000		150000000	
<b>Longitud</b>	<b>x = 2L/3</b>		<b>x = L</b>	
<b>Barra NF</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>M</b>
Esfuerzos	5,06E+04	24016	5,06E+04	3,57E+04
Área ( $m^2$ )	0,00466812		0,00527277	
Base (m)	0,2		0,2	
Altura (m)	<b>0,11125034</b>		<b>0,14951963</b>	
Espesor (m)	0,0079		0,0079	
Modulo resistente ( $m^3$ )	0,00017258		0,00025427	
Sigma (Mpa)	150000000		150000000	

## **BARRA NH**

La barra NH parte del punto N, donde está unida rígidamente, y va hasta el punto H, donde está unida a una unión que solo le permite el giro.

La longitud de esta barra toma un valor de 292,22 milímetros.



La base y altura de esta barra valen 200 y 300 milímetros respectivamente.

Vamos a calcular el espesor necesario de la barra para las dos posiciones de mayor solicitudación, del mismo modo que en las barras anteriores:

Posiciones	Pos 10		Pos 13	
<b>Barra NH</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>M</b>
Esfuerzos	146000	23100	25200	41900
Área ( $m^2$ )	0,00271821		0,00334748	
Base (m)	0,2		0,2	
Altura (m)	0,3		0,3	
Espesor (m)	<b>0,00274842</b>		<b>0,00339355</b>	
Modulo resistente ( $m^3$ )	0,00023991		0,00029409	
Sigma (Mpa)	150000000		150000000	

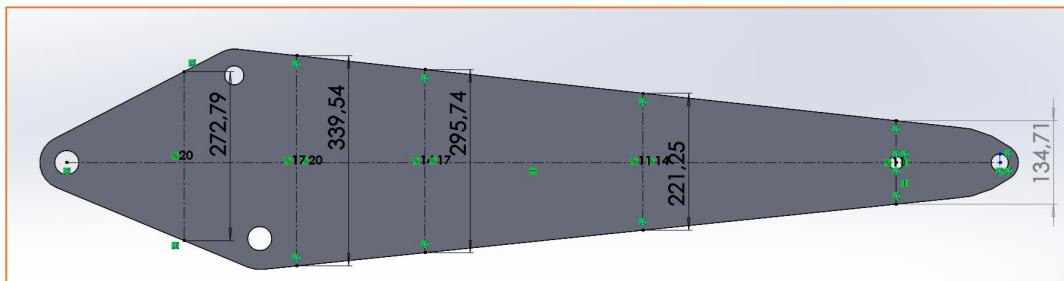
Observamos, que la posición más solicitada es la posición 13, requiriendo un espesor de 3,4 milímetros.

### Conclusiones del dimensionamiento del balancín

Longitud (mm)	Base (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)
1504,25	200	Variable	8

Se ha elegido un espesor de 8 milímetros para todo el perfil debido a que es el más crítico, de esta forma estamos sobredimensionando la pieza y previniendo su rotura.

Un esquema de cómo va variando la altura en el balancín sería el siguiente:



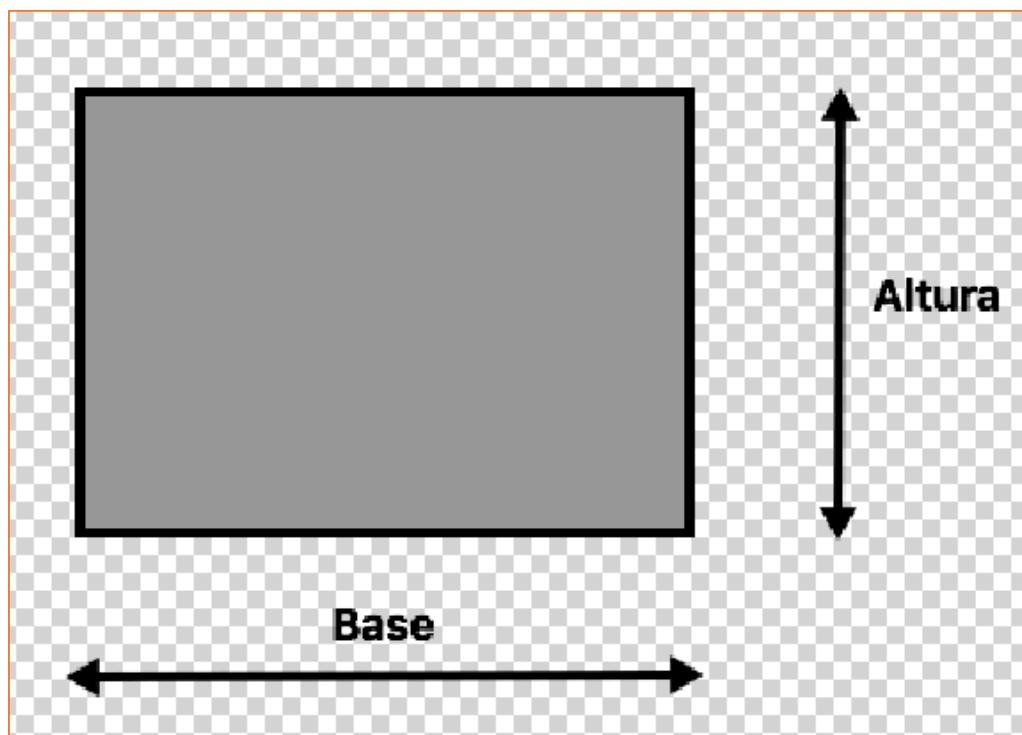


## 2.3 Dimensionamiento de las barras macizas

### 2.3.1 Dimensionamiento barra DF

Esta barra va desde el punto D al punto F, siendo ambos puntos uniones que permiten el giro. Por tanto, esta barra únicamente va a estar sometida a esfuerzo axil. Además, esta barra va por duplicado, una a cada lado, por lo que los esfuerzos obtenidos se deben dividir entre 2.

Observando distintos modelos de mini excavadoras, observamos que esta barra no es de sección hueca, si no que es de sección maciza.



Midiendo en el SolidWorks la altura recomendada para esta pieza, podremos hallar la base necesaria para que la pieza soporte los esfuerzos requeridos.



Posiciones	Pos 5
<b>Barra DF</b>	<b>N</b>
Esfuerzo	36552
Área ( $m^2$ )	0,00024368
Base (m)	<b>0,0048736</b>
Altura (m)	0,05
Modulo resistente ( $m^3$ )	5,0767E-08
Sigma (Mpa)	150000000

En esta barra, la posición más desfavorable es la 5, y necesitamos una base de aproximadamente 5 milímetros para soportar los esfuerzos solicitados.

### 2.3.2 Dimensionamiento barra BD

La barra BD va desde el punto B hasta el punto D, siendo ambos puntos uniones que permiten el giro. Por tanto, esta barra no soporta esfuerzos debidos al momento flector.

Esta barra, al igual que la barra DF, no es hueca, si no que es de sección maciza.

Posiciones	Pos 5
<b>Barra BD</b>	<b>N</b>
Esfuerzo	29352
Área ( $m^2$ )	0,00019568
Base (m)	<b>0,002795429</b>
Altura (m)	0,07
Modulo resistente ( $m^3$ )	7,99027E-08
Sigma (Mpa)	150000000

Observamos que la posición donde la barra está más solicitada es la posición 5, requiriendo una base de aproximadamente 3 milímetros.

## Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una excavadora con cadenas para una fuerza de excavación del cazo de 22.5 KN

### **ANEXO 4. DIMENSIONAMIENTO DE LOS PASADORES Y LAS OREJETAS**

Autor/es

Eduardo Peñarrubia Castro

Director/es

Javier Óscar Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza.

2017/2018



## Índice Anexo 4

<b>1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2.</b>	<b>Dimensionamiento de los pasadores.....</b>	<b>- 4 -</b>
2.1	Pasadores de los cilindros .....	- 4 -
2.1.1	Pasador del Cilindro 1 .....	- 4 -
2.1.2	Pasador del Cilindro 2 .....	- 5 -
2.1.3	Pasador del Cilindro 3 .....	- 5 -
2.2	Dimensionamiento de los pasadores de los puntos F y B.....	- 6 -
2.2.1	Pasador en el punto F .....	- 6 -
2.2.2	Pasador del punto B .....	- 7 -
<b>3.</b>	<b>Dimensionamiento de las orejetas .....</b>	<b>- 9 -</b>
3.1	Orejeta situada en el punto C.....	- 9 -
3.2	Dimensiones características del conjunto de orejetas del mecanismo..	- 12 -



## 1. Introducción

En este Anexo se va a tratar de dimensionar los pasadores y orejetas que forman parte del mecanismo del brazo de la mini excavadora.

Los pasadores permiten tanto la unión de las piezas principales entre si, como la unión de las piezas principales con los cilindros que posibilitan el movimiento del mecanismo. En algunas ocasiones, estos sistemas de unión son desmontables, favoreciendo así las labores de recambio y mantenimiento.

Las orejetas son unos salientes situados en los extremos de los perfiles del mecanismo que permiten la unión entre distintos perfiles por medio de pasadores.

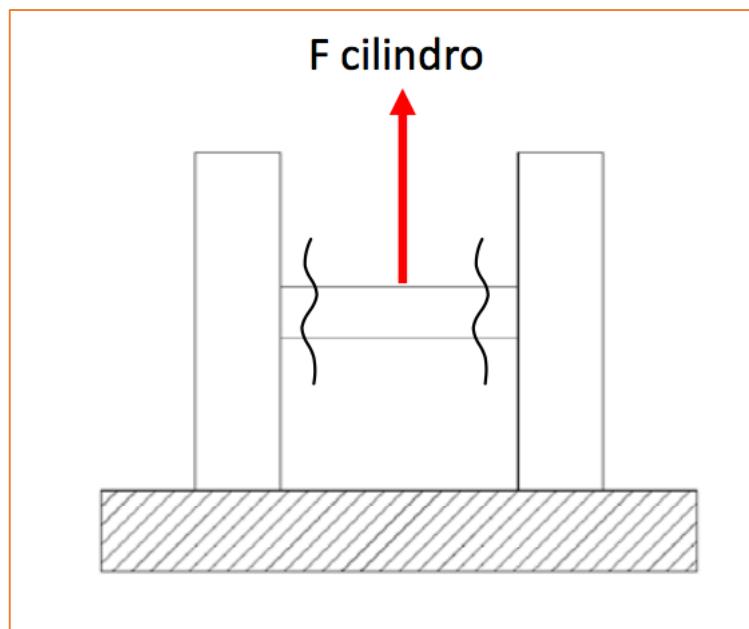


## 2. Dimensionamiento de los pasadores

### 2.1 Pasadores de los cilindros

En el anexo 1 se han calculado las acciones que actúan sobre los pasadores que unen los cilindros a la máquina. Estos pasadores están sometidos a un esfuerzo cortante que da lugar a una rotura por dos planos (doble cortadura)

El coeficiente de seguridad exigido va a ser de 3, y el material de los pasadores el mismo que el de las barras Acero E-450 con  $\sigma_F = 450 \text{ MPa}$ .



#### 2.1.1 Pasador del Cilindro 1

El dimensionamiento del Cilindro 1 se realizaría del siguiente modo:

$$\tau_{máx\ adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{450}{2 * 3} = 75 \text{ MPa}$$

$$\tau_{máx} = \frac{F_{C1}}{2 * A} = \frac{113.097,24 \text{ N}}{2 * A}$$

$$\tau_{máx} \leq \tau_{máx\ adm} \quad \longrightarrow \quad \frac{113.097,24 \text{ N}}{2 * A} \leq 75 \text{ MPa}$$

$$A = 753,9816 \text{ mm}^2 \quad \longrightarrow \quad D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 31 \text{ mm}$$



Por tanto, el diámetro de los pasadores del cilindro 1, que une los puntos D y G, tienen que ser mínimo de 31 mm.

### 2.1.2 Pasador del Cilindro 2

El dimensionamiento del Cilindro 2 se realizaría del siguiente modo:

$$\tau_{máx\ adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{450}{2 * 3} = 75 MPa$$

$$\tau_{máx} = \frac{F_{C2}}{2 * A} = \frac{176.714,44 N}{2 * A}$$

$$\tau_{máx} \leq \tau_{máx\ adm} \longrightarrow \frac{176.714,44 N}{2 * A} \leq 75 MPa$$

$$A = 1.178,1 mm^2 \longrightarrow D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 39 mm$$

Por tanto, el diámetro de los pasadores del cilindro 2, que une los puntos H y M, tienen que ser mínimo de 39 mm.

### 2.1.3 Pasador del Cilindro 3

El dimensionamiento del Cilindro 3 se realizaría del siguiente modo:

$$\tau_{máx\ adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{450}{2 * 3} = 75 MPa$$

$$\tau_{máx} = \frac{F_{C3}}{2 * A} = \frac{276.116,31 N}{2 * A}$$

$$\tau_{máx} \leq \tau_{máx\ adm} \longrightarrow \frac{276.116,31 N}{2 * A} \leq 75 MPa$$

$$A = 1.840,78 mm^2 \longrightarrow D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 48,41 mm$$

Por tanto, el diámetro de los pasadores del cilindro 3, que une los puntos J y E, tienen que ser mínimo de 49 mm.



## 2.2 Dimensionamiento de los pasadores de los puntos F y B

### 2.2.1 Pasador en el punto F

En el punto F se une el balancín de la máquina, con la barra que permite el movimiento al cazo. En ese punto se producen unas reacciones.

El valor de las reacciones y del módulo de la fuerza producida en el punto F para cada una de las posiciones son las siguientes:

Posición	Ffx (N)	Ffy (N)	Ff  (N)
1	19711	20104	28154,828
2	37988	19046	42495,1557
3	22127	13190	25760,051
4	40718	12160	42494,9541
5	58420	5776	58704,84287
6	8572	16670	18744,8149
7	1840	12379	12515,0006
8	4597	11640	12514,8715
9	10151	15758	18744,5289
10	12050	15868	19924,7566
11	45895	10491	47078,7862
12	22127	13190	25760,051
13	19689	11098	22601,3788
14	5962	11004	12515,329
15	15328	14703	21239,7221
16	15328	14703	21239,7221
		Máxima	58704,8429

Por tanto, la fuerza máxima en el punto F tiene un valor de 58704,8429 Newtons, produciéndose en la posición 5.

Análogamente al dimensionado de los pasadores de los cilindros:

$$\tau_{máx\ adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{450}{2 * 3} = 75 MPa$$

$$\tau_{máx} = \frac{F_F}{2 * A} = \frac{58.704,8429 N}{2 * A}$$



$$\tau_{máx} \leq \tau_{máx\ adm} \longrightarrow \frac{58.704,8429\ N}{2 * A} \leq 75\ MPa$$

$$A = 391,36\ mm^2 \longrightarrow D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 22,31\ mm$$

## 2.2.2 Pasador del punto B

En el punto B se une el cazo de la mini excavadora, con una de las barras que permite el movimiento de este.

Las fuerzas que se producen en este punto para las distintas posiciones son las siguientes:

Posición	Fb (N)
1	62700
2	67588
3	62228
4	67587
5	73104
6	64022
7	70532
8	70529
9	64022
10	64313
11	69218
12	62228
13	62209
14	70531
15	62557
16	62557
Máxima	73104

Como observamos, la fuerza máxima que va a tener que soportar el pasador va a ser de 73104 Newtons, en la posición 5.

Análogamente al dimensionado de los pasadores de los cilindros:

$$\tau_{máx\ adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{450}{2 * 3} = 75\ MPa$$



$$\tau_{máx} = \frac{F_B}{2 * A} = \frac{73.104 \text{ N}}{2 * A}$$

$$\tau_{máx} \leq \tau_{máx \text{ adm}} \dashrightarrow \frac{73.104 \text{ N}}{2 * A} \leq 75 \text{ MPa}$$

$$A = 487,36 \text{ mm}^2 \dashrightarrow D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \mathbf{24,91 \text{ mm}}$$



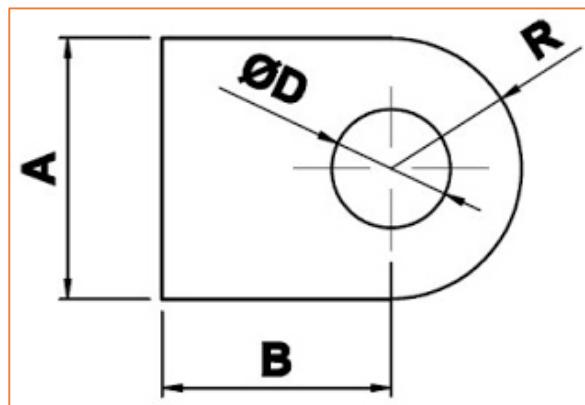
### 3. Dimensionamiento de las orejetas

Como hemos dicho anteriormente, las orejetas permiten la unión entre distintos perfiles por medio de pasadores.

En la siguiente imagen se pueden ver dos orejetas. En este caso, estas orejetas permiten la unión del cazo de excavación con el balancín.



Las dimensiones significantes que debemos calcular en cada una de las orejetas de la máquina son las siguientes:



Para el dimensionamiento completo de las orejetas se usarán la teoría del cortante máximo, la teoría de Von Mises y la del esfuerzo cortante con cortadura en dos planos.

#### 3.1 Orejeta situada en el punto C

La orejeta situada en el punto C del mecanismo permite la unión entre el balancín y el cazo de la máquina.



A modo de explicación, se va a resolver paso por paso esta orejeta, para así conocer de forma detallada cual es el procedimiento de cálculo de estas.

Lo primero que tenemos que realizar es recopilar las fuerzas que se producen en el punto C en todas las posiciones. Esto ya se ha calculado anteriormente mediante el programa EES.

Posición	Fcx (N)	Fcy (N)	Fc  (N)
1	56116	40948	69467,5763
2	52858	58995	79210,9727
3	40208	54219	67500,9868
4	41811	67277	79210,8228
5	34042	80169	87097,2234
6	51101	35964	62487,7708
7	53766	32947	63057,8113
8	63034	1649	63055,5656
9	56696	26273	62487,6543
10	43173	45011	62369,0472
11	39612	71442	81688,8604
12	40208	54219	67500,9868
13	32821	55991	64901,5418
14	39254	49348	63056,3369
15	42784	47440	63882,8949
16	42784	47440	63882,8949
		Máxima	<b>87097,2234</b>

Observamos que la posición más desfavorable es la número 5.

Procedemos a calcular el diámetro mínimo necesario:

$$F_c = 87.097,2234 \text{ N} \quad \tau_{\max \text{ adm}} = 75 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = 75 \text{ MPa} = \frac{F}{2 * \text{Área}} = \frac{87.097,2234}{2 * \text{Área}} \rightarrow \text{Área} = 580,65 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 580,65 \text{ mm}^2 = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow D = 27,19 \text{ mm} \approx 28 \text{ mm}$$

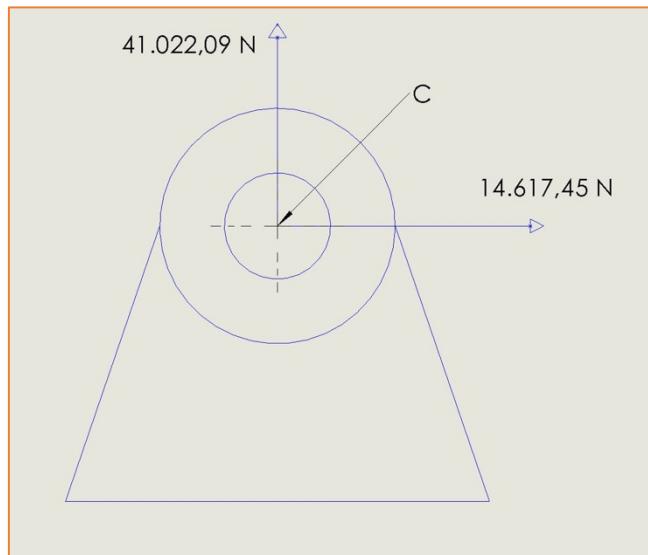
El siguiente paso es calcular el espesor de las orejetas. Como la fuerza se distribuye entre las dos orejetas de las que dispone el perfil, habrá que dividirla entre dos.



$$F_{C \text{ en cada orejeta}} = 43.548,6117 \text{ N} \quad \sigma_{\text{máx adm}} = 150 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 150 \text{ MPa} = \frac{F}{\text{Área}} = \frac{43.548,6117}{\text{Área}} \rightarrow \text{Área} = 290,324 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 290,324 \text{ mm}^2 = D * e = 27,19 * e \rightarrow e = 10,68 \text{ mm} \approx 11 \text{ mm}$$



En la imagen anterior podemos ver las fuerzas que actúan en la orejeta situada en el punto C para la situación más desfavorable.

El siguiente paso es calcular R:

$$F_{Cx \text{ en cada orejeta}} = 14.617,45 \text{ N} ; \quad F_{Cy \text{ en cada orejeta}} = 41.022,09 \text{ N}$$

Para calcular  $F_{Cx}$  y  $F_{Cy}$  en los ejes locales de la orejeta, se deben pasar las fuerzas obtenidas en ejes globales en el EES a los locales para la posición concreta, en este caso la posición 5.

$$\sigma_{TRACCIÓN} = \frac{14.617,45}{\text{Área}} ; \quad \tau_{CORTANTE} = \frac{41.022,09}{\text{Área}}$$

$$\sigma_{VON-MISES} = \frac{\sigma_{\text{máx adm}}}{Cs} = \frac{450 \text{ MPa}}{3} = 150 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VON-MISES} = \sqrt{\sigma_{TRACCIÓN}^2 + 3 * \tau_{CORTANTE}^2}$$

$$\sigma_{VON-MISES}^2 = \sigma_{TRACCIÓN}^2 + 3 * \tau_{CORTANTE}^2 = \frac{14.617,45^2 + 3 * (41.022,09)^2}{\text{Área}^2}$$



$$\text{Área} = 2 * \left( R - \frac{D}{2} \right) * e = 321,37 \text{ mm}^2 \rightarrow R = 28,645 \text{ mm} \approx \mathbf{29 \text{ mm}}$$

Una vez tenemos calculada R, debemos calcular A. Para ello, es necesario predefinir un valor de B. Para predefinir el valor de B, nos fijamos en los distintos catálogos de las máquinas y observamos el valor que toma esta dimensión aproximadamente. En este caso, se ha decidido que B para la orejeta situada en el punto C valga 70 mm.

$$\sigma_{FLEXIÓN} = \frac{N}{\text{Área}} + \frac{M}{I_Z} * \frac{h}{2}$$

$$B = 70 \text{ mm} ; N = 14.617,45 \text{ N} ; M = 41.022,09 * B = 2.871.546,3 \text{ N * mm}^2$$

$$\text{Área} = e * A = 10,68 * A ; I_Z = \frac{1}{12} * e * A^3 = \frac{1}{12} * 10,68 * A^3$$

Despejando el valor de A, se obtiene que **A = 116,84 mm**.

Por lo tanto, la orejeta que se encuentra en el punto C ya estaría definida por completo:

$$D = 28 \text{ mm} ; e = 11 \text{ mm} ; R = 29 \text{ mm} ; B = 70 \text{ mm} ; A = 116,84 \text{ mm}$$

### 3.2 Dimensiones características del conjunto de orejetas del mecanismo

Una vez sabemos ya como realizar el como realizar el cálculo de las dimensiones características de una orejeta, en este apartado vamos a recopilar los resultados obtenidos.

Primero, vamos a ver que fuerzas afectan en la posición más crítica en los puntos donde se sitúan las orejetas, tanto en módulo, como en los ejes locales de la propia orejeta. Todas las fuerzas se expresan en Newtons. La fuerza que actúa en cada una de ellas es la mitad, ya que disponemos de dos orejetas en cada punto.



Punto	Posición	F (módulo)	Fx local	Fy local
C	5	87097,2234	29234,9	82044,18
G	5	113097,24	112729,8	9109,62
H	10	176714,44	84158,31	155387,81
I	9	175739,605	175391,8	11035,8
M	10	176714,44	174653	26912,86
J	9	276116,3086	252577	111557,61
K	9	393306,755	13529	393074

Punto	Diámetro	Espesor	R	B	A
C	27,19	10,68	28,645	70	116,84
G	30,98	12,167	42,26	100	195,023
H	38,73	15,21	42,715	150	266,71
I	38,62	15,17	52,71	100	104,826
M	38,73	15,21	52,645	85,4	204,04
J	48,41	19,011	63,785	75,5	220,82
K	57,78	22,69	57,81	60	126

## Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una excavadora con cadenas para una fuerza de excavación del cazo de 22.5 KN

### **ANEXO 5. MEDIDAS GENERALES DE SEGURIDAD**

Autor/es

Eduardo Peñarrubia Castro

Director/es

Javier Óscar Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza.

2017/2018



## Índice Anexo 5

<b>1. Introducción.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2. Reglas de seguridad generales .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.1 Medidas preventivas de carácter general .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.2 Medidas preventivas referentes a los elementos móviles de la máquina .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.3 Medidas preventivas en lo referente al sistema eléctrico .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.4 Medidas preventivas para atenuar los ruidos y las vibraciones .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>2.5 Medidas preventivas a la hora de poner en marcha la máquina .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>2.6 Medidas preventivas a la hora de realizar una parada de emergencia .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>2.7 Medidas preventivas a la hora de realizar el transporte de la máquina.....</b>	<b>- 5 -</b>



## 1. Introducción

En este Anexo se van a definir unas reglas generales de seguridad básicas para el uso, transporte y mantenimiento de la máquina.

Aplicar estas reglas de seguridad en todo momento es esencial para evitar todo tipo de accidentes ocasionados durante las labores de trabajo de la máquina, transporte y mantenimiento.

Como el propósito es evitar los accidentes, en este Anexo se van a recopilar las medidas preventivas necesarias para evitar la mayoría de accidentes.



## 2. Reglas de seguridad generales

### 2.1 Medidas preventivas de carácter general

La máquina, todos y cada uno de los elementos que la constituyen y los aparatos que puedan acoplarse deben estar diseñados de tal forma que las personas no estén expuestas a ningún tipo de peligro a la hora del montaje, uso o mantenimiento de estos. Este montaje, uso o mantenimiento debe realizarse en todo momento de la forma prevista por el fabricante.

Todas y cada una de las diferentes partes de la máquina, además de los elementos que la constituyen, deben poder soportar los esfuerzos a los que se encuentran sometidas durante toda la vida útil de la máquina. Además de los esfuerzos, también deben ser capaces de soportar cualquier inclemencia debida al tiempo meteorológico que se pudiera dar durante sus labores de trabajo.

Si en cualquier momento se observa la rotura o fisura de cualquier parte de la máquina que pudiera ocasionar cualquier tipo de peligro, se deberán tomar inmediatamente todas las precauciones adicionales necesarias para evitar de forma eficaz que cualquier parte de la máquina pudiera caer sobre una persona.

En lo referente a la estabilidad de la máquina, se deberán tomar todas las medidas técnicas proporcionadas por el fabricante para evitar la pérdida de estabilidad en todo momento, ya sea durante las labores de trabajo, transporte de la misma, o cuando esté parada.

### 2.2 Medidas preventivas referentes a los elementos móviles de la máquina

Cualquier elemento móvil de la máquina, y de todos y cada uno de los aparatos utilizados en la transmisión de energía o movimiento deben diseñarse desde un primer momento para prevenir cualquier tipo de peligro que pudiese ocasionar un accidente de cualquier índole. Para ello, se construirán y protegerán de la forma más adecuada posible para evitar estos accidentes.

### 2.3 Medidas preventivas en lo referente al sistema eléctrico

La máquina se debe dotar de todos los sistemas de protección necesarios para evitar cualquier tipo de peligro originado por el sistema eléctrico.



## **2.4 Medidas preventivas para atenuar los ruidos y las vibraciones**

Desde un primer momento, la máquina se debe diseñar para intentar amortiguar todo lo posible los ruidos y las vibraciones originadas a la hora de realizar las labores de trabajo o transporte. Además, se tendrá que cumplir la normativa vigente respecto al impacto acústico en todo momento. Esta normativa puede variar según el horario y lugar de las labores de trabajo.

## **2.5 Medidas preventivas a la hora de poner en marcha la máquina**

La puesta en marcha de la máquina deberá realizarse en todo momento de forma que las condiciones de seguridad para las personas que se encuentren en el entorno de trabajo queden garantizadas. Además, también se deberá verificar que las condiciones de seguridad de la propia máquina quedan también garantizadas.

Si en algún momento la máquina se para de forma repentina por cualquier motivo ajeno al maquinista, la puesta en marcha no puede ser automática al subsanarse el fallo. La puesta en marcha la tendrá que realizar el maquinista de forma deliberada.

Si se produce una parada en la máquina debida a la actuación de cualquier sistema de protección, al igual que en el caso anterior, la vuelta al funcionamiento solo puede realizarse de forma deliberada por el maquinista.

## **2.6 Medidas preventivas a la hora de realizar una parada de emergencia**

Si la máquina necesita realizar una parada de emergencia en cualquier circunstancia, estará dotada de un sistema de paro de emergencia que permita este tipo de parada de la forma más rápida posible garantizando siempre la seguridad del maquinista, de la máquina y de las personas que pudieran estar cerca de la máquina.

## **2.7 Medidas preventivas a la hora de realizar el transporte de la máquina**

Se deberá indicar el peso de todas las piezas que deban desmontarse para el transporte de la máquina, siempre y cuando estas piezas superen un peso de 80 kilogramos.



Se deberá indicar la posición precisa de transporte de cada una de las piezas.  
Además, el fabricante deberá indicar la forma correcta de sujetarla.

## Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una excavadora con cadenas para una fuerza de excavación del cazo de 22.5 KN

### **ANEXO 6. RECOPILACIÓN DE LOS PLANOS**

Autor/es

Eduardo Peñarrubia Castro

Director/es

Javier Óscar Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza.

2017/2018



## Índice Anexo 6

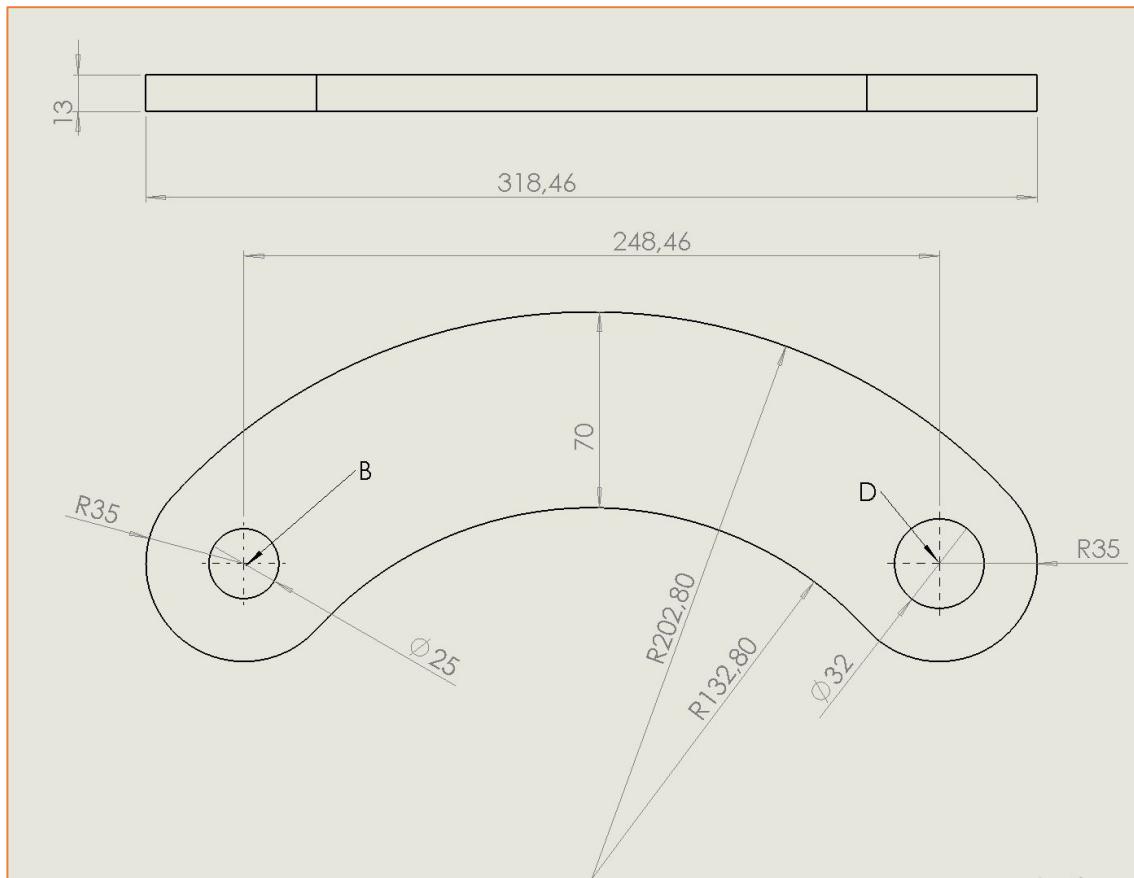
<b>1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2.</b>	<b>Planos de la pieza BD .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>3.</b>	<b>Planos de la pieza FD .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>4.</b>	<b>Planos de la pluma.....</b>	<b>- 7 -</b>
<b>5.</b>	<b>Planos del balancín .....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>6.</b>	<b>Planos del cazo .....</b>	<b>- 12 -</b>

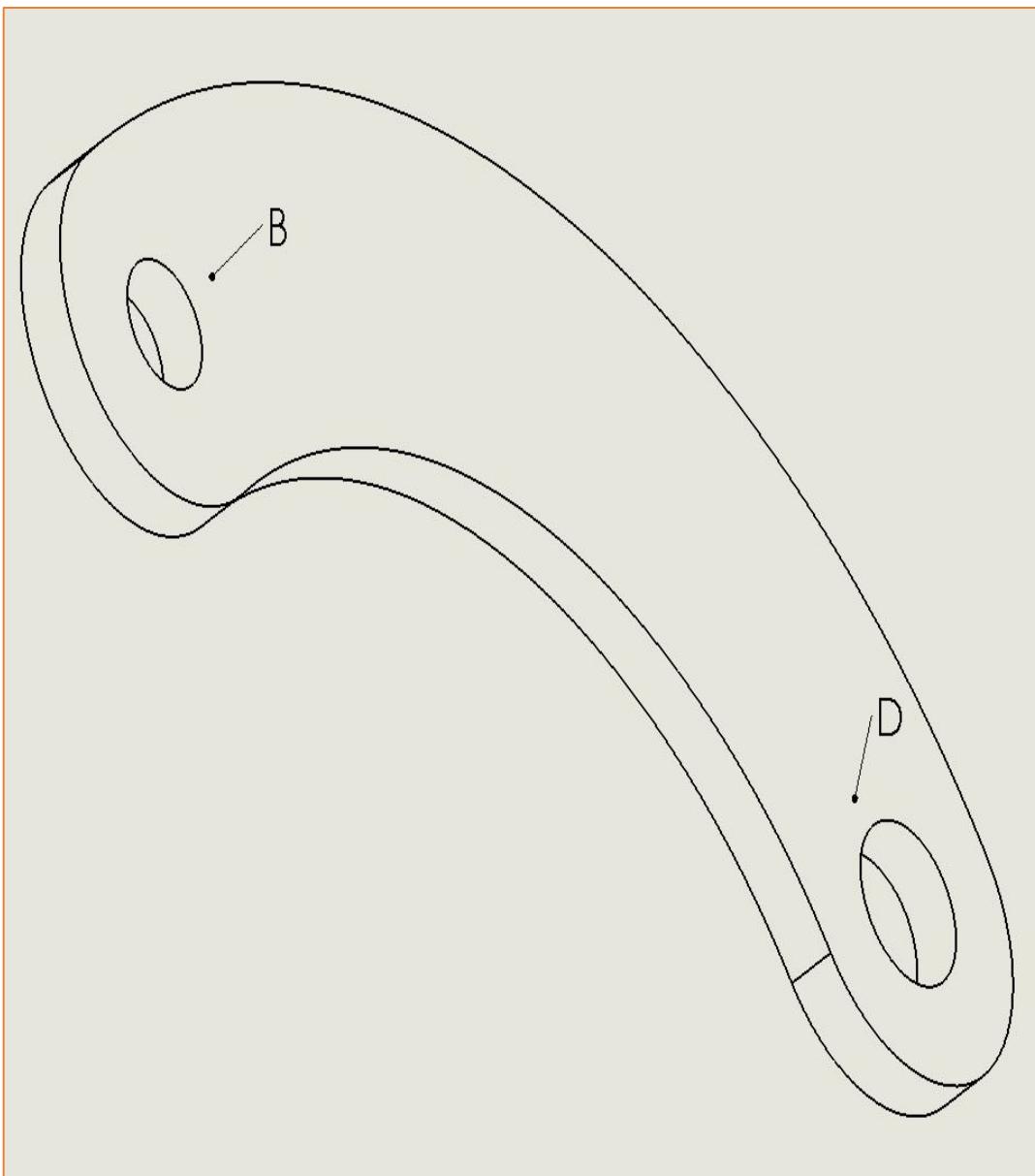


## 1. Introducción

En este Anexo se van a recopilar los planos que se han ido adjuntando en los documentos del presente Trabajo Fin de Grado.

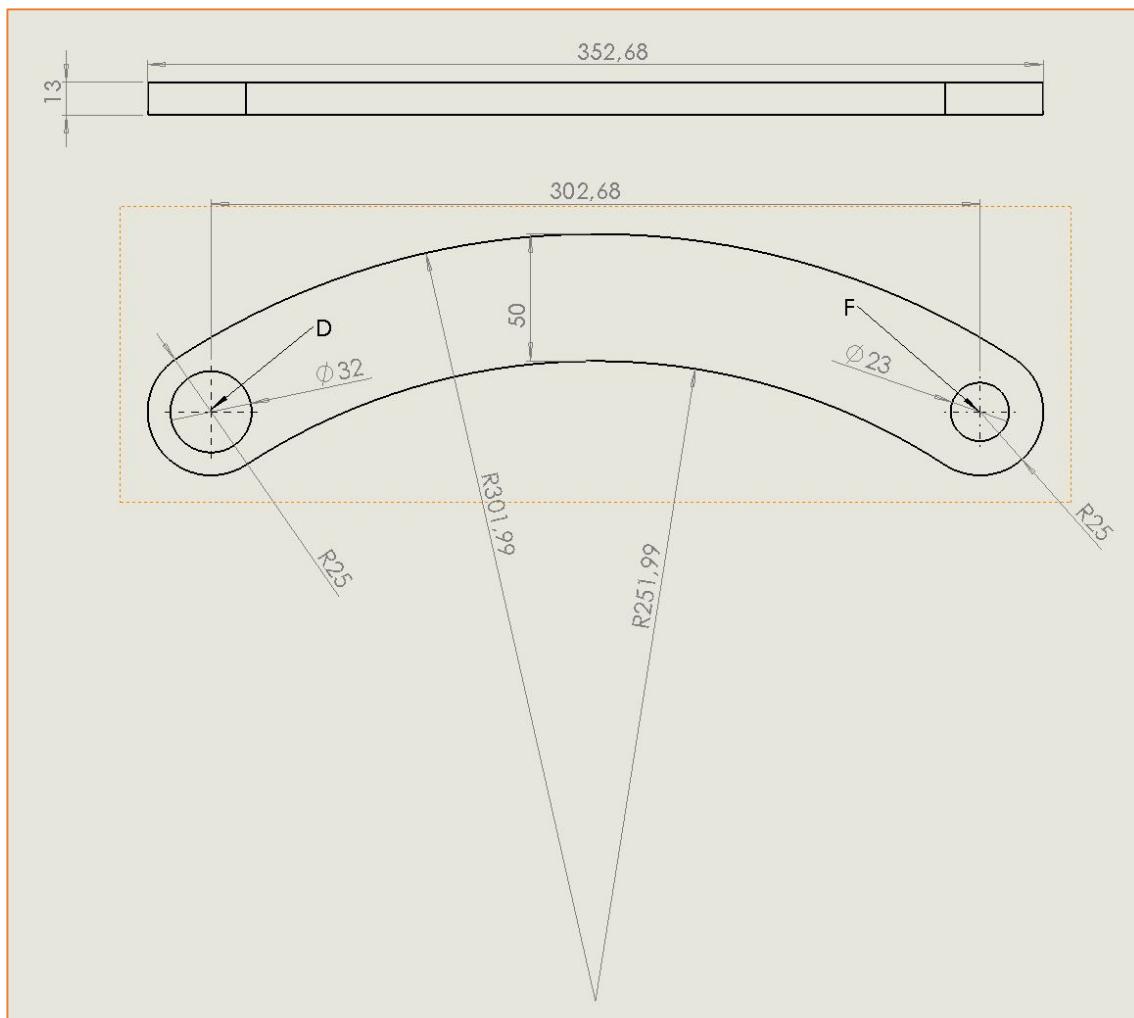
## 2. Planos de la pieza BD

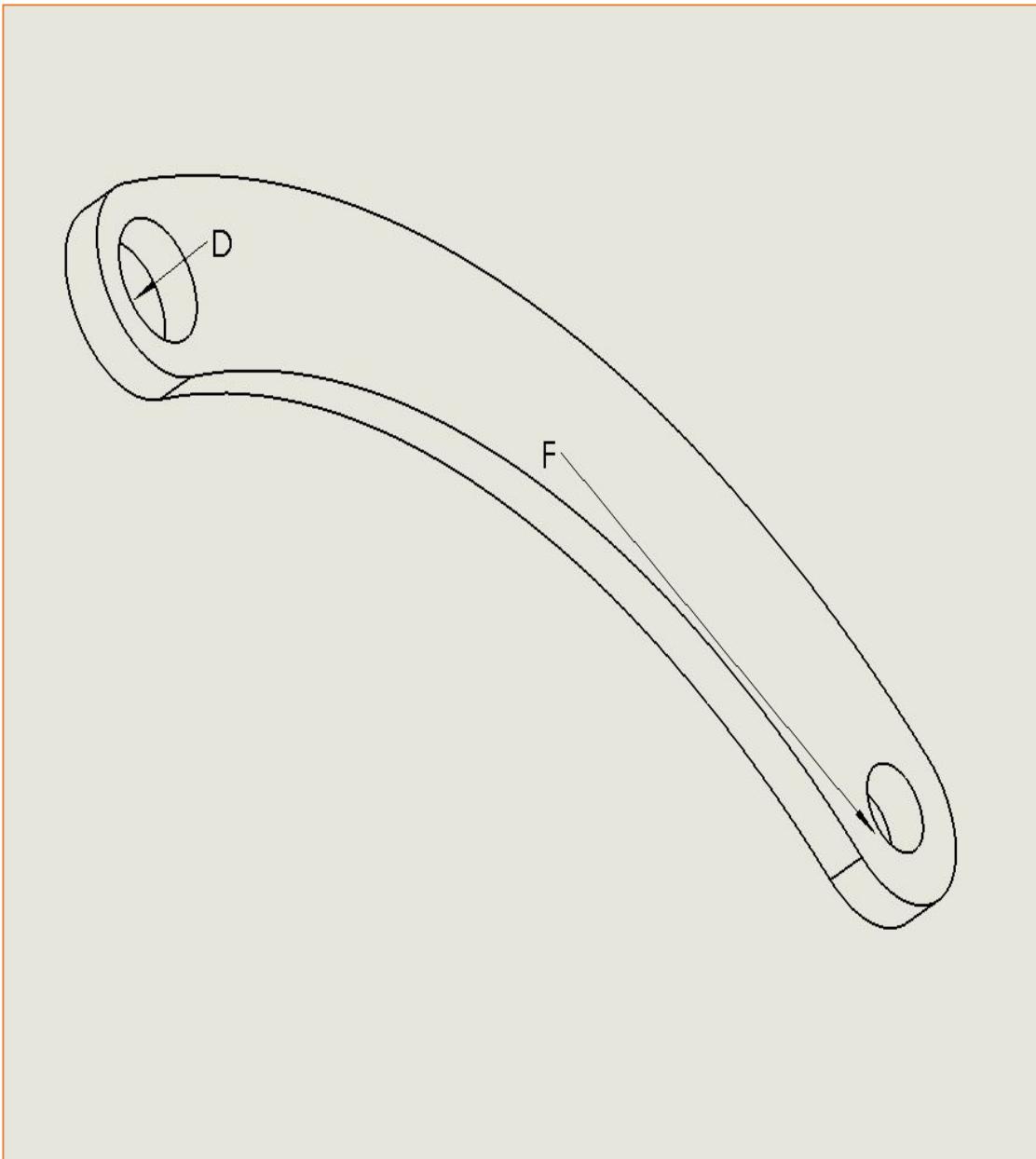






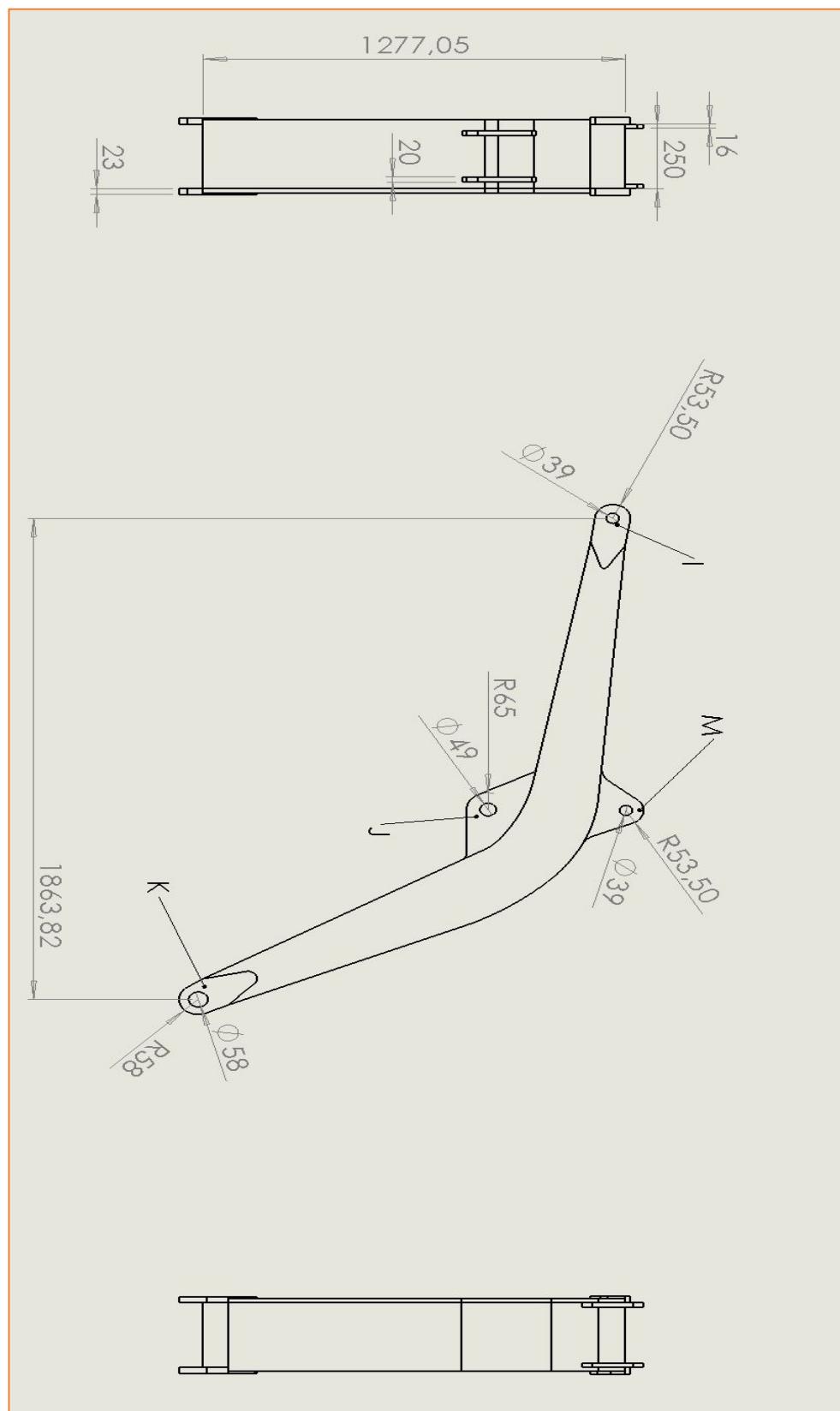
### 3. Planos de la pieza FD

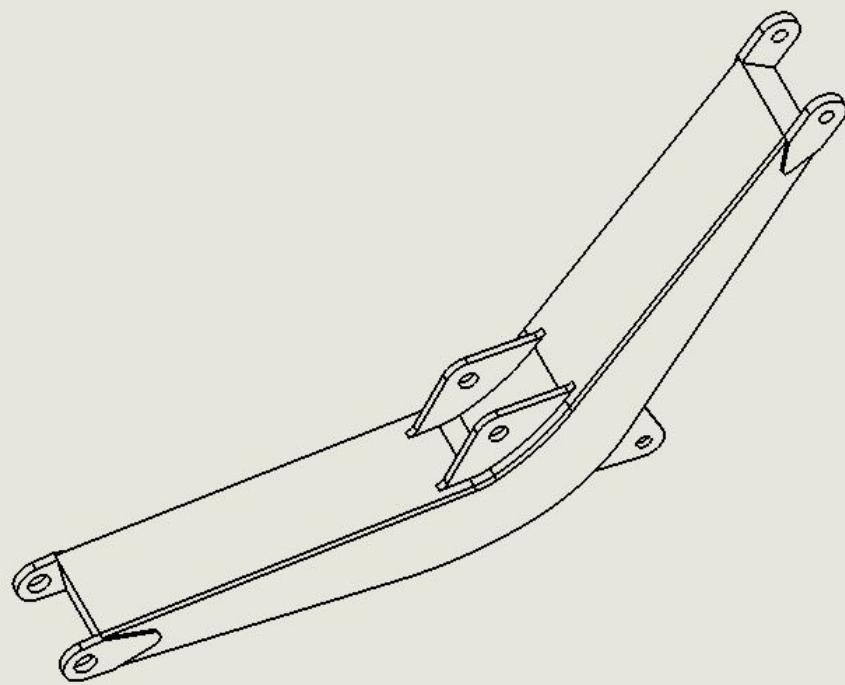
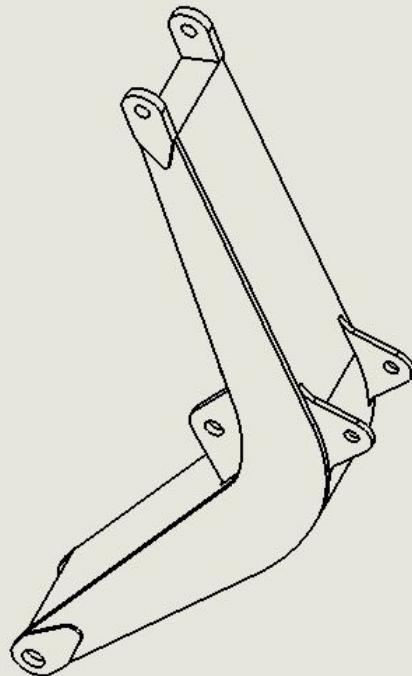


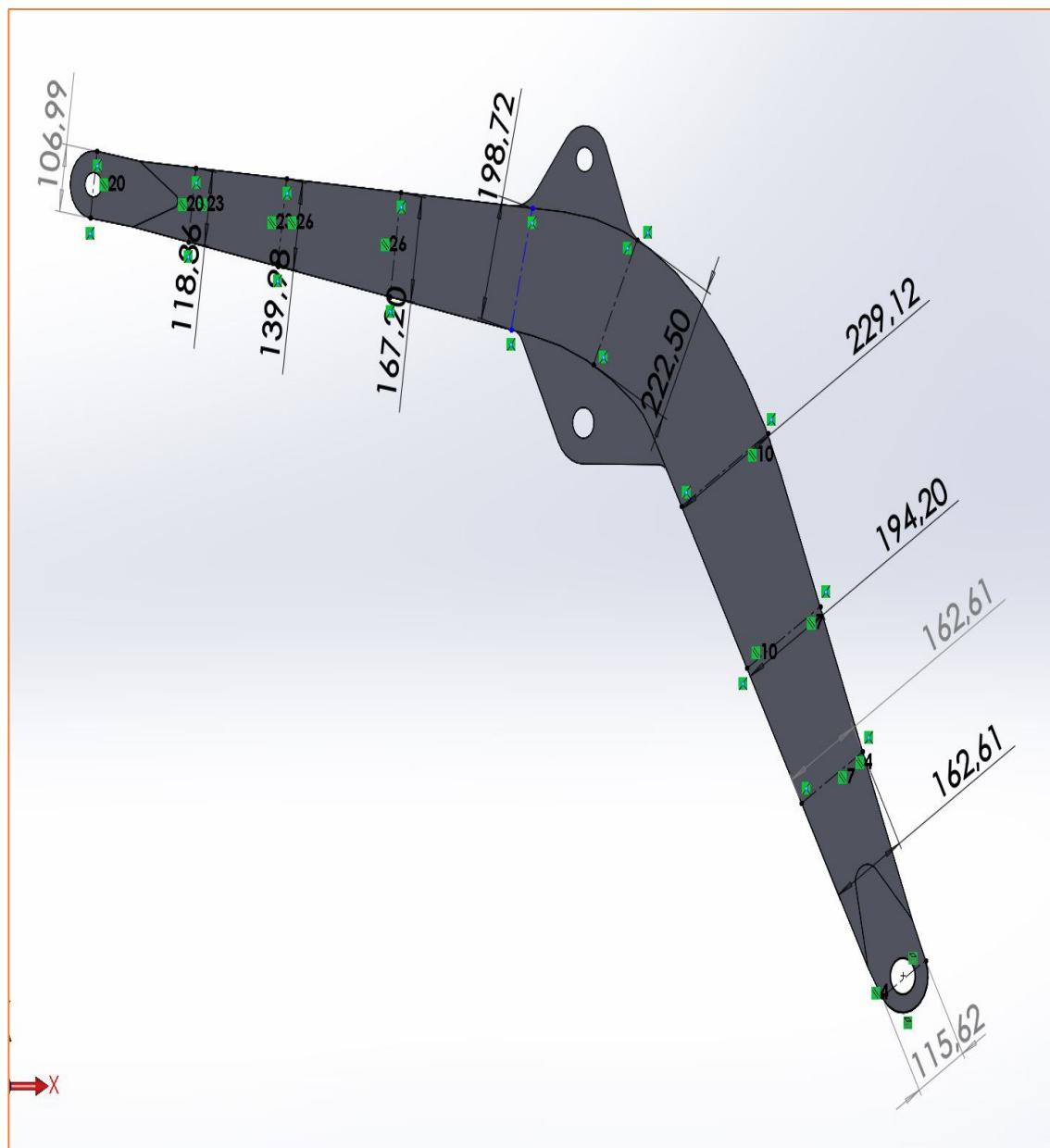




## 4. Planos de la pluma

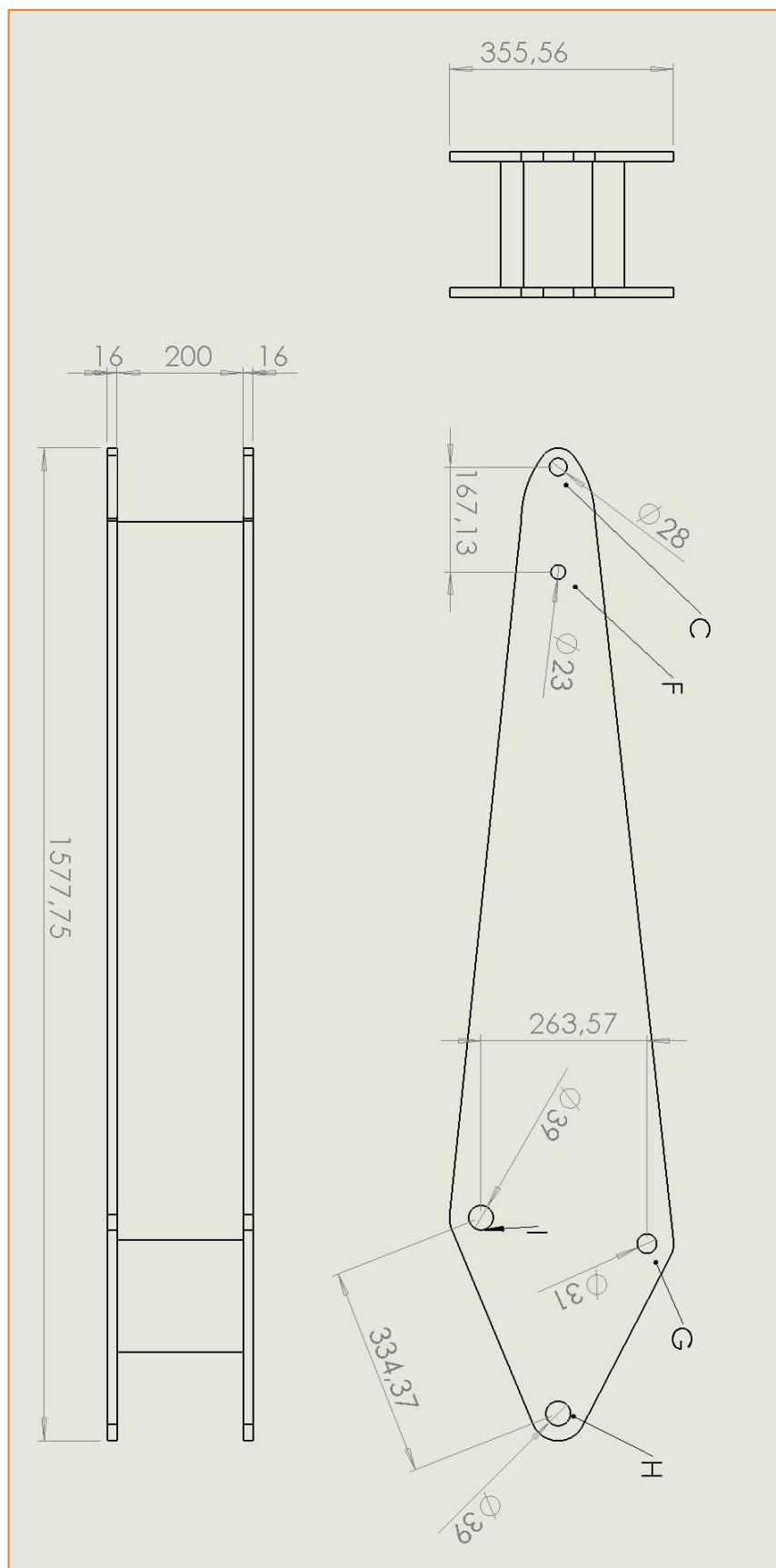


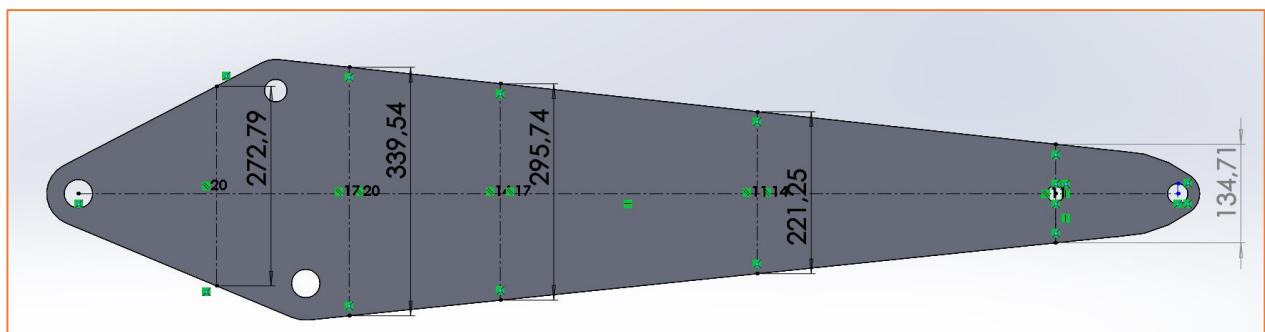
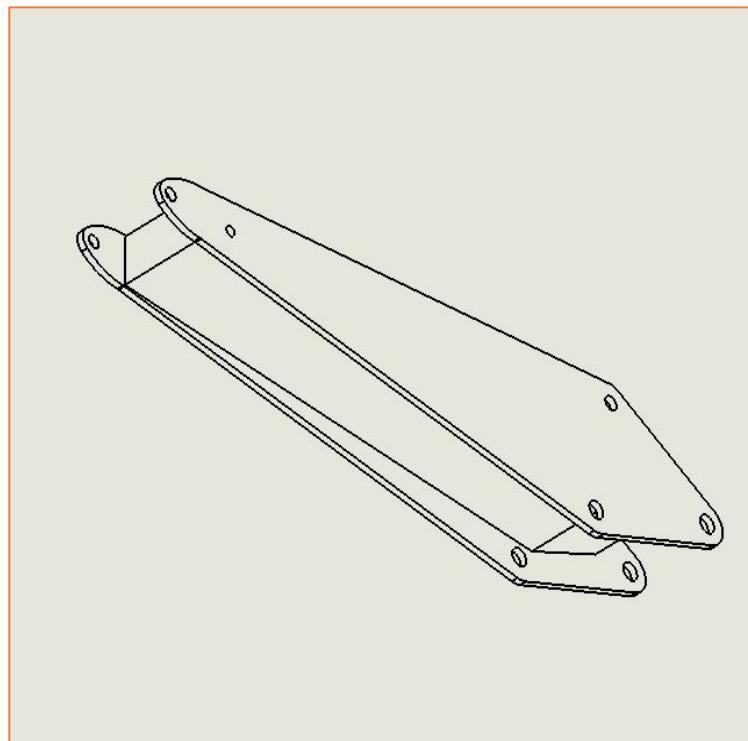






## 5. Planos del balancín







## 6. Planos del cazo

