



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

PROYECTO FIN DE CARRERA

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA PALA TRASERA DE UNA RETROEXCAVADORA

AUTOR

JESUS SEGURA MORENO

DIRECTOR

JAVIER ABAD BLASCO

ESPECIALIDAD

MECANICA

CONVOCATORIA

SEPTIEMBRE 2012



INDICE

1.	OBJETIVO.....	4
2.	ANÁLISIS CARACTERÍSTICAS DE LA PALA.....	4
2.1.	SELECCIÓN DE MODELO COMERCIAL.....	5
2.2.	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y DIMENSIONALES	5
3.	ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA.....	10
3.1.	DEFINICIÓN DE DIMENSIONES	15
4.	ANÁLISIS ANALÍTICO	22
4.1.	INTRODUCCIÓN	22
4.2.	PRESTACIONES DE LA RETRO	22
4.3.	POSICIONES ESTUDIADAS.....	24
5.	PLANTEAMIENTO RESOLUCIÓN ANALÍTICA	41
5.1.	DIAGRAMAS SOLIDO LIBRE	42
5.1.1.	RESOLUCIÓN DE REACCIONES.....	48
5.2.	DISTANCIAS PARA EL CÁLCULO DE MOMENTOS.....	51
5.3.	CÁLCULO REACCIONES	56
5.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	70
6.	COMPROBACIÓN NUMÉRICA DEL CÁLCULO ANALÍTICO DE LAS REACCIONES.....	77
6.1.	CREACIÓN ESTRUCTURA	77
6.2.	CONDICIONES DE LA SIMULACIÓN.....	81
6.3.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	89
7.	SELECCIÓN DE CILINDROS	98
7.1.	COMPROBACIÓN DE PANDEO.....	103
7.2.	CARACTERÍSTICAS CILINDROS	108
7.4.	COMPROBACIÓN LONGITUD DE CARRERA.....	109
7.3.	ACCESORIOS CILINDROS.....	110
8.	DEFINICIÓN DE PASADORES.....	113
8.1.	PASADORES CILINDROS.....	113
8.2.	PASADORES PERFILES.....	118
9.	OREJETAS.....	122
9.1.	ESPESOR OREJETAS	122
10.	DISEÑO DE ELEMENTOS	128
10.1.	MODELIZACIÓN	128



10.2. ESTUDIO DE DISEÑO.....	134
10.2.1. SELECCIÓN DE POSICIONES CRÍTICAS.....	134
10.2.2. TIPOS DE ESTUDIO.....	136
10.2.3. ANÁLISIS MODAL.....	136
10.2.4. ESTUDIO ESTÁTICO.....	142
10.2.4.1. ESTUDIO ANALITICO A PANDEO DEL ELEMENTO DB	142
10.2.4.2. ESTUDIO ESTÁTICO POR SOLIDWORKS	146
10.2.4.2.1. CONDICIONES DEL ESTUDIO.....	146
10.2.4.2.1. 1. CONJUNTO DE SUPERFICIES	148
10.2.4.2.1. 2. CONEXIONES	149
10.2.4.2.1. 3. CONJUNTOS DE CONTACTO	149
10.2.4.2.1. 4. CONTACTO ENTRE SUPERFICIES	150
10.2.4.2.1. 5. SUJECIONES	150
10.2.4.2.1. 6. CARGAS EXTERNAS.....	151
10.2.4.2.1. 7. MALLADO	154
10.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	163
10.3.1. MEJORAS EN EL DISEÑO	168
11. VERIFICACION ENSAMBLAJE	187
12. CONCLUSIONES	190
13. BIBLIOGRAFÍA.....	192
13.1. PÁGINAS WEB Y CATÁLOGOS.....	192
13.1.1. EMPRESAS FABRICANTES DE RETROEXCADADORAS.....	192
13.1.2. EMPRESAS FABRICANTES DE CILINDROS	192
13.1.3. PERFILES COMERCIALES	192
13.2. MANUALES Y LIBROS.....	192
ANEXO I: CÁLCULO DE REACCIONES MANUAL.....	193
ANEXOII: CATALOGO RETROEXCAVADORA JCB 4CX	201
ANEXO III: CATALOGO CILINDROS.....	203
ANEXO IV: CATALOGO PERFILES.....	209



1.OBJETIVO

EL objetivo de este proyecto consiste en diseñar la pala trasera de una retroexcavadora, la cual su uso estaría destinado para el sector de la construcción.

El diseño se va a realizar partiendo de las características dimensionales y de cargas de un modelo comercial, calculando las reacciones en los diferentes elementos que componen la pala para unas determinadas posiciones en función de las características dimensionales de esta.

También se escogerán los cilindros comerciales necesarios para cumplir las características de cargas requeridas y se definirá tanto el material como los diámetros necesarios para los pasadores.

La parte final del proyecto consiste en dimensionar y modelizar los elementos que componen el cuerpo de la pala trasera atendiendo a los criterios de coeficientes de seguridad y de desplazamientos requeridos.

2.ANÁLISIS CARATERISTICAS DE LA PALA

Como punto de partida para poder realizar el diseño de la pala trasera se han analizado diferentes modelos de palas comerciales ya existente en el mercado de la construcción.

Una vez seleccionado el modelo, se analizaran sus características tanto dimensionales como de carga definidas por el fabricante y a partir de estas se definirán las características que tendrán el modelo a diseñar.

2.1. SELECCIÓN DE MODELO COMERCIAL

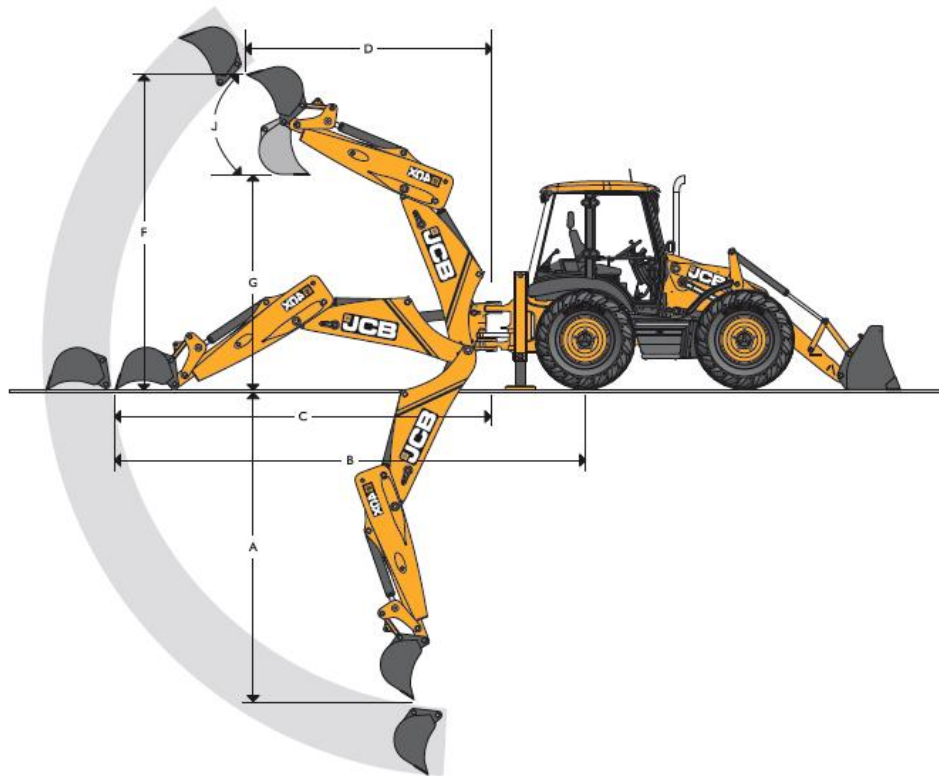
Para la determinación de las dimensiones que va a tener la retroexcavadora sobre la que se realiza el estudio, se ha buscado información sobre las dimensiones de los modelos comerciales de las marcas más características del sector como: JCB, CATERPILLAR, VOLVO, KOMATSU, CASE, NEW HOLLAND...

Tras analizar las dimensiones facilitadas por los catálogos de los fabricantes, se ha decidido tomar como base para la realización del estudio el modelo 4CX de JCB, puesto que es el modelo del cual se ha obtenido mayor cantidad de información acerca de sus características dimensionales.

2.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y DIMENSIONALES

Una vez determinado el modelo comercial en el que se va a basar el estudio se han utilizado las características geométricas facilitadas por el fabricante en el catalogo comercial.

A continuación se muestran la información dimensional obtenida de este modelo y como se ha utilizado esta para determinar la geometría del modelo del estudio:


Figura 1 - Dimensiones

DIMENSIONES DE LA RETRO			
Modelo		4CX	4CX Super
		m	m
A Profundidad de excavación SAE	Ext	5,53	6,14
	Ret	4,32	4,98
Superficie plana de 66cm SAE	Ext	5,50	6,11
	Ret	4,29	4,93
Profundidad máxima de excavación	Ext	5,88	6,51
	Ret	4,67	5,35
B Alcance desde el suelo al centro de la rueda trasera	Ext	7,88	8,44
	Ret	6,74	7,35
C Alcance desde el suelo al centro de giro	Ext	6,54	7,10
	Ret	5,40	6,01
D Alcance desde altura total al centro de giro	Ext	3,75	4,47
	Ret	2,82	3,43
E Alcance lateral al centro de la máquina	Ext	7,16	7,71
	Ret	6,02	6,69
F Altura operativa SAE	Ext	6,26	6,52
	Ret	5,45	5,89
G Altura máxima de descarga	Ext	4,73	5,03
	Ret	3,84	4,06
Altura de descarga SAE	Ext	4,28	4,55
	Ret	3,39	3,58
H Desplazamiento total del kingpost		1,16 - 1,05	1,16
J Rotación del cazo	Velocidad	201°	201°

Tabla 1 - Tabla dimensiones

En análisis inicial se va a dimensionar la estructura principal de la retro como una estructura articulada, para poder realizar por medio de diagramas de solido libre un estudio teórico de las respectivas posiciones definidas para este.

Para poder llevar a cavo el dimensionamiento de la estructura se va a proceder a realizar en SOLIDWORKS los diferentes elementos de la retro como una estructura de barras por medio de la herramienta de croquis.

Los pasos seguidos para ello son:

1. Insertar la imagen de la retro perteneciente al catalogo como imagen de croquis, en croquis del SolidWorks, escalándola a tamaño real utilizando las medidas facilitadas por el fabricante. El proceso de escala se ha realizado mirando una distancia dada en el catalogo entre dos puntos y midiendo esta en SolidWorks sobre la imagen y agrandando la imagen hasta que la dimensión medida concediera con la facilitada en el catalogo por el fabricante.

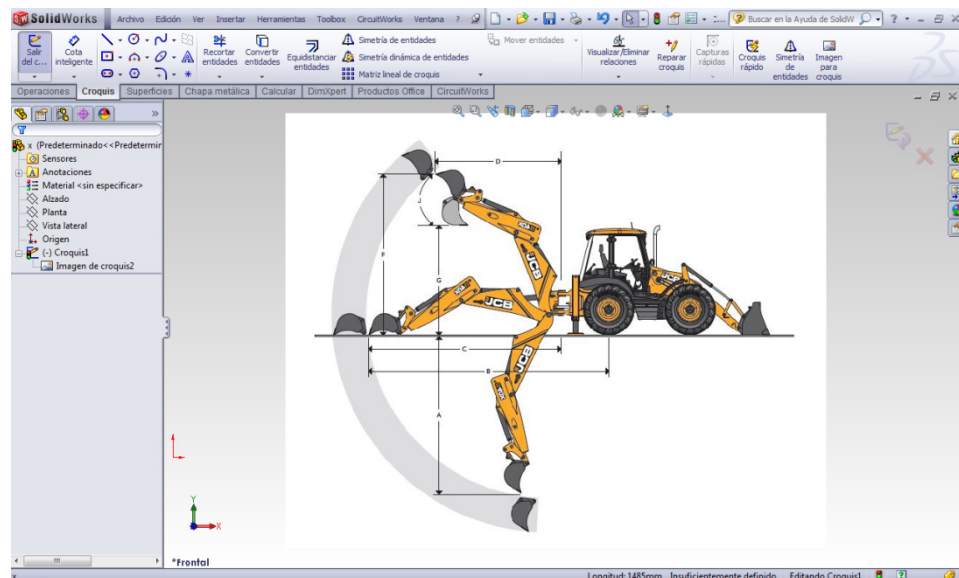


Figura 2 - Plantilla croquis

2. Utilizando esta imagen como base se realiza el croquis de las barras que formar la estructura principal de la retro, redondeando dimensiones para que tengas dimensiones exactas.

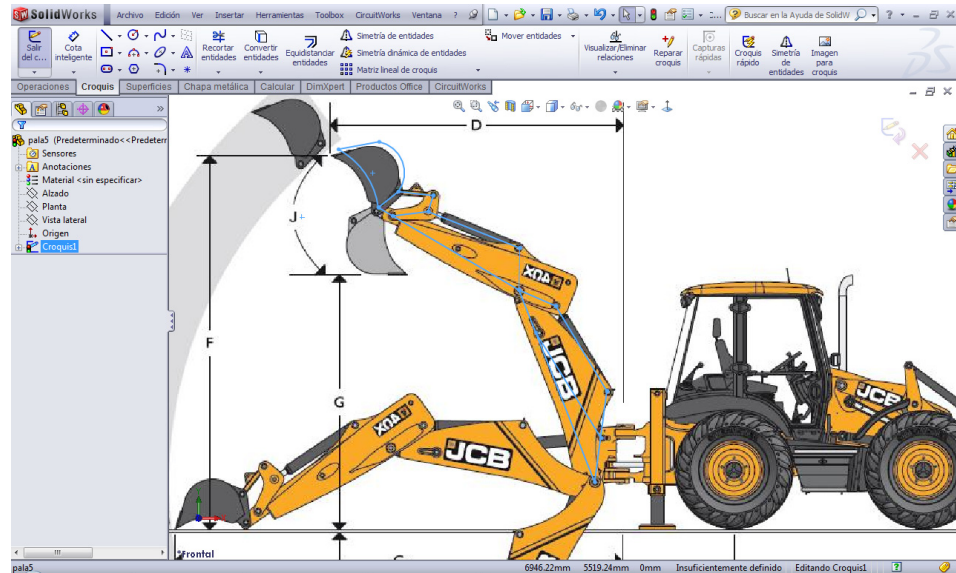


Figura 3 - Croquis

3. Para poder simular el movimiento del croquis con el real de la retro, cada conjunto de barras que formen parte de un elemento perteneciente a la retro se definirán como bloque, de tal forma que estas se comporten como un único elemento.

Por otro lado, los cilindros no están definidos como bloques, puesto que su longitud varía en función de la posición que este la retro.

Para crear los bloques se han utilizado la opción crear bloque de SolidWorks, la cual permite seleccionar elementos de un croquis y que estos funcionen como un elemento único dentro del croquis, guardando las relaciones ya existentes entre los elementos seleccionados. Con la utilización de bloques se puede desarrollar un modelo conceptual de la retro permitiendo el movimiento entre las diferentes piezas que la forman.

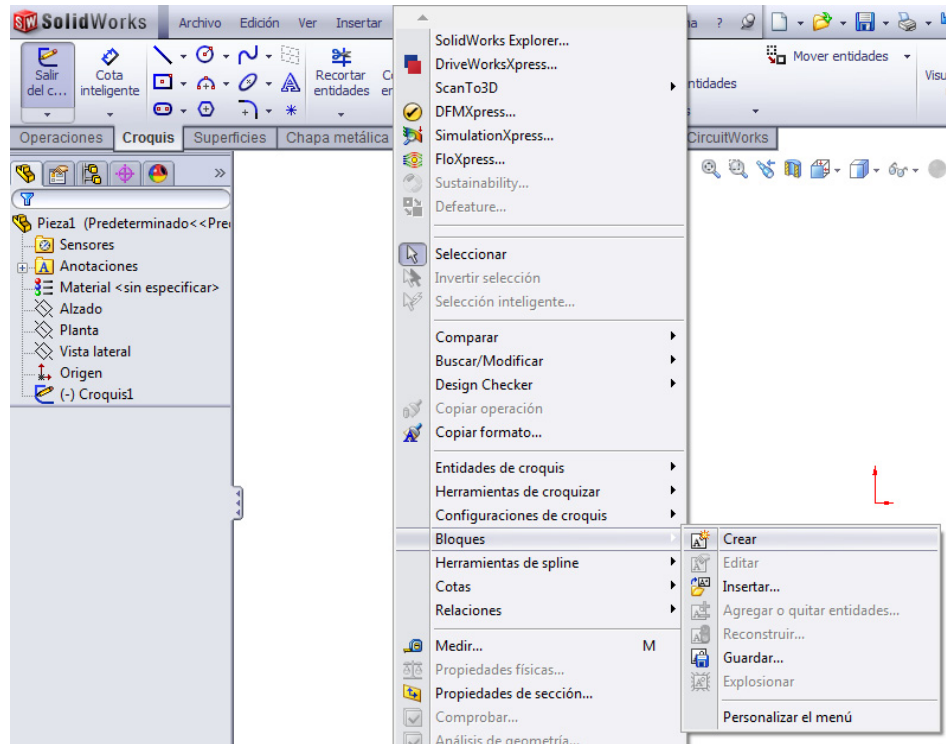


Figura 4 - Herramienta crear bloque

Mediante esta opción se crearan todos bloques de los elementos que forman parte de la estructura de la retro, permitiendo simular el movimiento real entre estas.

3.ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA

Una vez terminado el proceso de creación de los bloques pertenecientes a los elementos que forman parte de la estructura de la retro, el resultado obtenido para el conjunto de elementos sería el siguiente:

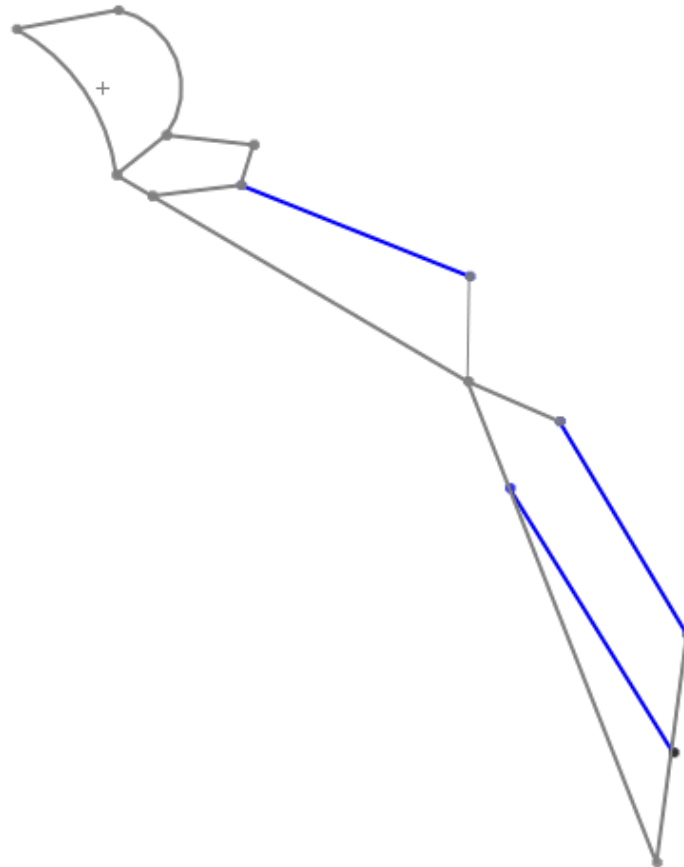


Figura 5 - Estructura

El conjunto de bloques o elementos que forman parte de la estructura de la retro son:

- **Cazo ABC**

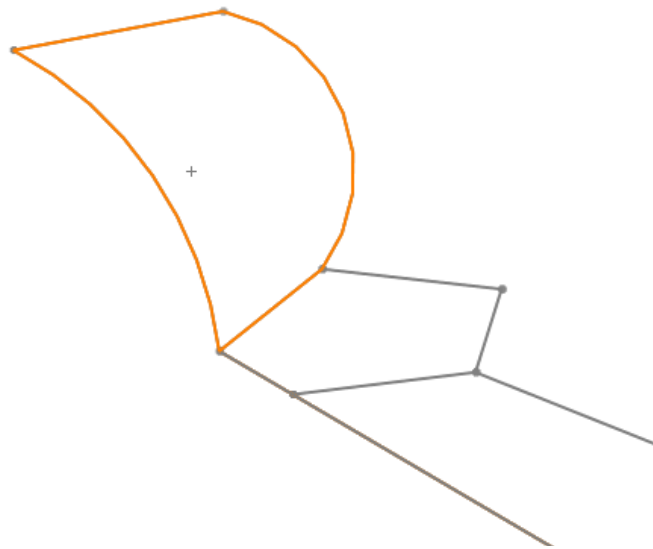


Figura 6 - Elemento ABC

- **Elemento BD**

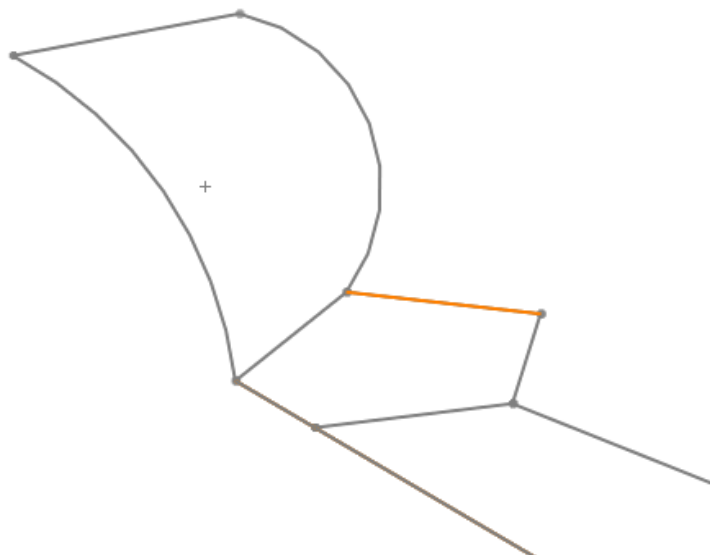


Figura 7 - Elemento BD

- **Elemento DEF**

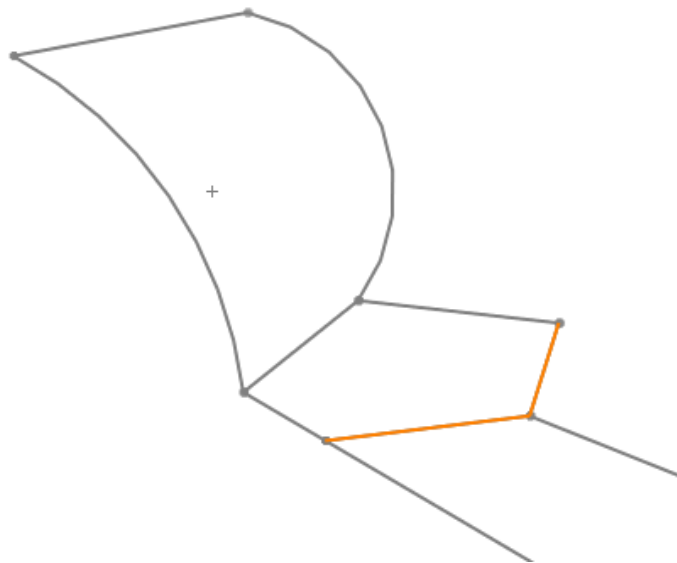


Figura 8 - Elemento DEF

- **Elemento CFHIG**

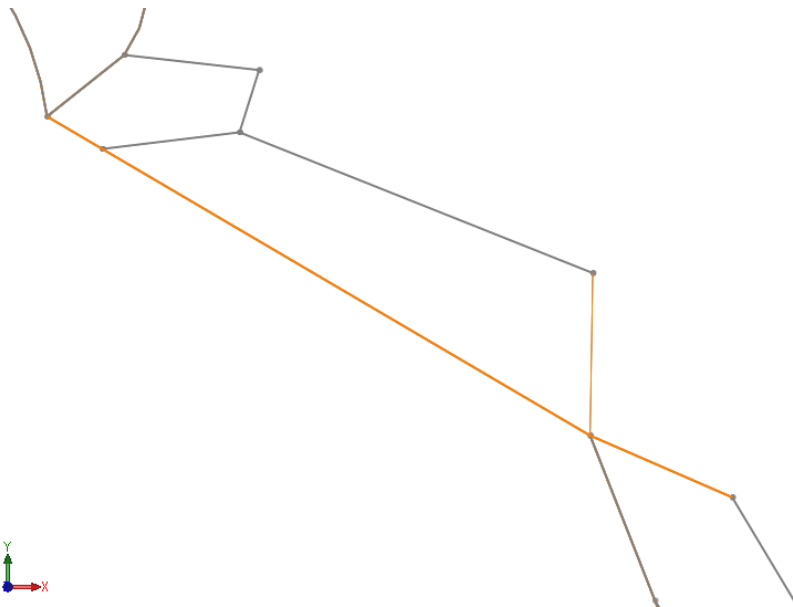


Figura 9 - Elemento CFHIG

- **Elemento HJKM**

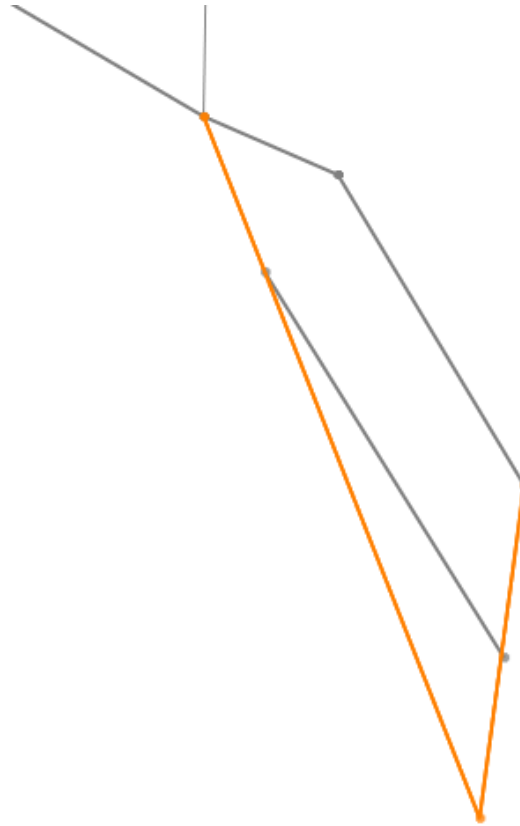


Figura 10 - Elemento HJKM

- **Cilindro 1 EG**

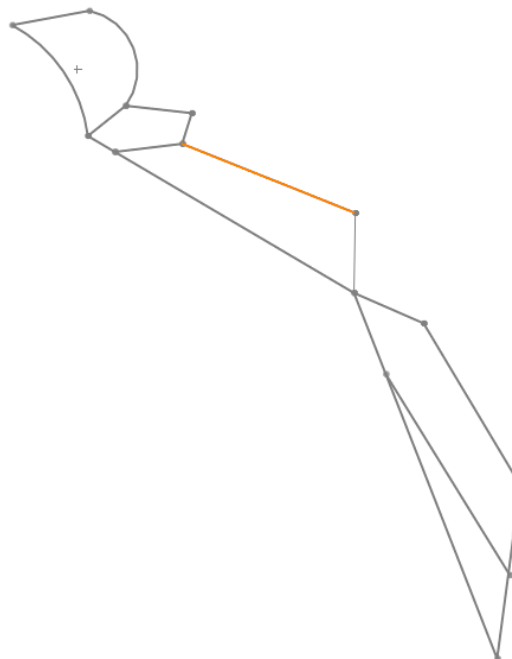


Figura 11 - Cilindro 1

- **Cilindro 2 IK**

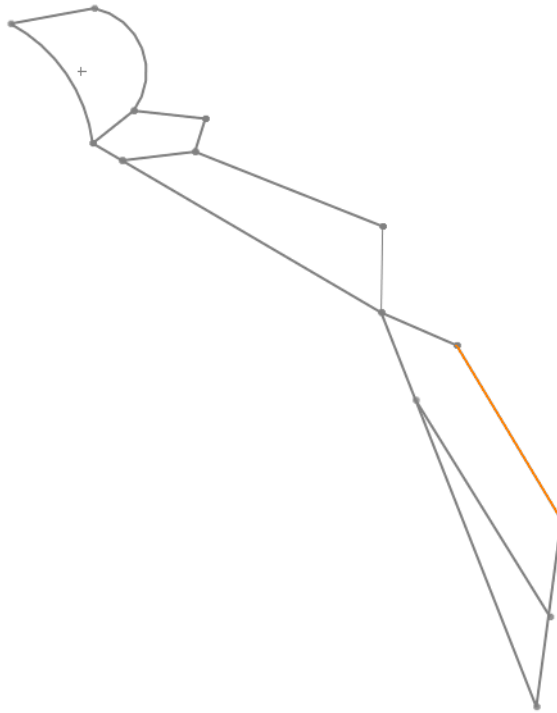


Figura 12 - Cilindro 2

- **Cilindro 3 JL**

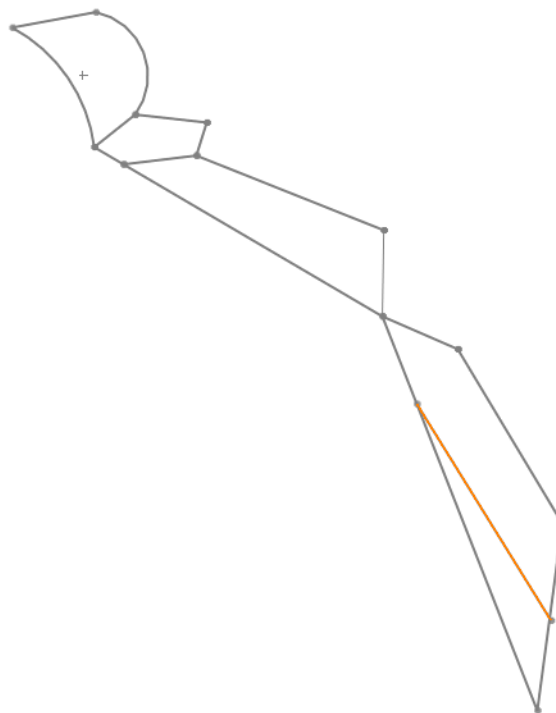


Figura 13 - Cilindro 3

3.1. DEFINICIÓN DE DIMENSIONES

Una vez terminada la estructura en forma de bloques, se pasa a determinar el rango valores de longitud que van a tomar los cilindros, para ello se utilizan las medidas de alcance determinadas en el catalogo adaptadas al redondeo de cotas que se ha realizado, para ello se posicionara la estructura en las posiciones mas extremas para los cilindros tanto máximas como mínimas para poder hallar el rango de valores que actúan los cilindros, estos valores también han sido redondeados en función de el resto de elementos que forman parte de la estructura de la retro.

Las posiciones extremas que se han tenido en cuenta para le dimensionamiento de los cilindros son:

- **Cilindro 1**

- a) Posición de longitud mínima

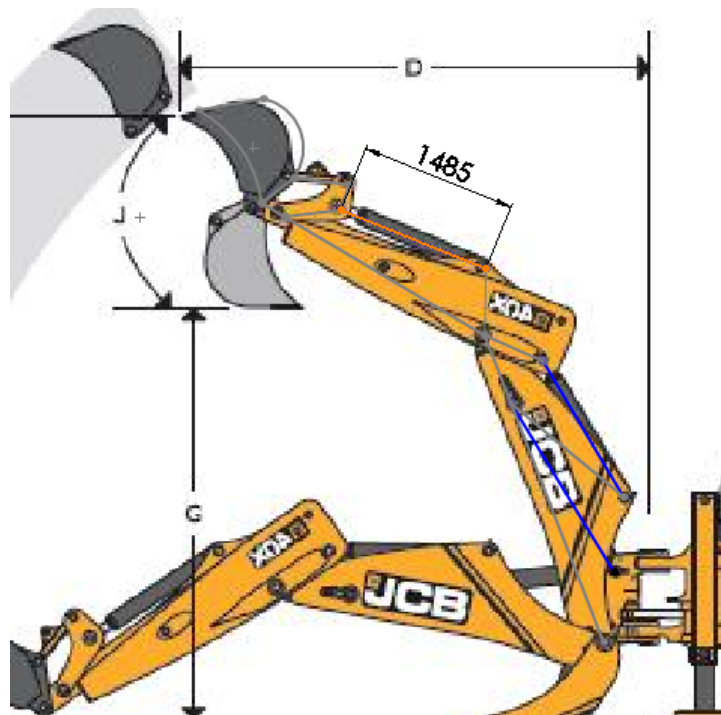


Figura 14 - Cilindro 1 posición mínima

b) Posición de longitud máxima

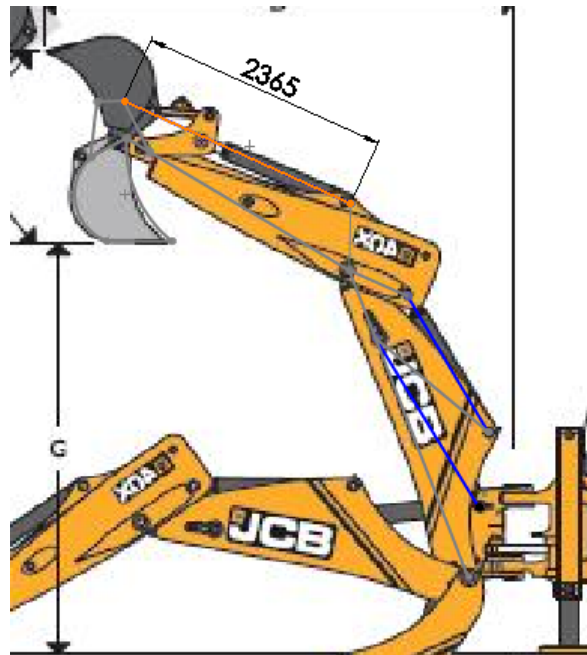


Figura 15 - Cilindro 1 posición máxima

• Cilindro 2

a) Posición de longitud mínima

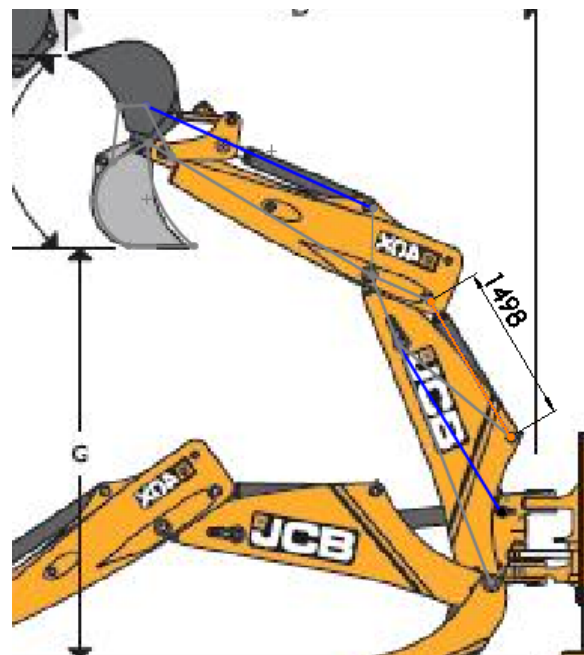


Figura 16 - Cilindro 2 posición mínima

b) Posición de longitud máxima

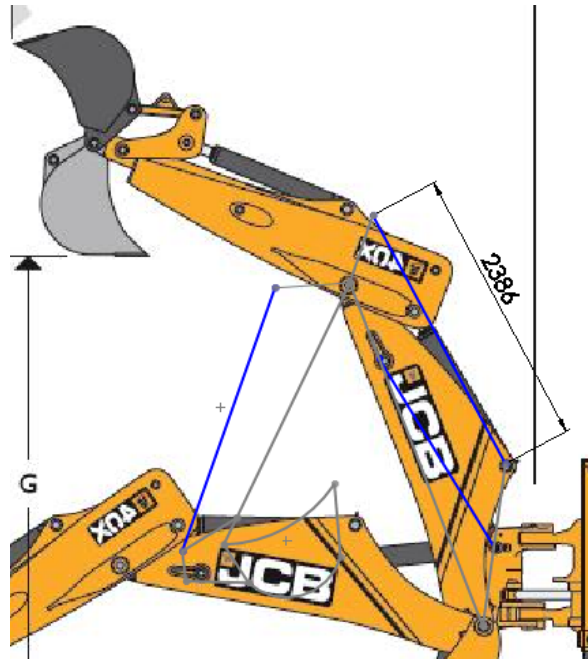


Figura 17 - Cilindro 2 posición máxima

• Cilindro 3

a) Posición de longitud mínima

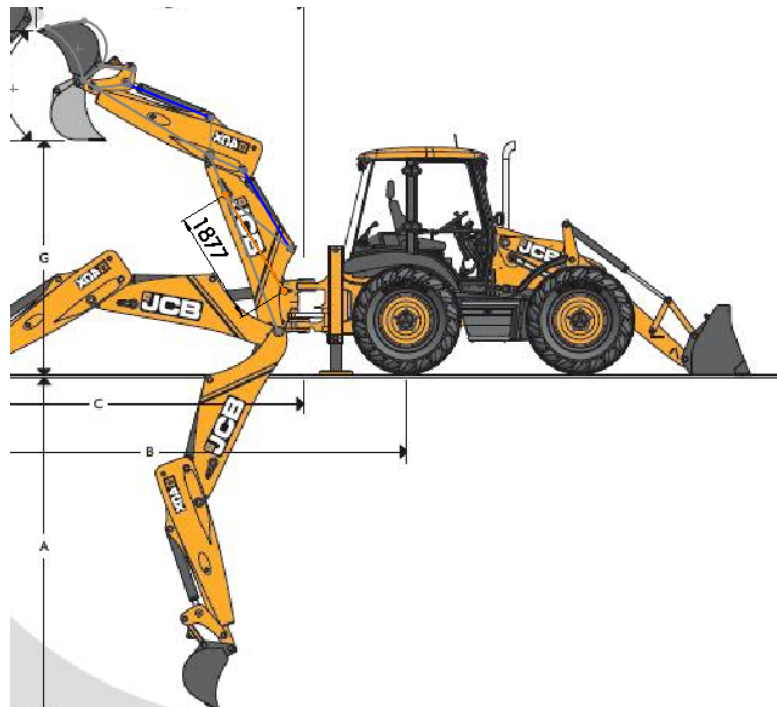


Figura 18 - Cilindro 3 posición mínima

b) Posición de longitud máxima

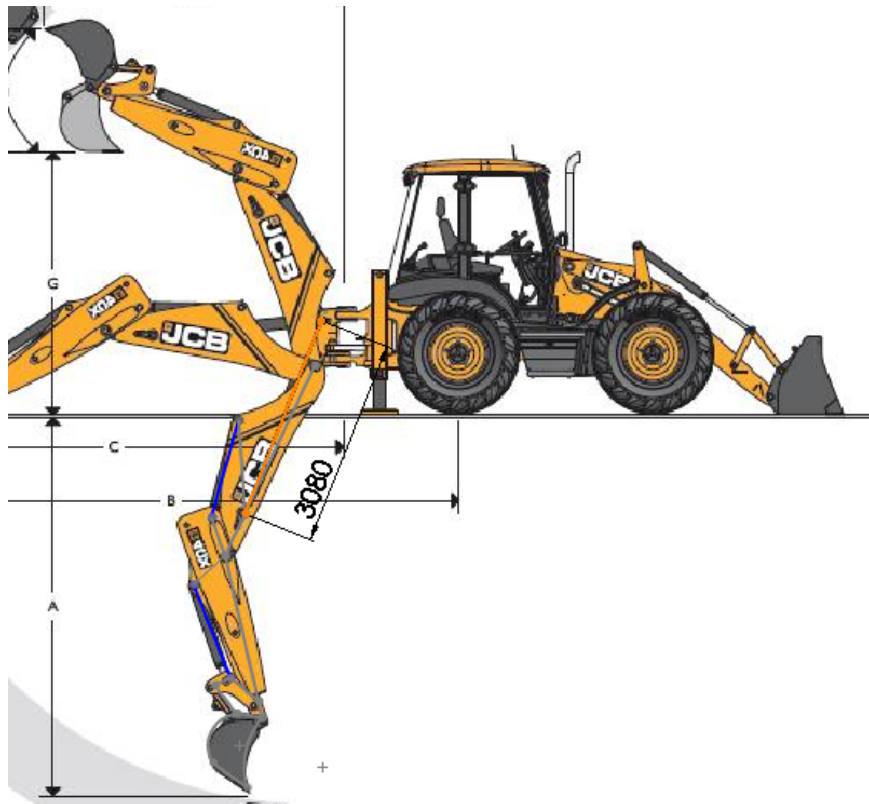


Figura 19 - Cilindro 3 posición máxima

Las dimensiones finales de los elementos de la estructura son:

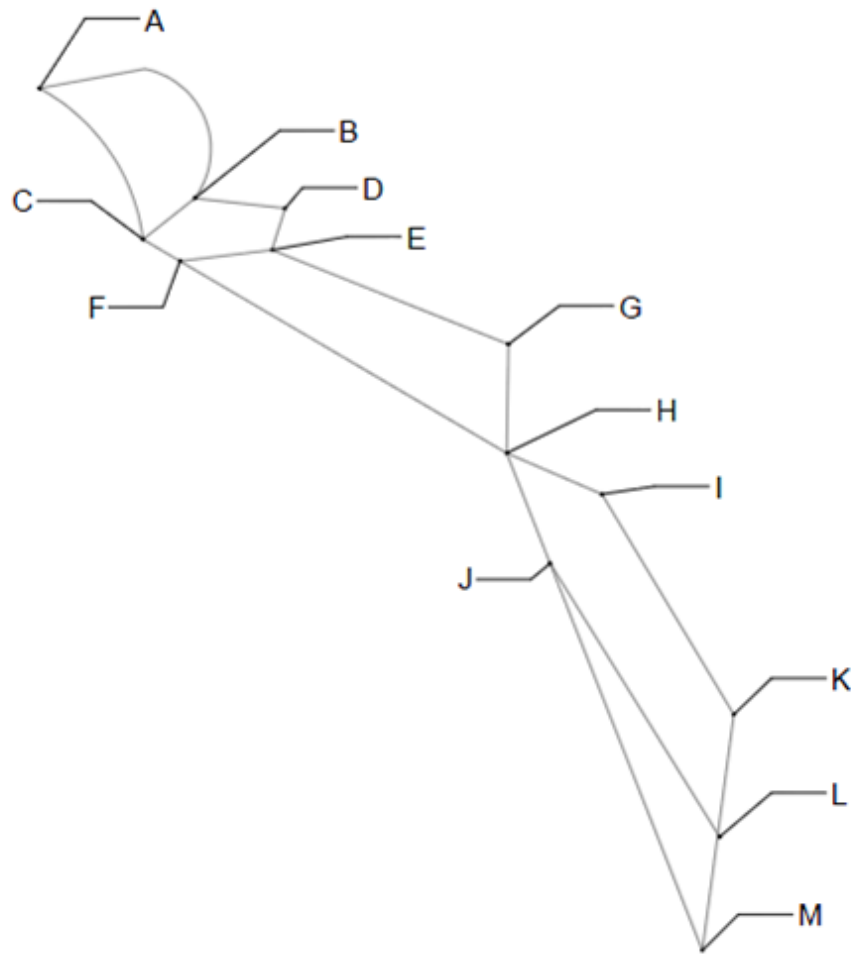


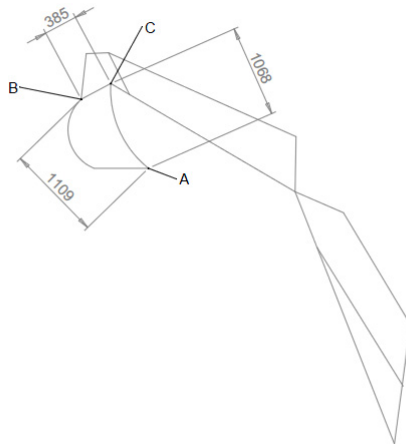
Figura 20 – Nudos estructura

LONGITUD ELEMENTOS		mm
ABC	AB	1.109
	AC	1.068
	BC	385
BD	BD	530
DEF	DE	255
	EF	540
CFGHI	CF	250
	FH	2210
	GH	635
	HI	605
HJKM	HJ	692
	JM	2428
	MK	1390

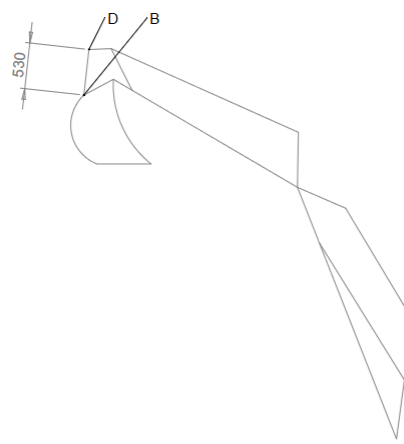
LONGITUD CILINDROS		mm
CILINDRO 1	EG	1485-2365
CILINDRO 2	IK	1498-2386
CILINDRO 3	JL	1877-3080

Tabla 2- Dimensiones elementos

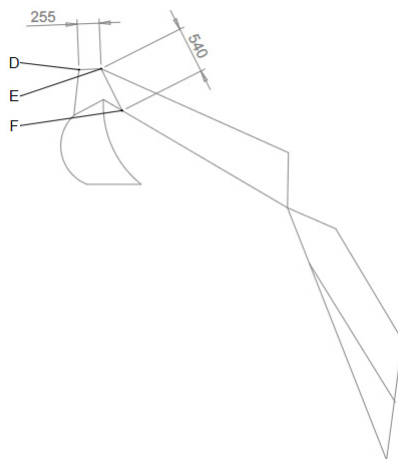
ELEMENTO ABC



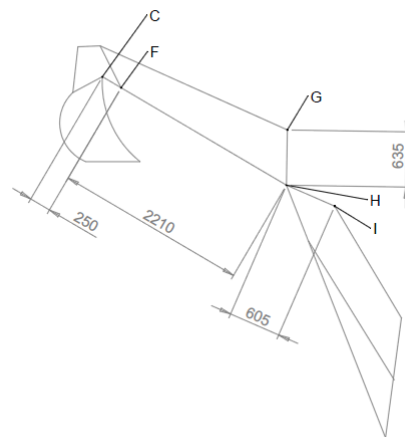
ELEMENTO DB



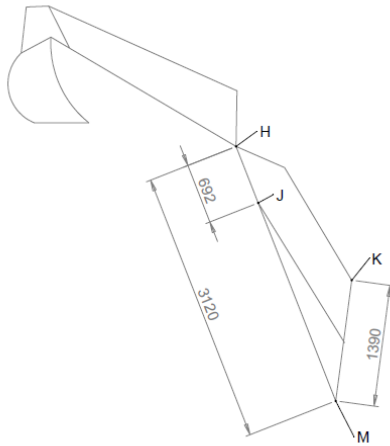
ELEMENTO DEF



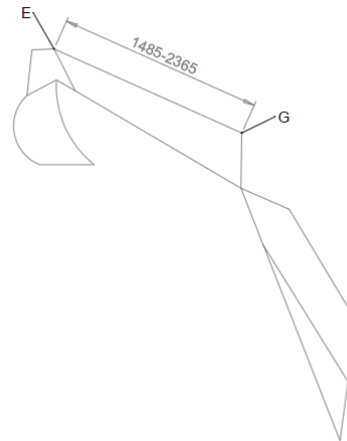
ELEMENTO CFGHI



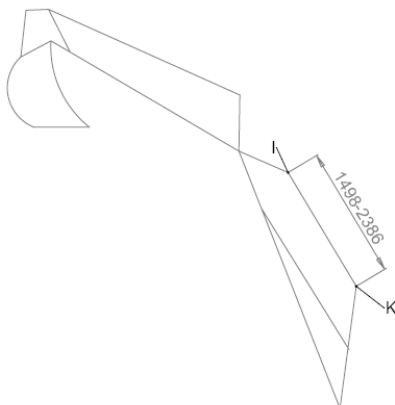
ELEMENTO HJKM



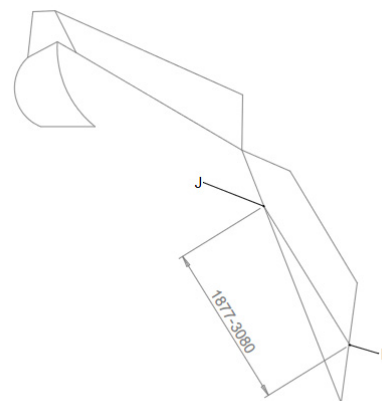
CILINDRO 1



CILINDRO 2



CILINDRO 3



4. ANÁLISIS ANALÍTICO

4.1. INTRODUCCIÓN

Para la realización del diseño de la retro, se va a partir de un estudio por medio de diagramas de sólido libre para tener unos datos de partida de las cargas que soporta cada elemento de la maquinaria, de esta forma se podrán tomar estos datos obtenidos como base para la realización de un diseño previo.

Este diseño previo se realizara con SolidWorks, posterior mente este será analizado con una mayor exactitud por medio del análisis por elementos finitos que se realizara mediante el modulo de Simulation perteneciente también a SolidWorks.

Con los resultados finales obtenidos en el estudio de elementos finitos se pasara a modificar el diseño previo para realizar el diseño definitivo de la retro excavadora cumpliendo los resultados obtenidos en el estudio de elementos finitos.

4.2. PRESTACIONES DE LA RETRO

Puesto que las dimensiones la estructura de barras sobre la que vamos a realizar el estudio ya tiene unas dimensiones definidas, las otras características que vamos tener en cuenta en el estudio son las diferentes cargas que soportan los elementos de las estructura, en diez posiciones diferentes de trabajo de esta.

Por lo tanto para cada una de estas diez posiciones se obtendrán las reacciones que soportan cada nudo de la estructura, para un posterior análisis de los resultados obtenidos para cada nudo a lo largo de esas posiciones.

Por otro lado, las diferentes cargas que se han tomado para el estudio han sido obtenidas del catalogo facilitado por el fabricante:

PRESTACIONES DE LA RETRO					
		4CX		4CX Super	
		Balancin normal	Balancin extensible	Balancin normal	Balancin extensible
		Kg	Kg	Kg	Kg
Fuerza de arranque del cazo	Velocidad	5431	5385	5431	5385
	Potencia	6324	6228	6324	6228
Fuerza de arranque balancín	Ext	—	2729	—	2255
	Ret	3893	3903	3232	3225
Capacidad de carga extendido total	Ext	—	1082	—	1199
	Ret	2046	1885	1556	1336

Tabla 3 - Prestaciones retro

El criterio tomado para la carga que soportar la estructura, es que cada una de las cargas facilitadas por el fabricante solo se encuentra en movimiento un determinado cilindro del mecanismo, los criterios de carga para cada cilindro son:

- Fuerza de arranque del cazo, cuando solo actúa el cilindro 1.
- Fuerza de arranque balancín, cuando solo actúa el cilindro 2.
- Capacidad de carga extendido total, cuando solo actúa el cilindro 3.

4.3. POSICIONES ESTUDIADAS

Para el estudio se han tomado diez posiciones para determinar en cada elemento de la estructura los mayores esfuerzos que se encuentran sometidos según la posición que se encuentran para su posterior dimensionamiento.

En cada una de estas posiciones se han medido los ángulos necesarios para el cálculo de las reacciones en esa determinada posición. La determinación de los ángulos necesarios se ha realizado mediante un estudio de una determinada posición que se ha realizado numéricamente, incluida en el anexo I.

Los ángulos necesarios para el cálculo de las reacciones son:

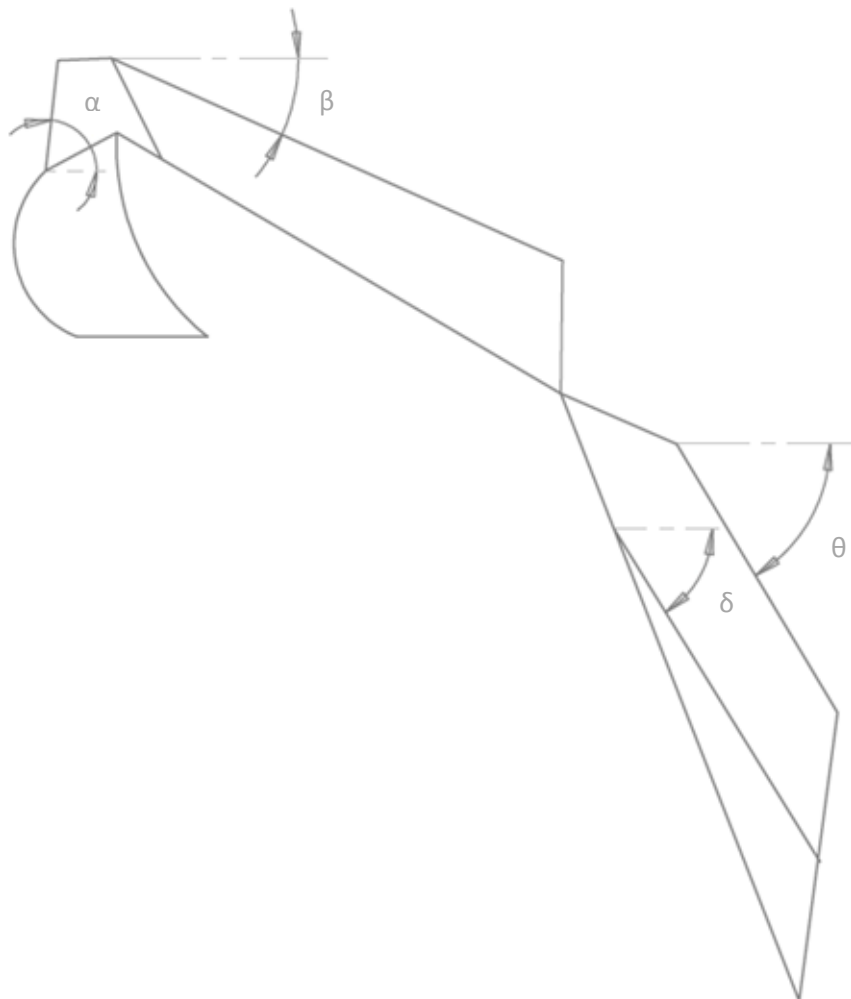


Figura 21 - Ángulos calculo reacciones

MEMORIA

También para cada posición se ha procedido a la medición de los ángulos de las barras que forman los distintos elementos, para determinar las longitudes necesarias para el cálculo de momentos en función de las longitudes de dichos elementos.

De esta forma permite obtener las distancias en los ejes x e y entre los diferentes nudos de la estructura con el signo correcto de estas para el cálculo de los momentos en función de las posiciones analizadas.

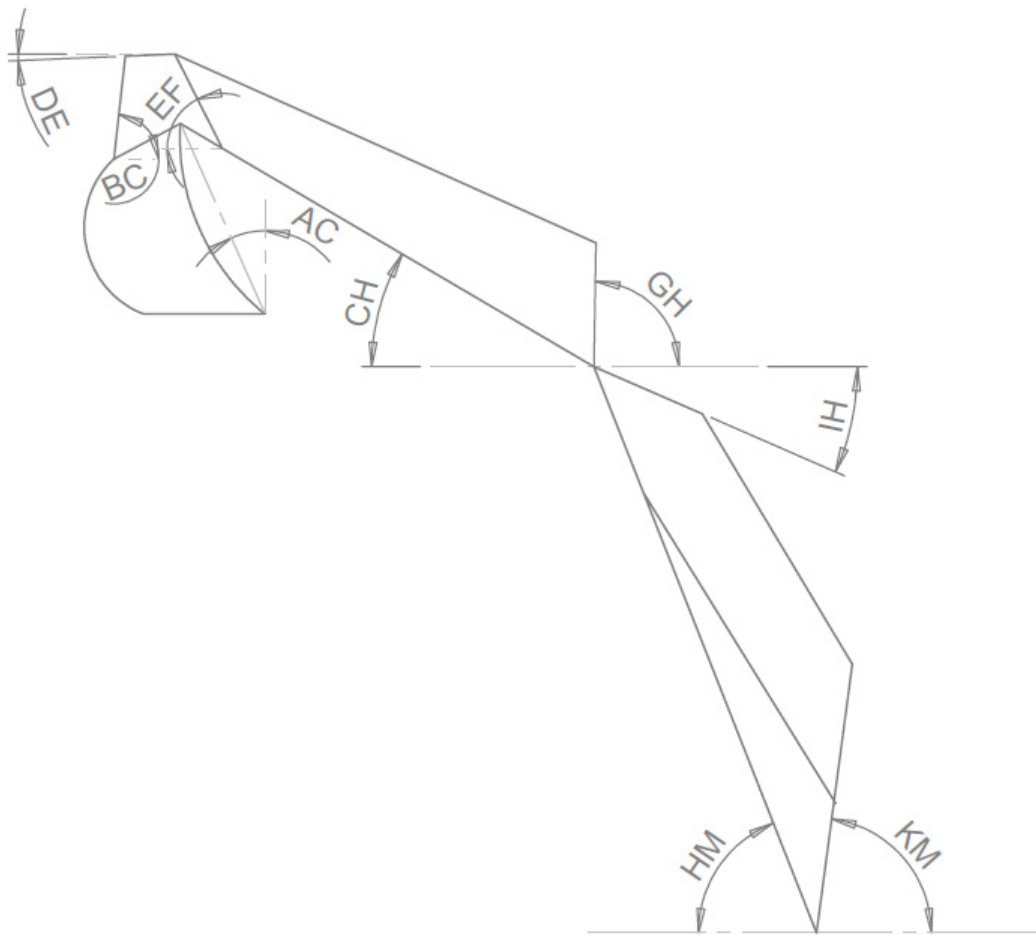


Figura 22 - Ángulos calculo distancias

MEMORIA

Las 10 posiciones analizadas son:

POSICION1

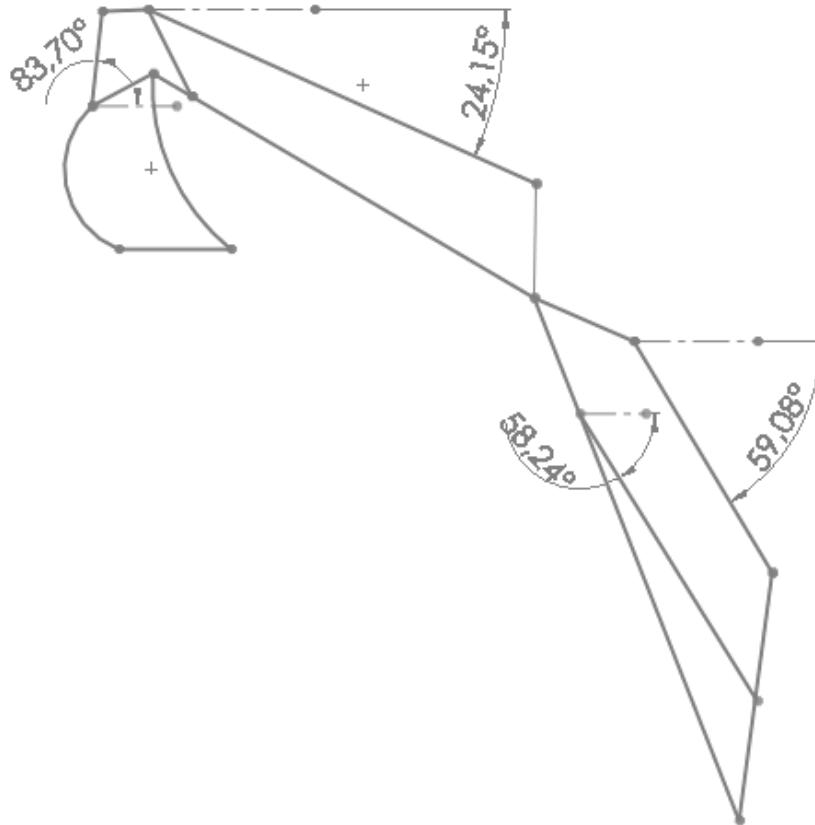


Figura 23 - Ángulos reacciones posición 1

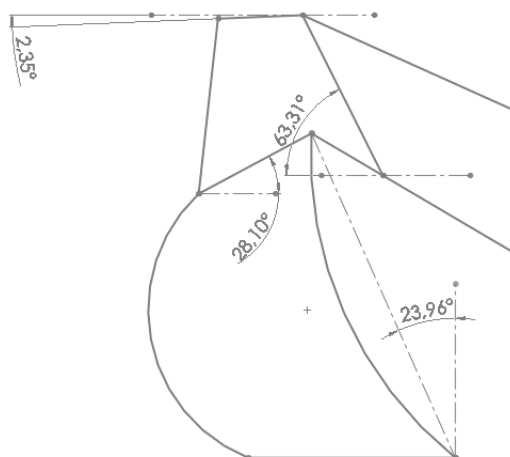


Figura 24 - Ángulos momentos posición 1

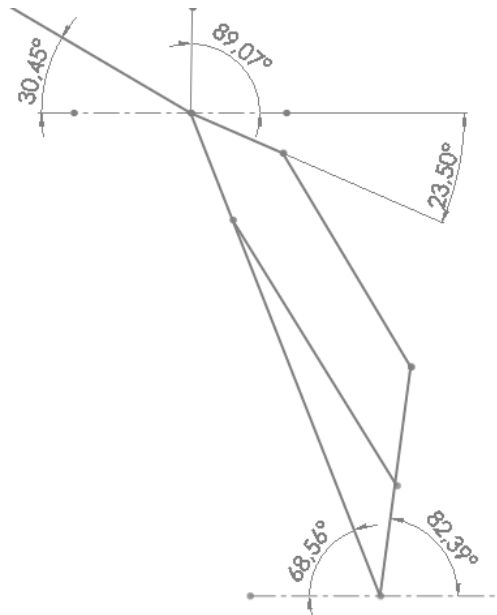


Figura 25 - Ángulos momentos posición 1

POSICION2

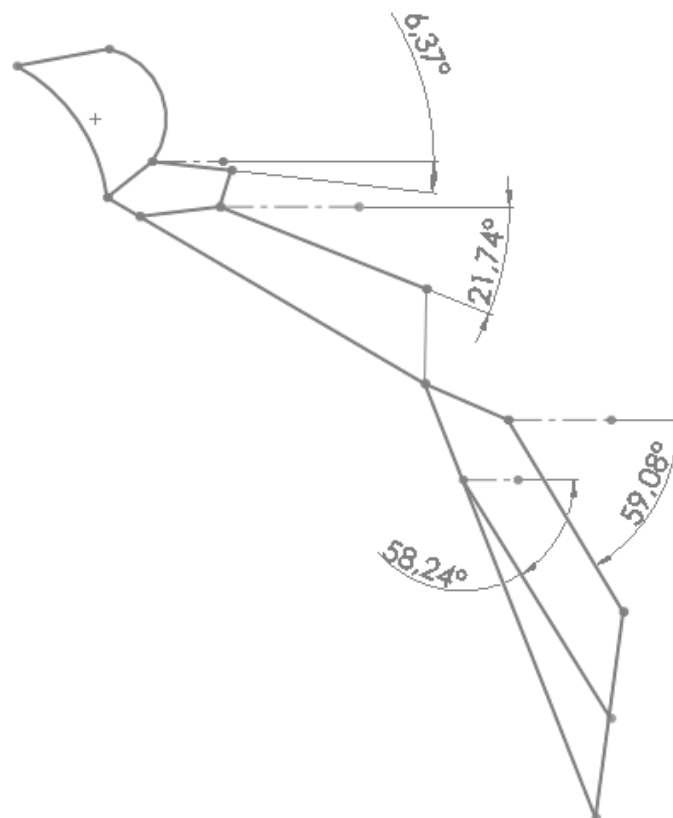


Figura 26 - Ángulos reacciones posición 2

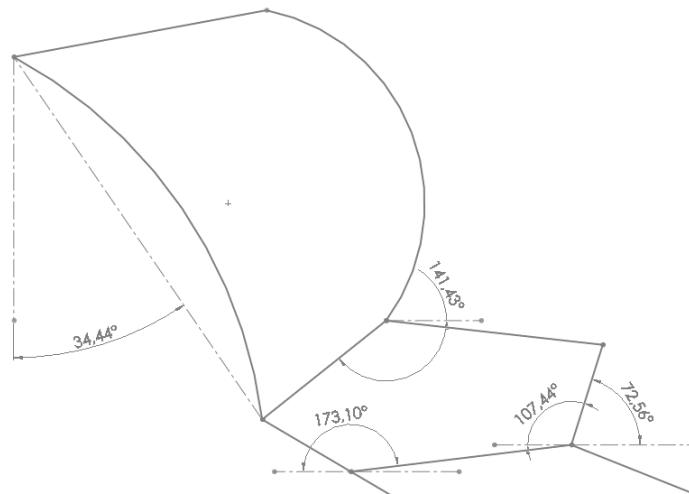


Figura 27 - Ángulos momentos posición 2

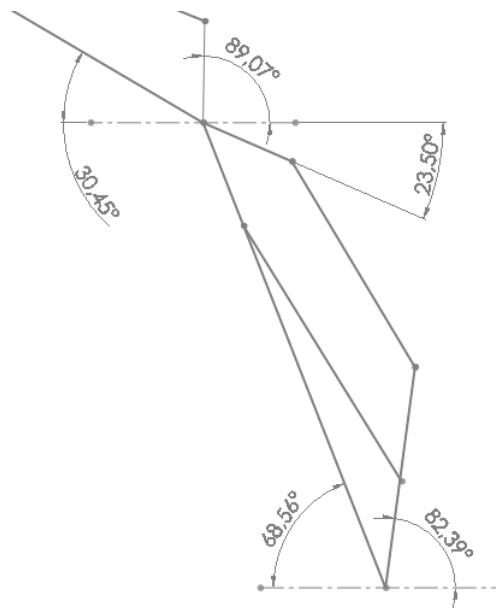


Figura 28 - Ángulos momentos posición 2

POSICION 3

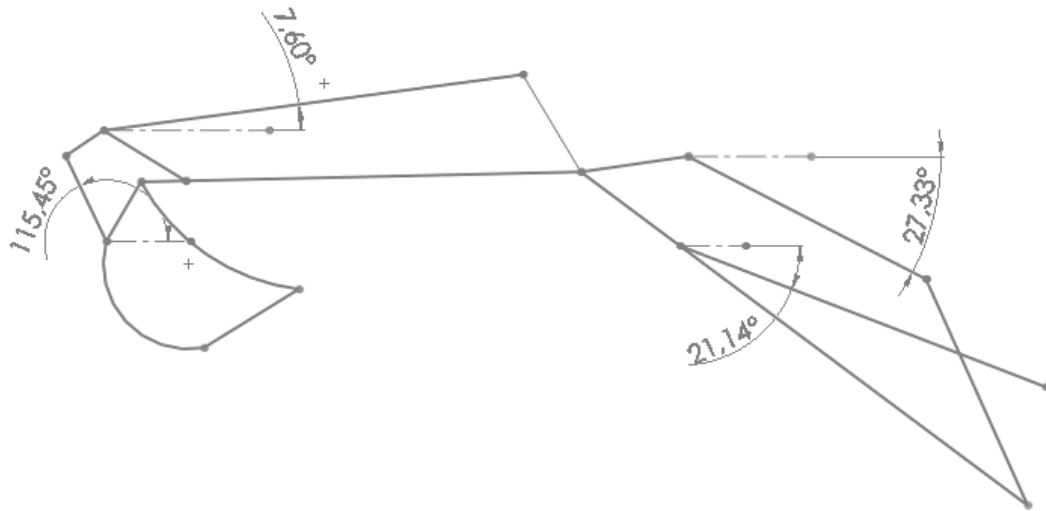


Figura 29 - Ángulos reacciones posición 3

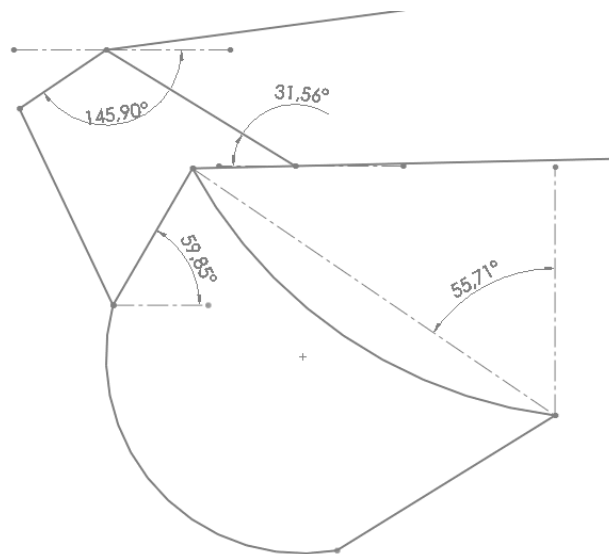


Figura 30 - Ángulos momentos posición 3

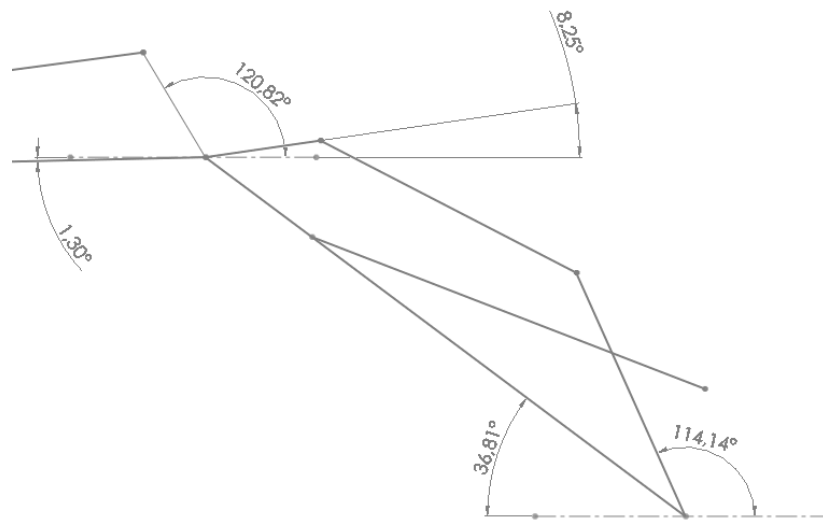


Figura 31 - Ángulos momentos posición 3

POSICION4

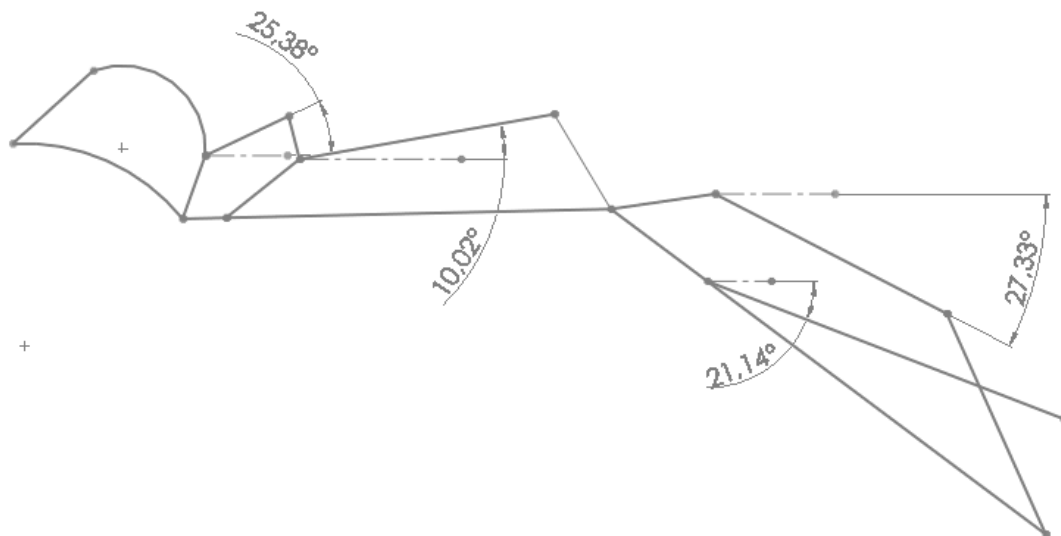


Figura 32 - Ángulos reacciones posición 4

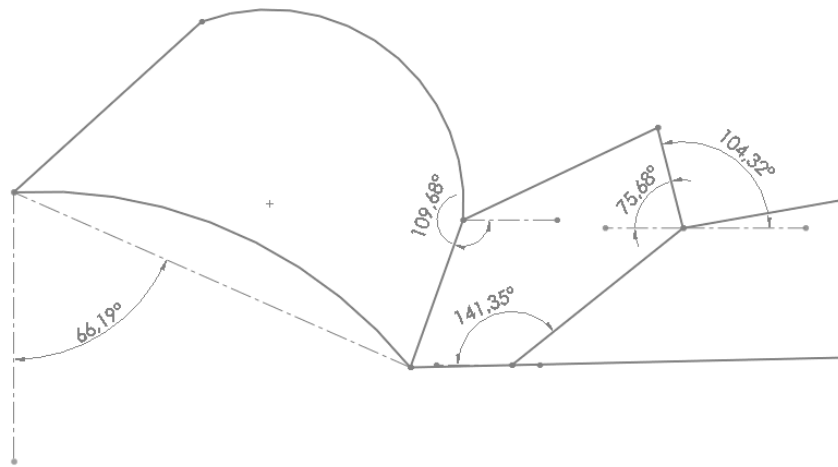


Figura 33 - Ángulos momentos posición 4

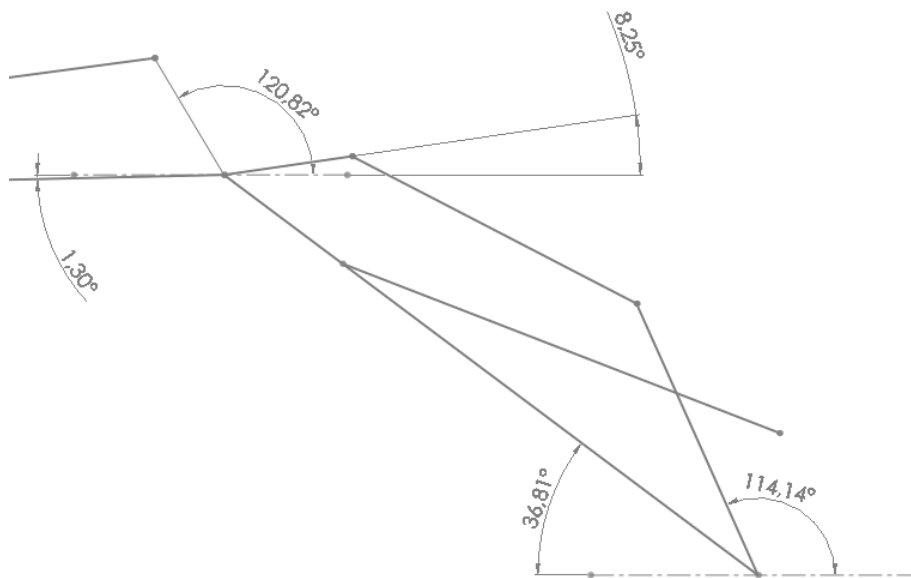


Figura 34 - Ángulos momentos posición 4

POSICION 5

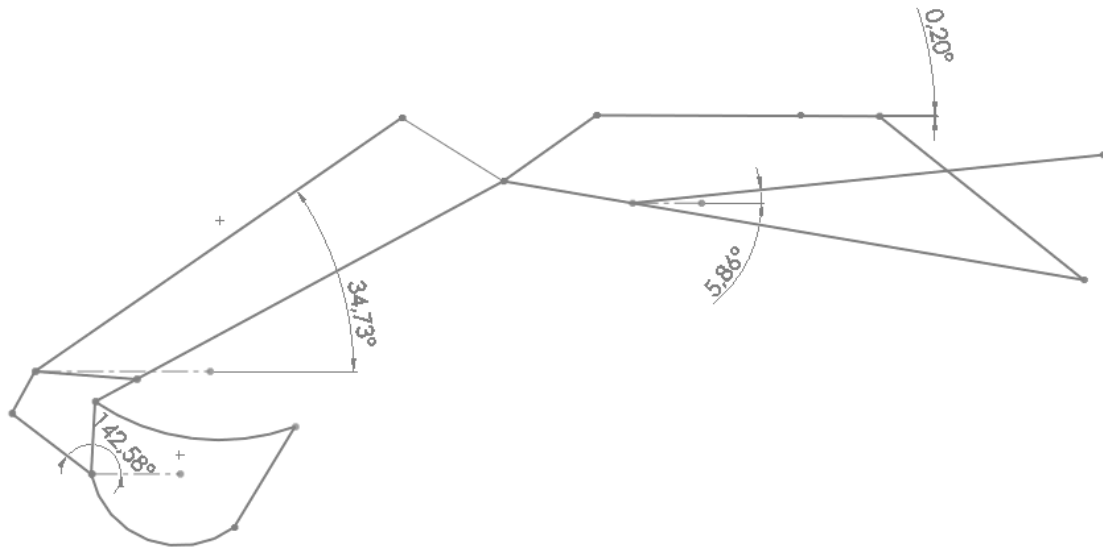


Figura 35 - Ángulos reacciones posición 5

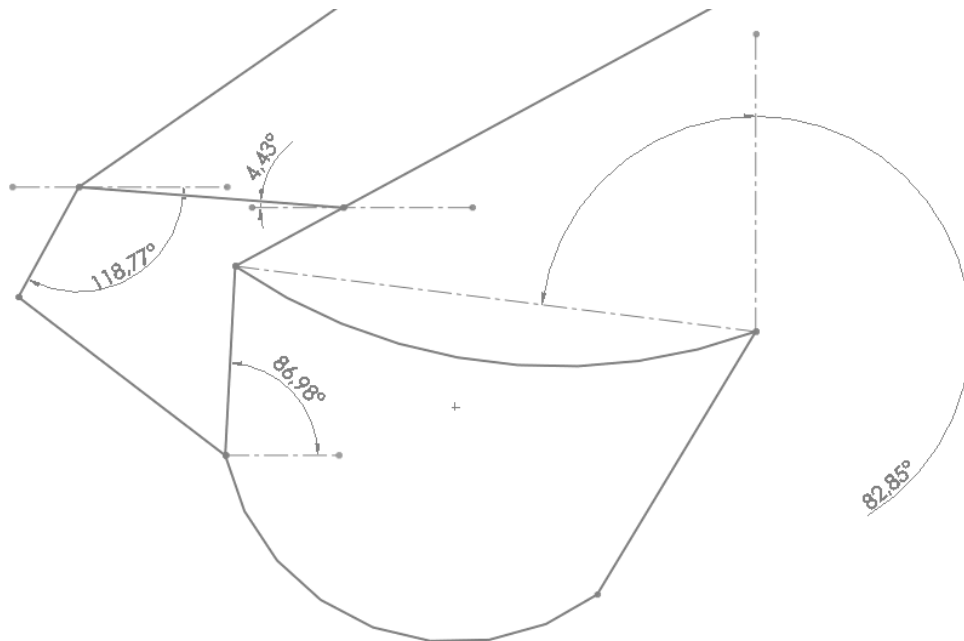


Figura 36 - Ángulos momentos posición 4

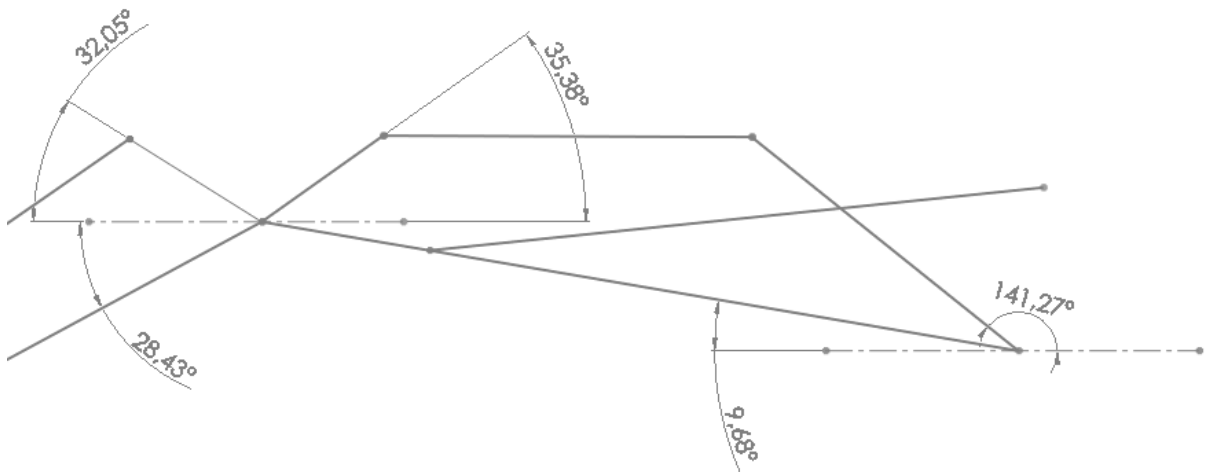


Figura 37- Ángulos momentos posición 4

POSICION 6

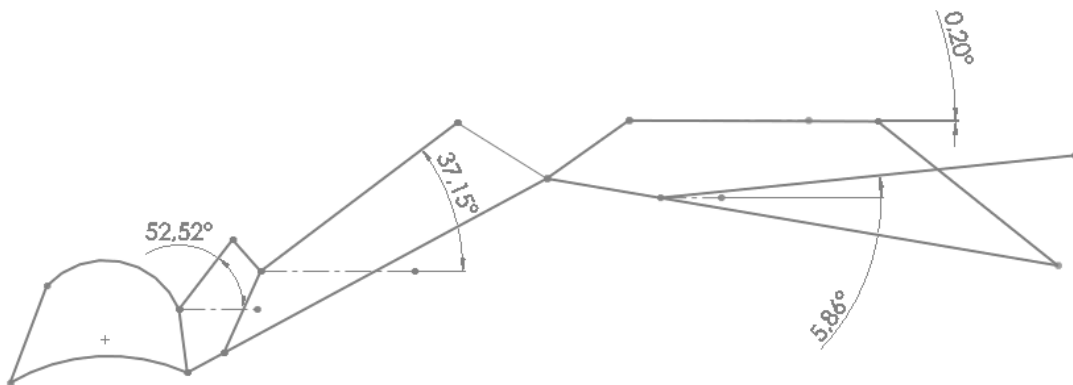


Figura 38 - Ángulos reacciones posición 6

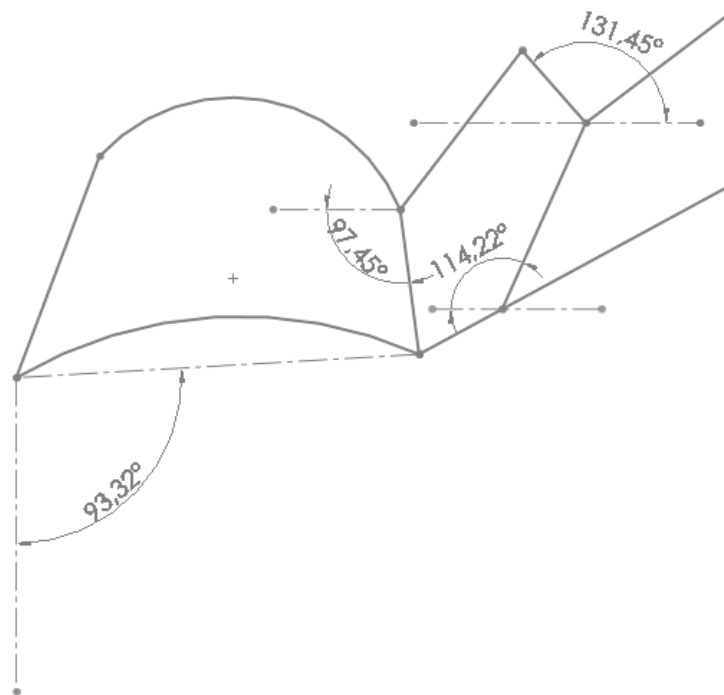


Figura 39 - Ángulos momentos posición 4

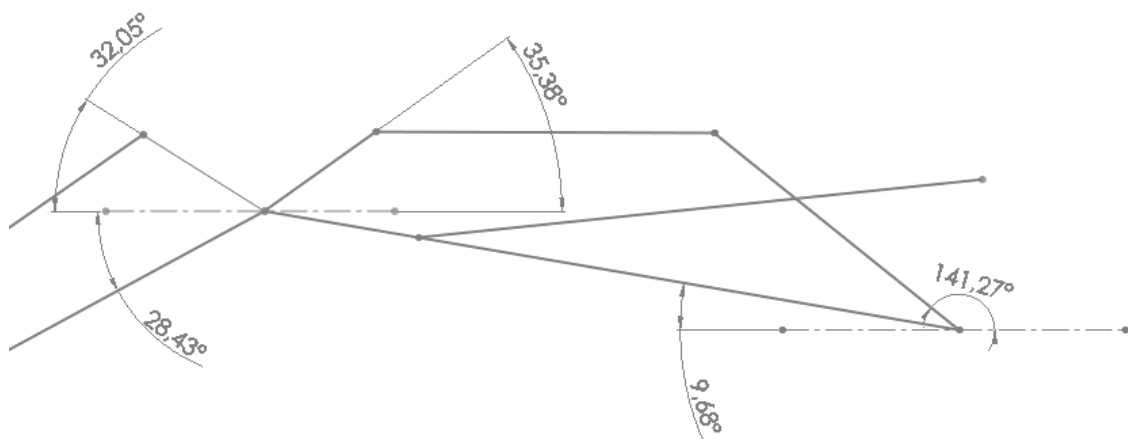


Figura 40 - Ángulos momentos posición 4

POSICION7

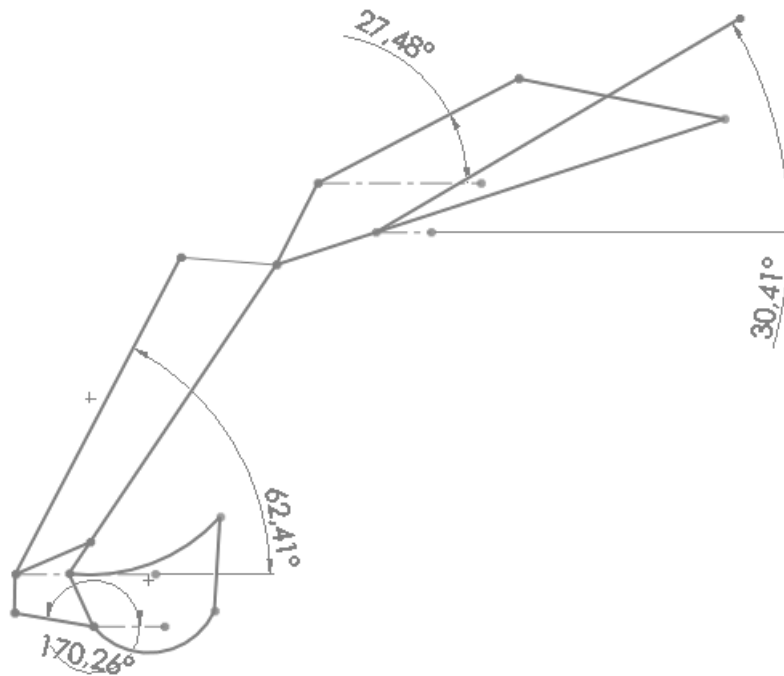


Figura 41 - Ángulos reacciones posición 7

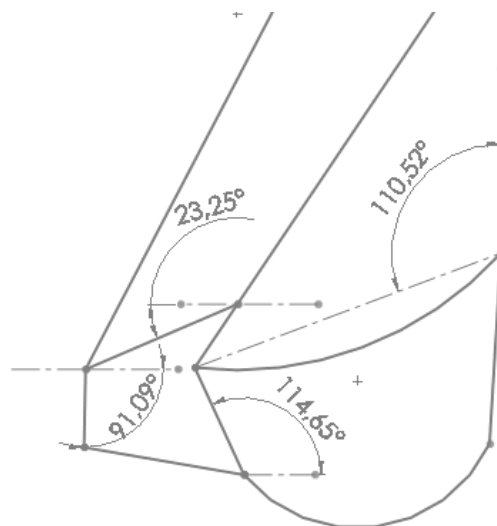


Figura 42 - Ángulos momentos posición 7

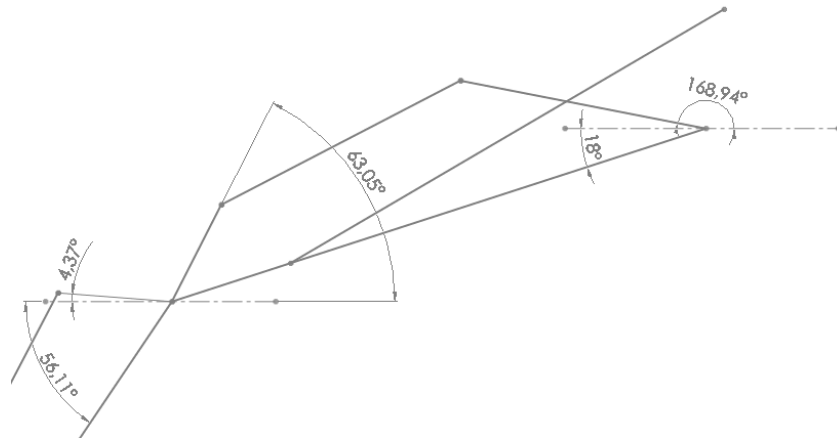


Figura 43 - Ángulos momentos posición 7

POSICION 8

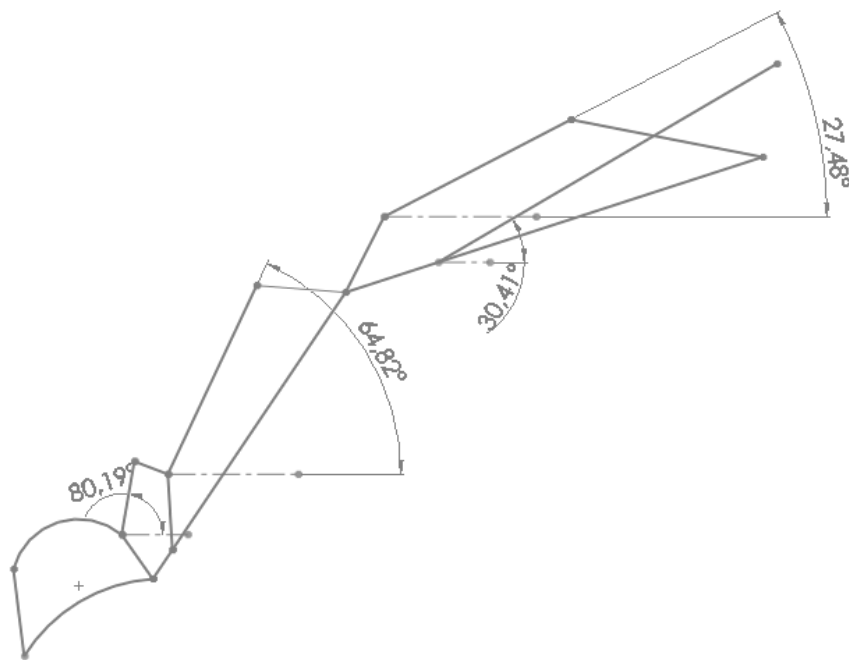


Figura 44 - Ángulos reacciones posición 8

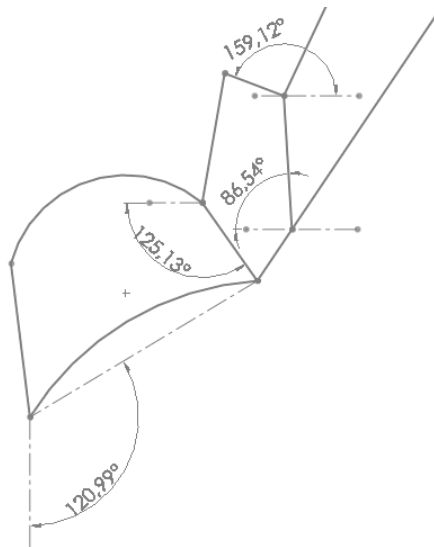


Figura 45 - Ángulos momentos posición 8

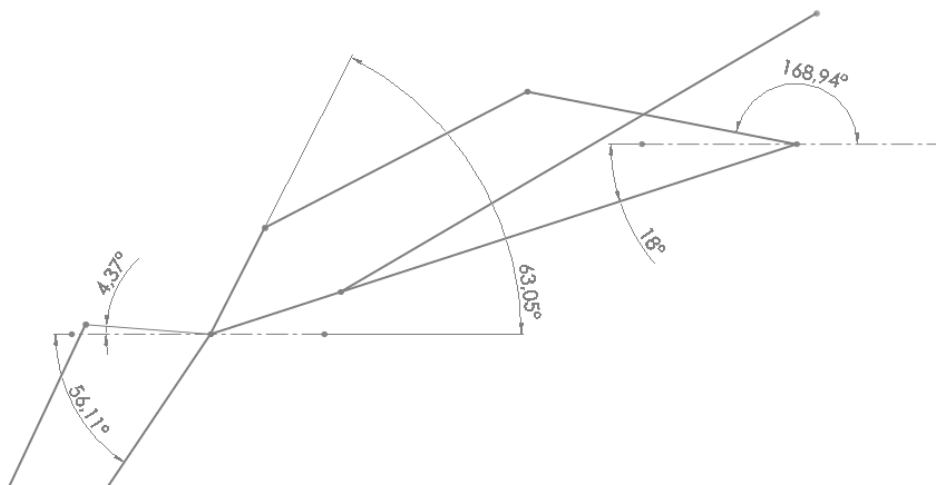


Figura 46 - Ángulos momentos posición 8

POSICION 9

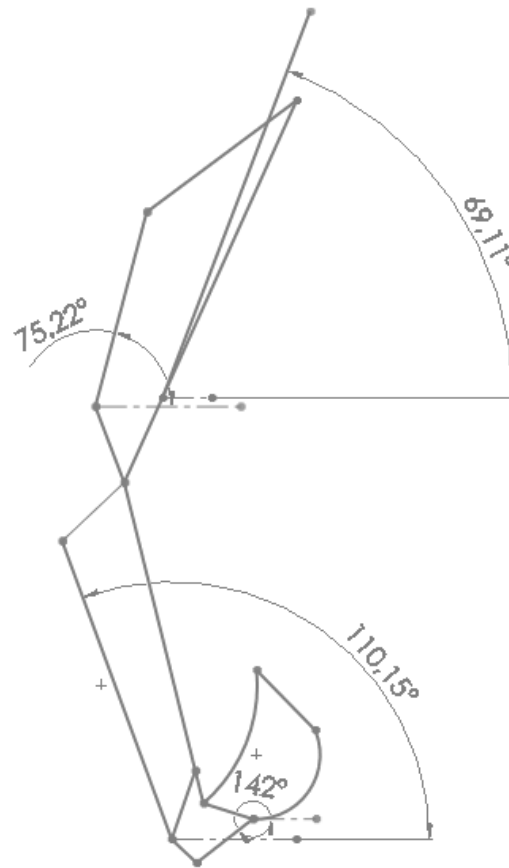


Figura 47 - Ángulos reacciones posición 9

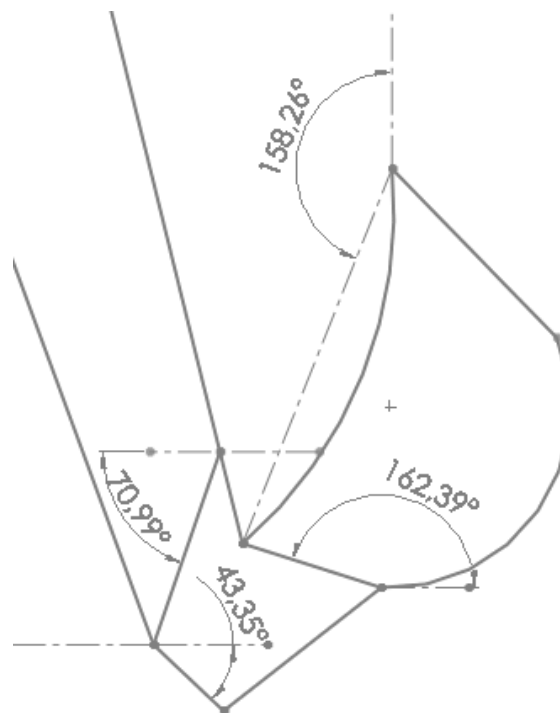


Figura 48 - Ángulos momentos posición 9

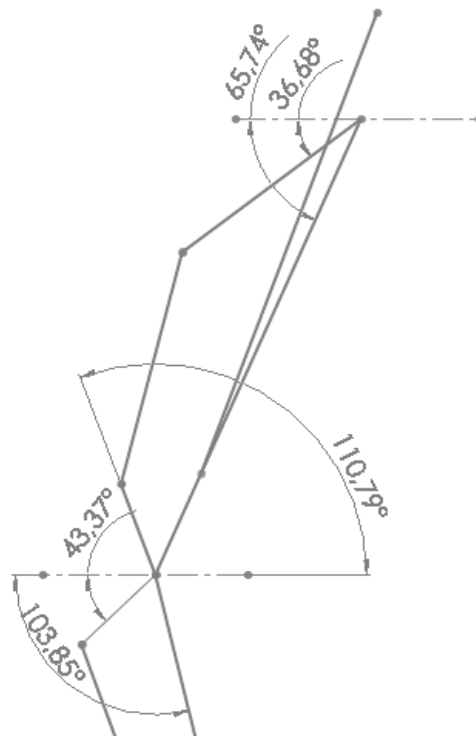


Figura 49 - Ángulos momentos posición 9

POSICION 10

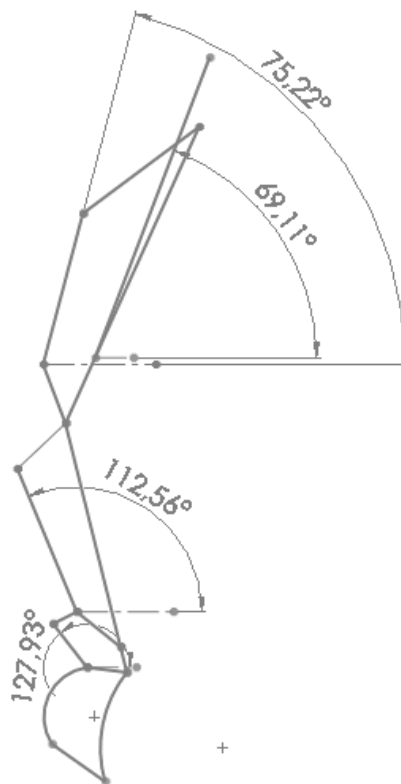


Figura 50 - Ángulos reacciones posición 10

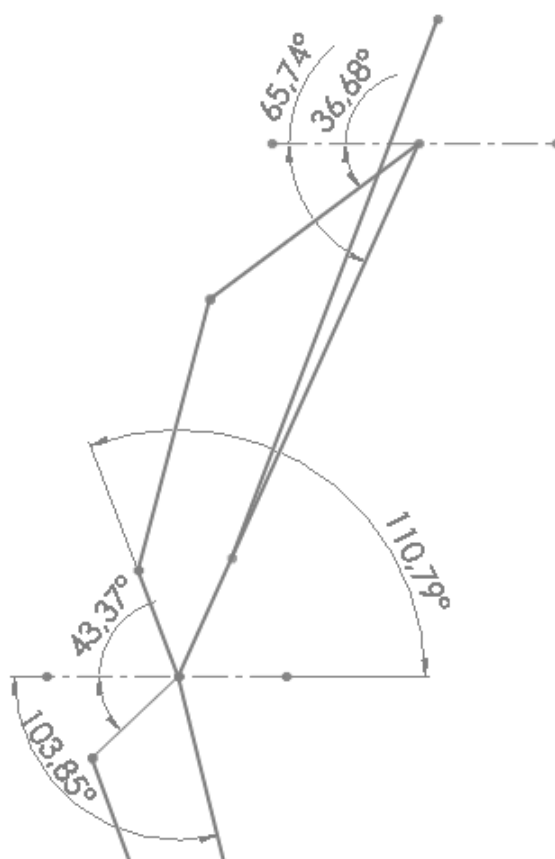


Figura 51 - Ángulos momentos posición 10

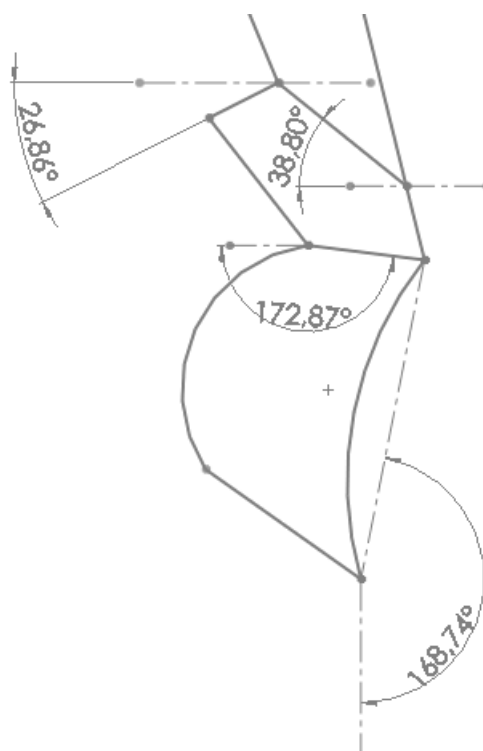


Figura 52 - Ángulos momentos posición 10

5. PLANTEAMIENTO RESOLUCIÓN

ANALÍTICA

El método utilizado para hallar las reacciones que afectan a cada elemento de la estructura es por medio de diagramas de sólido libre para cada uno de estos.

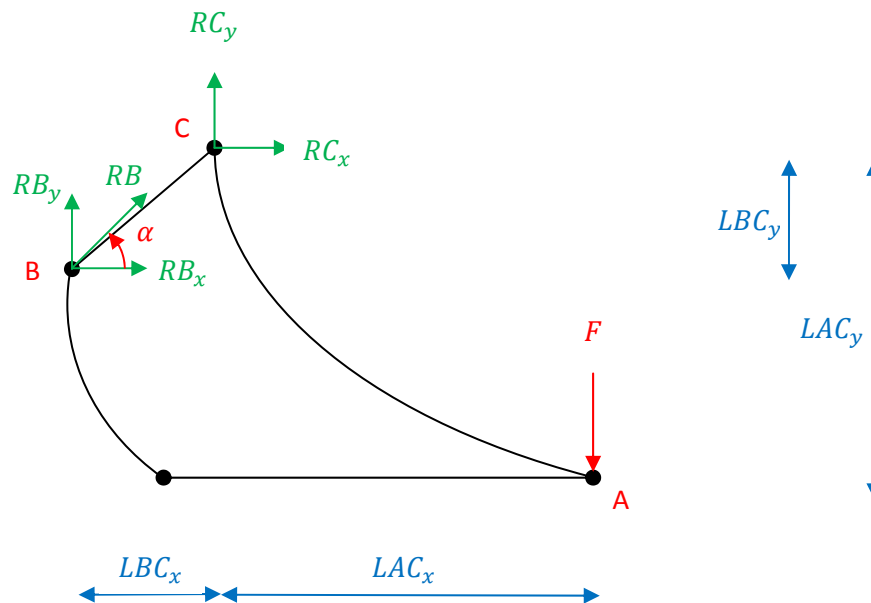
Los resultados obtenidos por este método están en función de los ángulos que forman los cilindros y la barra que trabajan a tracción compresión, según cada posición de la estructura.

A continuación se procede a la resolución del problema por medio de diagramas de sólido libre, este problema es un caso genérico que se encuentra resuelto sin la utilización de valores numéricos, para su posterior adaptación a cada posición así obteniendo los resultados para esta.

5.1. DIAGRAMAS SOLIDO LIBRE

Cada ecuación obtenida para los distintos diagramas de solido libre de los diferentes elementos de la estructura se encuentra numerada para identificarla en la posterior resolución de la incógnitas.

CAZO ABC

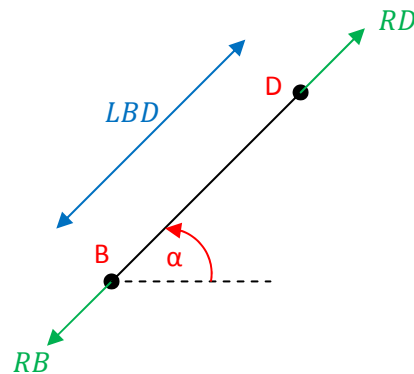


$$1) \sum F_x = 0 \quad RB \cdot \cos \alpha + RC_x = 0$$

$$2) \sum F_y = 0 \quad RB \cdot \sin \alpha + RC_y = F$$

$$3) \sum M_c = 0 \quad F \cdot LAC_x + RB \cdot \sin \alpha \cdot LBC_x = RB \cdot \cos \alpha \cdot LBC_y$$

ELEMENTO DB

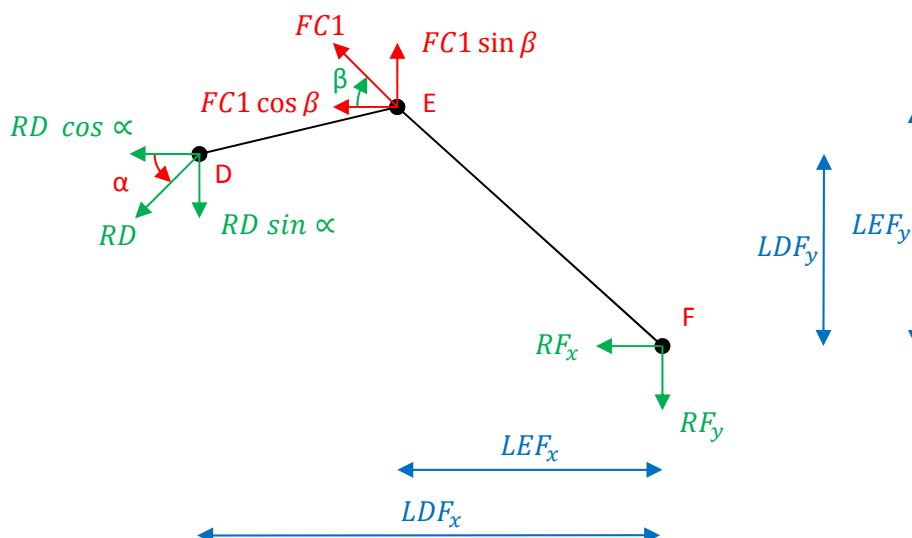


$$4) \sum F = 0 \quad RB = RD$$

$$5) \sum F_x = 0 \quad RB_x = RD_x = RB \cdot \cos \alpha$$

$$6) \sum F_y = 0 \quad RB_y = RD_y = RB \cdot \sin \alpha$$

ELEMENTO DEF



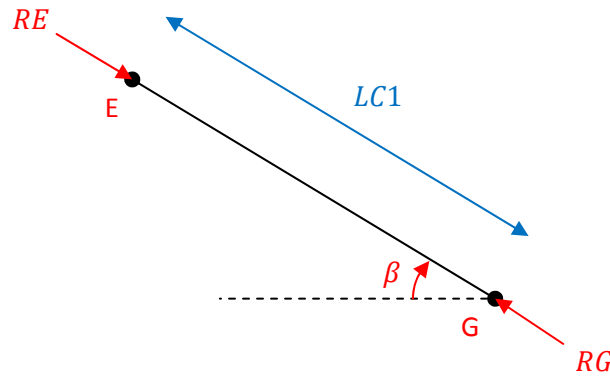
MEMORIA

$$7) \sum F_x = 0 \quad RD \cdot \cos \alpha + FC1 \cdot \cos \beta + RF_x = 0$$

$$8) \sum F_y = 0 \quad RD \cdot \sin \alpha + RF_y = FC1 \sin \beta$$

$$9) \sum M_f = 0 \quad FC1 \cdot \sin \alpha \cdot LEF_x = FC1 \cdot \cos \beta \cdot LFE_y + RD \cdot \cos \alpha \cdot LDF_y + RD \cdot \sin \alpha \cdot LDF_x$$

CILINDRO 1

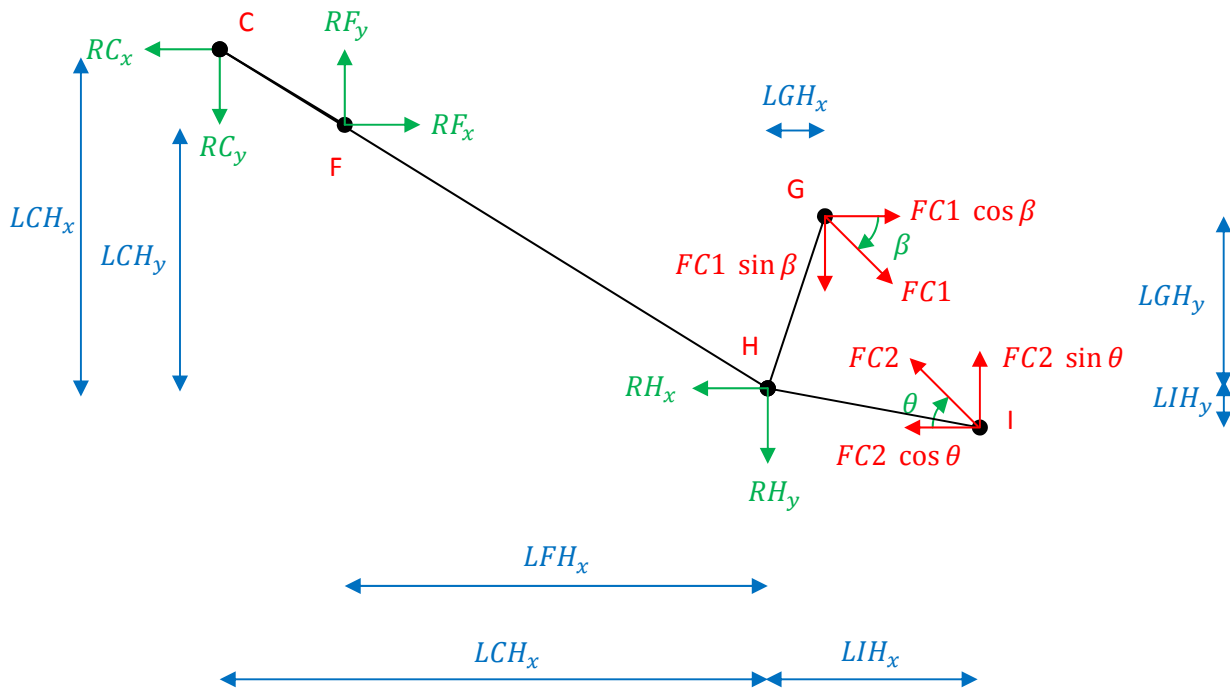


$$10) \sum F = 0 \quad FC1 = RE = RG$$

$$11) \sum F_x = 0 \quad RE_x = RG_x = FC1 \cdot \cos \beta$$

$$12) \sum F_y = 0 \quad RE_y = RG_y = FC1 \cdot \sin \beta$$

ELEMENTO CFHIG

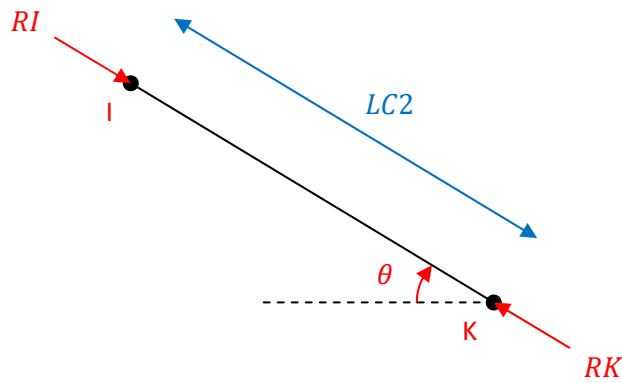


$$13) \sum F_x = 0 \quad RC_x + RH_x + FC2 \cdot \cos \theta = RF_x + FC1 \cdot \sin \beta$$

$$14) \sum F_y = 0 \quad RC_y + RH_y + FC1 \cdot \sin \beta = RF_y + FC2 \cdot \sin \theta$$

$$15) \sum M_h = 0 \quad RC_y \cdot LCH_x + RC_x \cdot LCH_y + FC2 \cdot \sin \theta \cdot LIH_x = RF_y \cdot LFH_x + RF_x \cdot LFH_y + FC1 \cdot \sin \beta \cdot LGH_x + FC1 \cdot \cos \beta \cdot LGH_y + FC2 \cdot \cos \theta \cdot LIH_y$$

CILINDRO 2

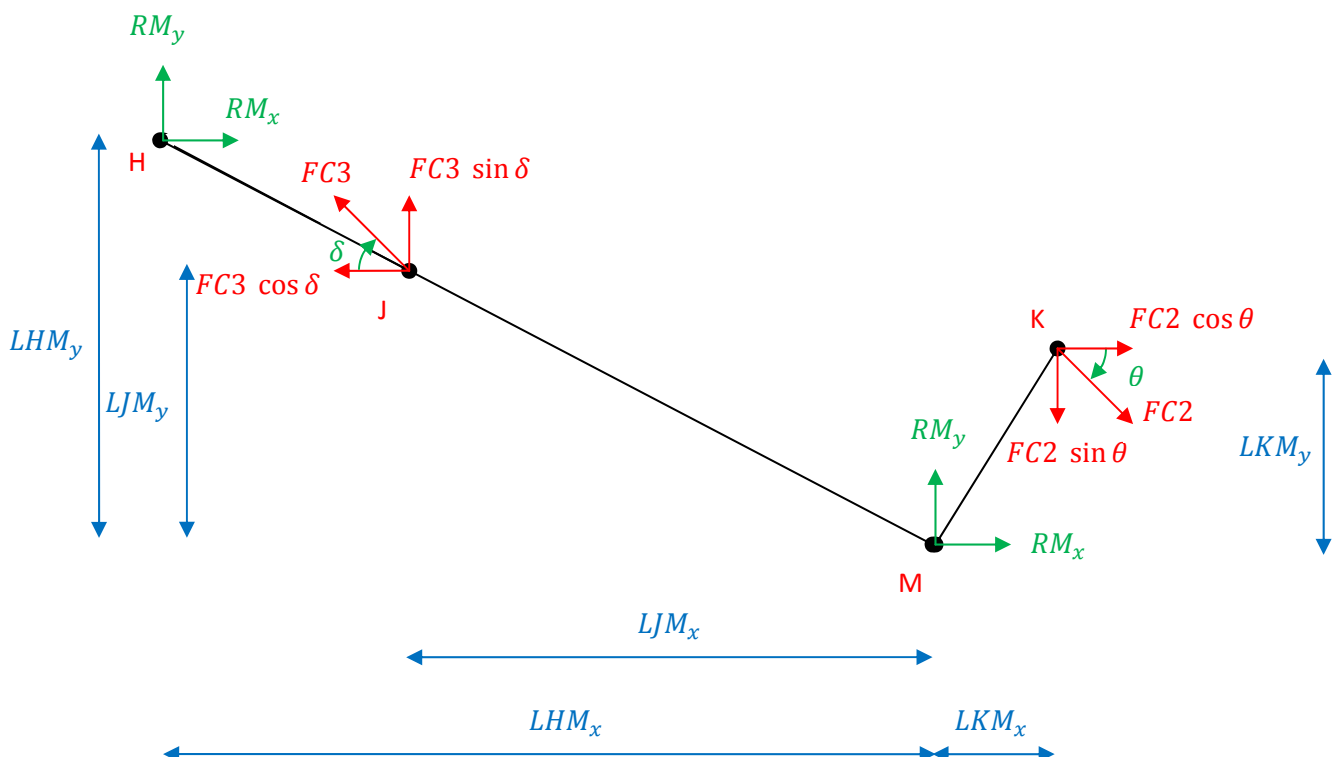


$$16) \sum F = 0 \qquad FC2 = RI = RK$$

$$17) \sum F_x = 0 \qquad RI_x = RK_x = FC2 \cdot \cos \theta$$

$$18) \sum F_y = 0 \quad Rl_y = RK_y = FC2 \cdot \sin \theta$$

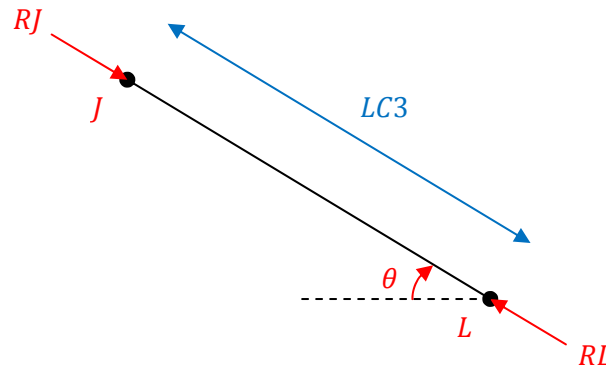
ELEMENTO HJKM



MEMORIA

$$\begin{aligned}
 19) \sum F_x &= 0 & RH_x + FC2 \cdot \cos \theta + RM_x &= FC3 \cos \delta \\
 20) \sum F_y &= 0 & RH_y + FC3 \cdot \sin \delta + RM_y &= FC2 \cdot \sin \theta \\
 21) \sum M_m &= 0 & RH_y \cdot LHM_x + RH_x \cdot LHM_y + FC2 \cos \theta \cdot LKM_y + FC2 \cdot \\
 & & \sin \theta \cdot LKM_x &= FC3 \cos \delta \cdot LJM_y - FC3 \cdot \sin \delta \cdot LJM_x
 \end{aligned}$$

CILINDRO 3



$$\begin{aligned}
 22) \sum F &= 0 & FC3 &= RJ = RL \\
 23) \sum F_x &= 0 & RJ_x &= RL_x = FC3 \cdot \cos \delta \\
 24) \sum F_y &= 0 & RJ_y &= RL_y = FC3 \cdot \sin \delta
 \end{aligned}$$

5.1.1. RESOLUCIÓN DE REACCIONES

En este apartado se ha planteado de forma teórica como obtener las diferentes reacciones en los nudos de los diferentes elementos indicando la numeración de la ecuación utilizada para el cálculo de la reacción que se encuentra definida en el apartado 5.1.

CAZO ABC

$$3) \quad RB = \frac{F \cdot LAC_x}{(\cos \alpha \cdot LBC_y) - (\sin \alpha \cdot LBC_x)}$$

$$RB_x = RB \cos \alpha$$

$$RB_y = RB \sin \alpha$$

$$1) \quad RC_x = -RB_x = -RB \cos \alpha$$

$$2) \quad RC_y = F - RB_y = F - RB \sin \alpha$$

$$|RC| = \sqrt{RC_x^2 + RC_y^2}$$

ELEMENTO DB

$$4) \quad RB = RD$$

$$5) \quad RB_x = RD_x$$

$$6) \quad RB_y = RD_y$$



ELEMENTO DEF

$$9) FC1 = RE = \frac{(RD \cos \alpha \cdot LDF_y) + (RD \sin \alpha \cdot LDF_x)}{(\sin \beta \cdot LEF_x) - (\cos \beta \cdot LEF_y)}$$

$$FC1_x = RE_x = FC1 \cos \beta$$

$$FC1_y = RE_y = FC1 \sin \beta$$

$$7) RF_x = -FC1 \cos \beta - RD \cos \alpha$$

$$8) RF_y = FC1 \sin \beta - RD \sin \alpha$$

CILINDRO 1

$$10) FC1 = RE = RF$$

$$11) FC1_x = RE_x = FC1 \cos \beta$$

$$12) FC1_y = RE_y = FC1 \sin \beta$$

ELEMENTO CFHGI

$$15) FC2 = \frac{RF_y \cdot LFH_x + RF_x \cdot LFH_y + FC1 \cdot \cos \beta \cdot LGH_y \cdot \sin \beta \cdot LGH_x}{(\sin \theta \cdot LIH_x) - (\cos \theta \cdot LIH_y)}$$

$$13) RH_x = RF_x + FC1 \cdot \cos \beta - RC_x - FC2 \cos \theta$$

$$14) RH_y = RF_y + FC2 \cdot \sin \theta - RC_y - FC1 \sin \beta$$

$$|RH| = \sqrt{RH_x^2 + RH_y^2}$$



CILINDRO 2

$$16) FC2 = RI = RK$$

$$17) RI_x = RK_x = FC2 \cdot \cos \theta$$

$$18) RI_y = RK_y = FC2 \cdot \sin \theta$$

ELEMENTO HJKM

$$21) FC3 = \frac{RH_y \cdot LHM_x + RH_x \cdot LHM_y + FC2 \cdot \cos \theta \cdot LKM_y + FC2 \sin \theta \cdot LKM_x}{(\cos \delta \cdot LJM_y) - (\sin \delta \cdot LJM_x)}$$

$$19) RM_x = FC3 \cdot \cos \delta - RH_x - FC2 \cdot \cos \theta$$

$$20) RM_y = FC2 \cdot \sin \theta - RH_y - FC3 \cdot \sin \delta$$

$$|RM| = \sqrt{RM_x^2 + RM_y^2}$$

CILINDRO 3

$$22) FC3 = RJ = RL$$

$$23) RJ_x = RL_x = FC3 \cdot \cos \delta$$

$$24) RJ_y = RL_y = FC3 \cdot \sin \delta$$

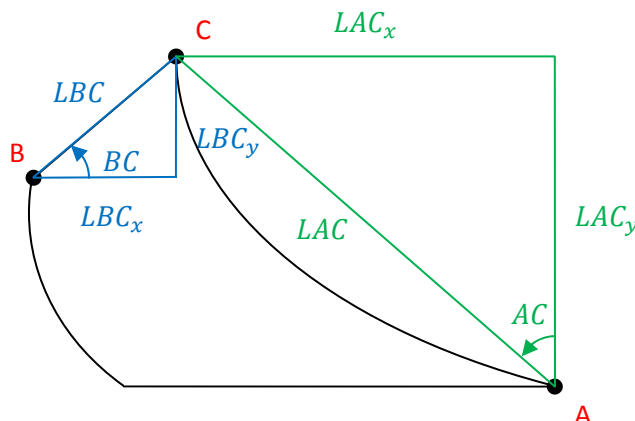
5.2. DISTANCIAS PARA EL CÁLCULO DE MOMENTOS

Se ha tomado la decisión de que las distancias necesarias para el cálculo de los momentos se realicen mediante las longitudes las barras y los ángulos que forman estas. De esta forma a demás de reducir el tiempo de introducción de datos para cada una de las diez posiciones, debido a que no hay que medir las respectivas distancias en el eje x y eje entre puntos para cada posición de cada elemento, si no que basta con medir el ángulo que forman cada barra.

También se reduce el tiempo gracias a que según el criterio de giro positivo que se ha tomado para cada ángulo. En función del valor que tenga el ángulo medido, las formulas para determinar las longitudes en cada eje tendrá el signo correcto, para el posterior cálculo de las reacciones. Lo que esto permitirá en el cálculo de las reacciones se pueda automatizar mediante una tabla Excel, puesto que en el cálculo de los momentos las distancias tendrán su signo correcto según el criterio de signos tomados al punto donde se calcula los momentos.

Para cada elemento se han numerado las ecuaciones definidas para la obtención de las distancias necesarias.

CAZO ABC



BC

$$25) LBC_x = LBC \cdot \cos BC$$

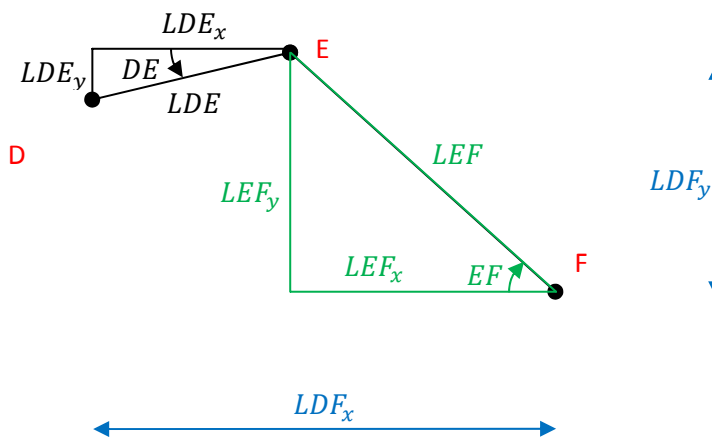
$$26) LBC_y = LBC \cdot \sin BC$$

AC

$$27) LCA_x = LCA \cdot \cos AC$$

$$28) LCA_y = LCA \cdot \sin AC$$

BARRA DEF



FE

$$29) LEF_x = LEF \cdot \cos EF$$

$$30) LEF_y = LEF \cdot \sin EF$$

DE

$$31) LDE_x = LDE \cdot \cos DE$$

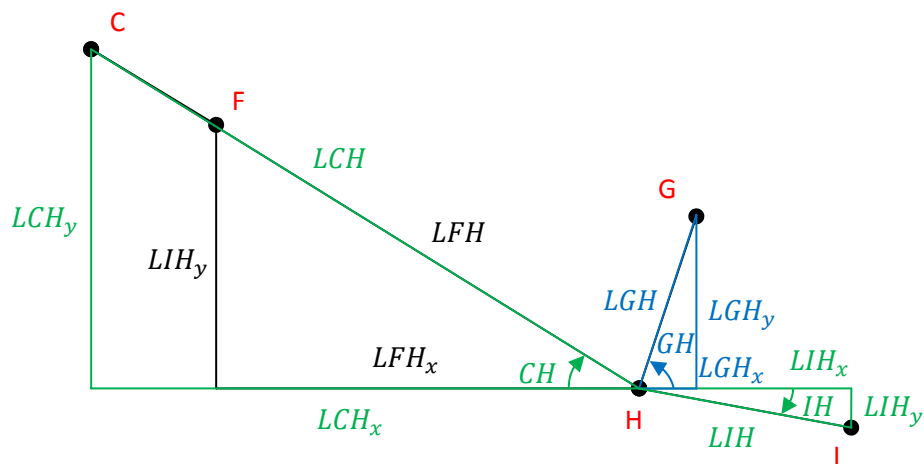
$$32) LDE_y = LDE \cdot \sin DE$$

DF

$$33) LDF_x = LEF_x + LDE_x$$

34) $LDF_y = LEF_y - LDE_y$

ELEMENTO CFHGI



CH

35) $LCH_x = LCH \cdot \cos CH$

$$36) LCH_y = LCH \cdot \sin CH$$



MEMORIA

FH

$$37) LFH_x = LFH \cdot \cos CH$$

$$38) LFH_y = LFH \cdot \sin CH$$

GH

$$39) LGH_x = LGH \cdot \cos GH$$

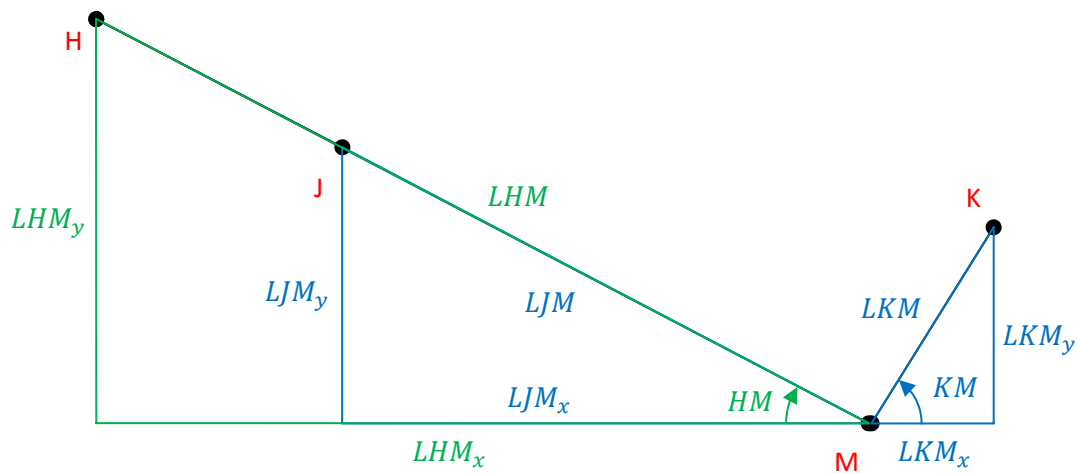
$$40) LGH_y = LGH \cdot \sin GH$$

IH

$$41) LIH_x = LIH \cdot \cos IH$$

$$42) LIH_y = LIH \cdot \sin IH$$

ELEMENTO HJKM



KM

$$43) LKM_x = LKM \cdot \cos KM$$

$$44) LKM_y = LKM \cdot \sin KM$$

JM

$$45) LJM_x = LJM \cdot \cos HM$$

$$46) LJM_y = LJM \cdot \sin HM$$

HM

$$47) LHM_x = LHM \cdot \cos HM$$

$$48) LHM_y = LHM \cdot \sin HM$$

5.3. CALCULO REACCIONES

El objetivo en este punto es realizar un proceso de automatización para el cálculo de reacciones en cada nudo de la estructura a lo largo de las posiciones analizadas.

Para poder realizar este proceso lo primero que se requiere es conocer las cargas que va a mover la pala por lo tanto, se ha realizado la tabla 4 en la que aparecen las cargas que son capaces de mover cada cilindro en función de la posición analizada.

PRESTACIONES DE LA RETRO	KG	N
FUERZA DE ARRANQUE DEL CAZO	6324	62038,44
FUERZA DE ARRANQUE BALANCIN	3893	38190,33
CAPACIDAD DE CARGA EXTENDIDO TOTAL	2050	20110,50

Tabla 4- Prestaciones retro

A continuación se ha realizado tabla 5 en la que aparecen las mediciones de los ángulos necesarios para poder utilizar las ecuaciones necesarias para el cálculo de las reacciones a lo largo de las 10 posiciones analizadas definidas en el apartado 4.3.

ANGULOS REACCIONES				
POSICION	α	B	δ	θ
1	83,7	24,15	58,24	59,08
2	353,63	21,73	58,24	59,08
3	115,45	-7,6	21,4	27,33
4	25,38	-10,02	21,4	27,33
5	142,58	-34,73	-5,86	0,2
6	52,52	-37,15	-5,86	0,2
7	170,26	-62,41	-30,41	-27,48
8	80,19	-64,82	-30,41	-27,48
9	218	-110,15	-69,11	-75,22
10	127,93	-112,56	-69,11	-75,22

Tabla 5 - Ángulos reacciones



Otros datos necesarios para el cálculo de las reacciones son las distancias entre nudos que nos permitirán utilizar el cálculo de los momentos en cada elemento de la estructura, como se observa en los diagramas de sólido libre del apartado 5.1 las distancias necesarias se encuentran definidas en los ejes X e Y.

Como se ha explicado anteriormente se ha tomado la decisión de que estas se calculen mediante las ecuaciones definidas en el apartado 5.2.

Otro de los datos necesarios para el cálculo de estas distancias como se observa en las ecuaciones del apartado 5.2, son las distancias entre nudos de los distintos elementos que componen la estructura, estas han sido recogidas en la tabla 6.

LONGITUD ELEMENTOS		mm
ABC	AB	1.109
	AC	1.068
	BC	385
BD	BD	530
DEF	DE	255
	EF	540
CFGHI	CF	250
	FH	2210
	GH	635
	HI	605
HJKM	HJ	692
	JM	2428
	MK	1390

Tabla 6 - Longitud elementos

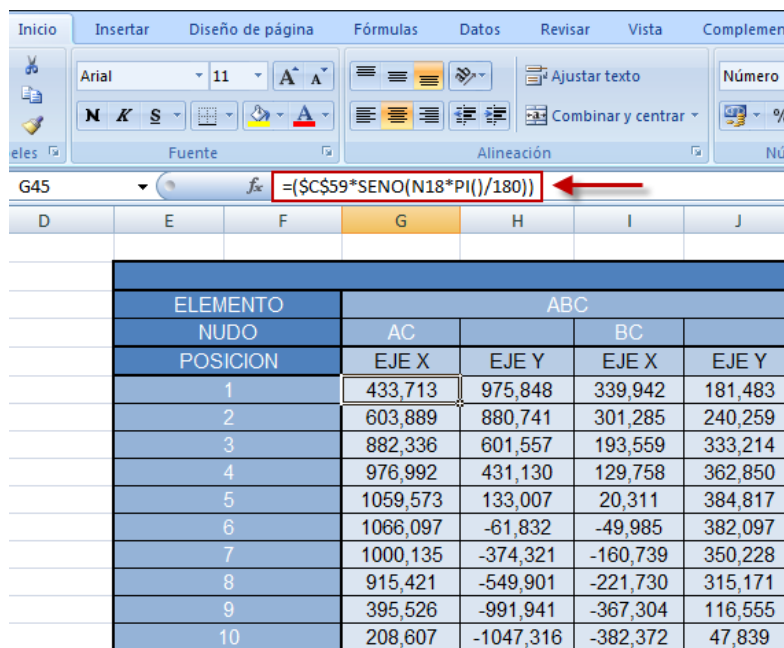
Otro medias necesarias para el cálculo de las longitudes son los ángulos que forman las barras pertenecientes a cada elementos, estos ángulos se encuentran definidos en los diagramas que aparecen en el apartado 5.2.

La medición de estos ángulos también se ha realizado a lo largo de las 10 posiciones analizadas que fueron definidas en el apartado 4.3, estas mediciones aparecen reflejadas en la tabla 7.

ANGULO BARRAS									
ELEMENTO	ABC		DEF		CFHIG			HJKM	
POSICION	AC	BC	EF	DE	CH	GH	IH	HM	KM
1	23,96	28,10	63,31	2,35	30,45	89,07	23,50	68,56	82,39
2	34,44	38,57	173,10	-72,56	30,45	89,07	23,50	68,56	82,39
3	55,71	59,85	31,56	145,90	-1,30	-59,18	-8,25	36,81	114,14
4	66,19	70,32	141,35	-104,32	-1,30	-59,18	-8,25	36,81	114,14
5	82,85	86,98	4,43	118,77	-28,43	-32,05	-35,38	9,68	141,27
6	93,32	97,45	114,22	-131,45	-28,43	-32,05	-35,38	9,68	141,27
7	110,52	114,65	-23,25	91,09	-56,11	-4,37	-63,05	-18,00	168,94
8	120,99	125,13	86,54	-159,12	-56,11	-4,37	-63,05	-18,00	168,94
9	158,26	162,39	-70,99	43,35	-103,85	43,37	-110,79	-65,74	216,68
10	168,74	172,87	38,80	-206,86	-103,85	43,37	-110,79	-65,74	216,68

Tabla 7 - Ángulos barras

Una vez definidos todos los datos necesarios para la utilización de las ecuaciones que nos permiten el cálculo de las longitudes estas se obtendrán mediante el uso de las ecuaciones. Para ello las ecuaciones del apartado 5.1.1 se introducirán en las tablas de Excel de forma genérica para que los signos de las distancias varíen en función del valor de los ángulos medidos como se ve en la Figura 53.



ELEMENTO	NUDO	ABC
POSICION	EJE X	EJE Y
1	433,713	975,848
2	603,889	880,741
3	882,336	601,557
4	976,992	431,130
5	1059,573	133,007
6	1066,097	-61,832
7	1000,135	-374,321
8	915,421	-549,901
9	395,526	-991,941
10	208,607	-1047,316

Figura 53 - Formula distancias

Tras la introducción de todas las formulas para cada distancia y posición se obtienen todas las distancias en función de los ejes X e Y.

Todas estas distancias para las 10 posiciones de cada elemento han sido recogidas en las siguientes tablas:

- **Elemento ABC** : Tabla 8
- **Elemento DEF** : Tabla 8
- **Elemento GFHIY** : Tabla 9
- **Elemento JKLM** : Tabla 10

LONGITUDES ELMENTOS ABC Y DEF

LONGITUD MOMENTOS (mm)										
ELEMENTO	ABC				DEF					
NUDOS	AC		BC		EF		DF			
POSICION	EJE X	EJE Y	EJE X	EJE Y	EJE X	EJE Y	EJE X	EJE Y	EJE X	EJE Y
1	433,713	975,848	339,942	181,483	242,535	482,469	497,321	472,012	497,321	472,012
2	603,889	880,741	301,285	240,259	-536,087	64,891	-612,496	308,174	-612,496	308,174
3	882,336	601,557	193,559	333,214	460,133	282,627	671,282	139,655	671,282	139,655
4	976,992	431,130	129,758	362,850	-421,704	337,292	-358,651	584,374	-358,651	584,374
5	1059,573	133,007	20,311	384,817	538,387	41,701	661,107	-181,827	661,107	-181,827
6	1066,097	-61,832	-49,985	382,097	-221,493	492,485	-52,704	683,627	-52,704	683,627
7	1000,135	-374,321	-160,739	350,228	496,165	-213,120	501,029	-468,074	501,029	-468,074
8	915,421	-549,901	-221,730	315,171	32,577	539,016	270,832	629,900	270,832	629,900
9	395,526	-991,941	-367,304	116,555	175,924	-510,540	-9,501	-685,590	-9,501	-685,590
10	208,607	-1047,316	-382,372	47,839	420,843	338,365	648,328	223,145	648,328	223,145

Tabla 8 - Longitudes elementos ABC y DEF

LONGITUD ELEMENTO CFHIG

LONGITUD MOMENTOS (mm)											
ELEMENTO	CFHIG										
NUDOS	CH			FH			GH			IH	
POSICION	EJE X	EJE Y		EJE X	EJE Y		EJE X	EJE Y		EJE X	EJE Y
1	2120,711	1246,670		1905,191	1119,976		10,308	634,916		554,801	241,291
2	2120,711	1246,670		1905,191	1119,976		10,308	634,916		554,801	241,291
3	2459,364	-55,928		2209,429	-50,244		325,356	-545,315		598,743	-86,784
4	2459,364	-55,928		2209,429	-50,244		325,356	-545,315		598,743	-86,784
5	2163,258	-1171,288		1943,415	-1052,254		538,231	-336,946		493,289	-350,272
6	2163,258	-1171,288		1943,415	-1052,254		538,231	-336,946		493,289	-350,272
7	1371,789	-2042,007		1232,380	-1834,486		633,151	-48,422		274,176	-539,307
8	1371,789	-2042,007		1232,380	-1834,486		633,151	-48,422		274,176	-539,307
9	-588,831	-2388,489		-528,990	-2145,756		461,618	436,044		-214,774	-565,595
10	-588,831	-2388,489		-528,990	-2145,756		461,618	436,044		-214,774	-565,595

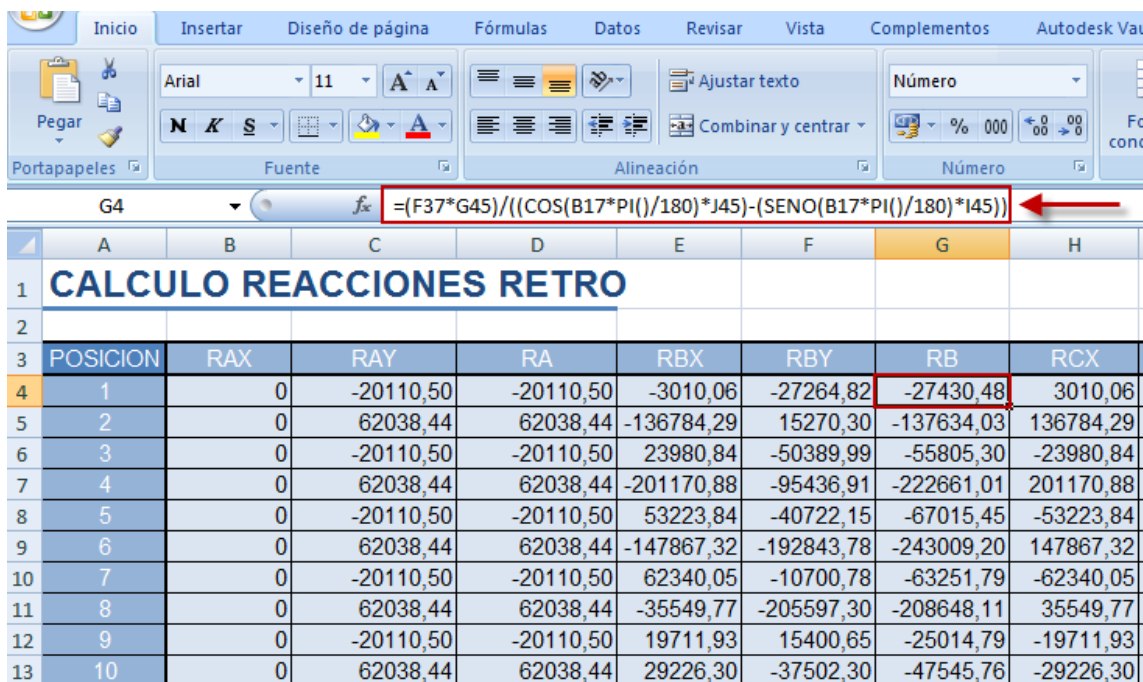
Tabla 9 - Longitudes elemento CFHIG

LONGITUD ELMENTO HJKM

LONGITUD MOMENTOS (mm)									
ELEMENTO	HJKM								
NUDOS	HM			JM			KM		
POSICION	EJE X	EJE Y		EJE X	EJE Y		EJE X	EJE Y	
1	1140,375	2904,125		887,446	2260,005		184,192	1377,742	
2	1140,375	2904,125		887,446	2260,005		184,192	1377,742	
3	2497,980	1869,358		1943,941	1454,744		-568,405	1268,470	
4	2497,980	1869,358		1943,941	1454,744		-568,405	1268,470	
5	3075,589	524,551		2393,439	408,208		-1084,308	869,698	
6	3075,589	524,551		2393,439	408,208		-1084,308	869,698	
7	2967,374	-963,895		2309,225	-750,108		-1364,192	266,607	
8	2967,374	-963,895		2309,225	-750,108		-1364,192	266,607	
9	1282,093	-2844,404		997,732	-2213,530		-1114,708	-830,377	
10	1282,093	-2844,404		997,732	-2213,530		-1114,708	-830,377	

Tabla 10 - Longitud momentos HJKM

Una vez obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo de las reacciones en los nudos. Se utiliza una hoja de Excel para el uso de las ecuaciones del apartado 5.1 que permiten calcular los valores de las reacciones, estas ecuaciones se introducen de forma genérica en función de los ángulos de la tabla 5 y las distancias de las tablas 8, 9 y 10 en la hoja de Excel para así calcular las reacciones para cada nudo a lo largos de las 10 posiciones analizadas como se ve en la Figura 54.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	CALCULO REACCIONES RETRO							
2								
3	POSICION	RAX	RAY	RA	RBX	RBX	RB	RCX
4	1	0	-20110,50	-20110,50	-3010,06	-27264,82	-27430,48	3010,06
5	2	0	62038,44	62038,44	-136784,29	15270,30	-137634,03	136784,29
6	3	0	-20110,50	-20110,50	23980,84	-50389,99	-55805,30	-23980,84
7	4	0	62038,44	62038,44	-201170,88	-95436,91	-222661,01	201170,88
8	5	0	-20110,50	-20110,50	53223,84	-40722,15	-67015,45	-53223,84
9	6	0	62038,44	62038,44	-147867,32	-192843,78	-243009,20	147867,32
10	7	0	-20110,50	-20110,50	62340,05	-10700,78	-63251,79	-62340,05
11	8	0	62038,44	62038,44	-35549,77	-205597,30	-208648,11	35549,77
12	9	0	-20110,50	-20110,50	19711,93	15400,65	-25014,79	-19711,93
13	10	0	62038,44	62038,44	29226,30	-37502,30	-47545,76	-29226,30

Figura 54 - Calculo reacciones

Esta tabla Excel proporciona los valores las reacciones en cada nudo de la estructura, los signos de estas están en función de los diagramas de solido libre del apartado 5.1 utilizados para la obtención de las ecuaciones necesarias para el cálculo de las reacciones en el punto 5.1.1, por lo tanto si estas tienen signo positivo significa que van en el sentido dibujado, si el signo es negativo van en signo contrario.

A demás de esto se han descompuesto los valores de las reacciones de cada nudo en reacciones en los ejes X e Y

				Reacción en X	Reacción en Y	Reacción
CALCULO REACCIONES RETRO				↓	↓	↓
POSICION	RAX	RAY	RA	RBX	RBY	RB
1	0	-20110,50	-20110,50	-3010,06	-27264,82	-27430,48
2	0	62038,44	62038,44	-136784,29	15270,30	-137634,03
3	0	-20110,50	-20110,50	23980,84	-50389,99	-55805,30
4	0	62038,44	62038,44	-201170,88	-95436,91	-222661,01
5	0	-20110,50	-20110,50	53223,84	-40722,15	-67015,45
6	0	62038,44	62038,44	-147867,32	-192843,78	-243009,20
7	0	-20110,50	-20110,50	62340,05	-10700,78	-63251,79
8	0	62038,44	62038,44	-35549,77	-205597,30	-208648,11
9	0	-20110,50	-20110,50	19711,93	15400,65	-25014,79
10	0	62038,44	62038,44	29226,30	-37502,30	-47545,76

Figura 55 - Reacciones en X e Y

Una vez introducido todas las formulas en sus respectivos nudos los resultados obtenidos para cada nudo de cada elemento de la estructura en las 10 posiciones analizadas son:

- **Nudos A, B y C** : Tabla 11
- **Nudos D, E y F** : Tabla 12
- **Nudos H, G e I** : Tabla 13
- **Nudos J y K** : Tabla 14
- **Nudos L y M** : Tabla 15

REACCIONES NUDOS A, B y C

REACCIONES NUDOS (N)										
NUDO POSICION	A			B			C			
	RAX	RAY	RA	RBX	RBX	RBX	RCX	RCY	RC	RC
1	0	-20110,50	-20110,50	-3010,06	-27264,82	-27430,48	3010,06	47375,32	47470,85	
2	0	62038,44	62038,44	-136784,29	15270,30	-137634,03	136784,29	-77308,74	157119,65	
3	0	-20110,50	-20110,50	23980,84	-50389,99	-55805,30	-23980,84	70500,49	74467,44	
4	0	62038,44	62038,44	-201170,88	-95436,91	-222661,01	201170,88	33398,47	203924,44	
5	0	-20110,50	-20110,50	53223,84	-40722,15	-67015,45	-53223,84	60832,65	80829,38	
6	0	62038,44	62038,44	-147867,32	-192843,78	-243009,20	147867,32	130805,34	197420,32	
7	0	-20110,50	-20110,50	62340,05	-10700,78	-63251,79	-62340,05	30811,28	69538,60	
8	0	62038,44	62038,44	-35549,77	-205597,30	-208648,11	35549,77	143558,86	147895,00	
9	0	-20110,50	-20110,50	19711,93	15400,65	-25014,79	-19711,93	4709,85	20266,79	
10	0	62038,44	62038,44	29226,30	-37502,30	-47545,76	-29226,30	-24536,14	38160,17	

Tabla 11 Reacciones nudos A, B, C

REACCIONES NUDOS D, E Y F

REACCIONES NUDOS (N)										
NUDO POSICION	D			E			F			
	RDX	RDY	RD	REX	REY	RE	RFX	RFY	RF	RF
1	-3010,06	-27264,82	-27430,48	40083,44	17972,18	43928,14	-37073,37	45237,00	58487,79	
2	-136784,29	15270,30	-137634,03	184908,05	73696,02	199052,98	-48123,75	58425,72	75693,20	
3	23980,84	-50389,99	-55805,30	88589,92	-11820,42	89375,03	-112570,76	38569,57	118994,90	
4	-201170,88	-95436,91	-222661,01	317107,91	-56028,82	322019,65	-115937,04	39408,09	122451,60	
5	53223,84	-40722,15	-67015,45	88208,92	-61147,11	107330,25	-141432,76	-20424,96	142899,98	
6	-147867,32	-192843,78	-243009,20	280048,39	-212183,36	351352,92	-132181,07	-19339,57	133588,37	
7	62340,05	-10700,78	-63251,79	46907,98	-89764,85	101282,22	-109248,03	-79064,07	134856,44	
8	-35549,77	-205597,30	-208648,11	128347,69	-273000,03	301665,62	-92797,91	-67402,73	114693,42	
9	19711,93	15400,65	-25014,79	-13798,92	-37605,61	40057,37	-5913	-53006,26	53335,05	
10	29226,30	-37502,30	-47545,76	-26372,77	-63481,40	68741,63	-2853,52	-25979,09	26135,34	

Tabla 12 - Reacciones nudos D, E, F

REACCIONES NUDOS G, H e I

REACCIONES NUDOS (N)										
NUDO POSICION	G			H			I			
	RGX	RGY	RG	RHX	RHY	RH	RIX	RIY	RI	
1	40083,44	17972,18	43928,14	49524,32	-102794,09	114102,07	-49524,32	-82683,59	-96380,67	
2	184908,05	73696,02	199052,98	-246722,73	473955,72	534327,74	246722,73	411917,28	480154,09	
3	88589,92	-11820,42	89375,03	80004,03	-61456,72	100883,96	-80004,03	-41346,22	-90056,40	
4	317107,91	-56028,82	322019,65	-537995,82	340075,62	636467,54	537995,82	278037,18	605594,06	
5	88208,92	-61147,11	107330,25	62995,45	-20330,40	66194,80	-62995,45	-219,90	-62995,83	
6	280048,39	-212183,36	351352,92	-569045,90	64024,79	572636,37	569045,90	1986,35	569049,37	
7	46907,98	-89764,85	101282,22	18864,95	-10298,40	21492,86	-18864,95	9812,10	-21264,14	
8	128347,69	-273000,03	301665,62	-357680,03	-123999,34	378564,18	357680,03	-186037,78	403168,77	
9	-13798,92	-37605,61	40057,37	-14348,22	-74493,18	75862,41	14348,22	-54382,68	56243,65	
10	-26372,77	-63481,40	68741,63	17095,40	126833,50	127980,42	-17095,40	64795,06	-67012,33	

Tabla 13 - Reacciones nudos G, H, I



REACCIONES NUDOS J y K

REACCIONES NUDOS (N)						
NUDO	J			K		
POSICION	RJX	RJY	RJ	RKX	RKY	RK
1	-68799,30	-111135,08	-130707,11	-49524,32	-82683,59	-96380,67
2	290109,07	468628,22	551158,49	246722,73	411917,28	480154,09
3	-118256,98	-46344,40	-127013,84	-80004,03	-41346,22	-90056,40
4	531357,74	208236,82	570704,50	537995,82	278037,18	605594,06
5	-128517,71	13190,34	-129192,83	-62995,45	-219,90	-62995,83
6	598242,20	-61400,24	601384,83	569045,90	1986,35	569049,37
7	-110959,69	65125,70	-128660,06	-18864,95	9812,10	-21264,14
8	538564,16	-316100,08	624476,27	357680,03	-186037,78	403168,77
9	-14947,82	39164,97	-41920,54	14348,22	-54382,68	56243,65
10	139662,13	-365930,58	391676,78	-17095,40	64795,06	-67012,33

Tabla 14 - Reacciones nudos J, K



MEMORIA

REACCIONES NUDOS L y M

REACCIONES NUDOS (N)							
NUDO	J				K		
	POSICION	RJX	RJY	RJ	RKX	RKY	RK
1		-68799,30	-111135,08	-130707,11	-68799,30	131245,58	148184,84
2		290109,07	468628,22	551158,49	290109,07	-530666,66	604789,53
3		-118256,98	-46344,40	-127013,84	-118256,98	66454,90	135650,16
4		531357,74	208236,82	570704,50	531357,74	-270275,26	596145,76
5		-128517,71	13190,34	-129192,83	-128517,71	6920,16	128703,89
6		598242,20	-61400,24	601384,83	598242,20	-638,20	598242,54
7		-110959,69	65125,70	-128660,06	-110959,69	-45015,20	119743,15
8		538564,16	-316100,08	624476,27	538564,16	254061,64	595481,88
9		-14947,82	39164,97	-41920,54	-14947,82	-19054,47	24217,97
10		139662,13	-365930,58	391676,78	139662,13	303892,14	334448,72

Tabla 15- Reacciones nudos J, K

5.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez obtenidos todos los valores de las reacciones, se obtiene unas graficas de los valores de las reacciones en cada nudo de la estura para comparar estos a lo largos de las 10 posiciones analizadas.

Se ha optado por dos tipos diferentes de graficas en función de si los nudos solo están trabajando a tracción compresión o si estos están sometidos a esfuerzos en las direcciones X e Y.

Las graficas de los elementos que están sometidos a esfuerzos únicamente de tracción compresión son la de los nudos que pertenecen a los cilindros y al elemento DB, las graficas para estos elementos son las siguientes:

- **Cilindro 1:** Las reacciones son las mismas para los nudos E y G que son los que pertenecen a los extremos del cilindro 1.

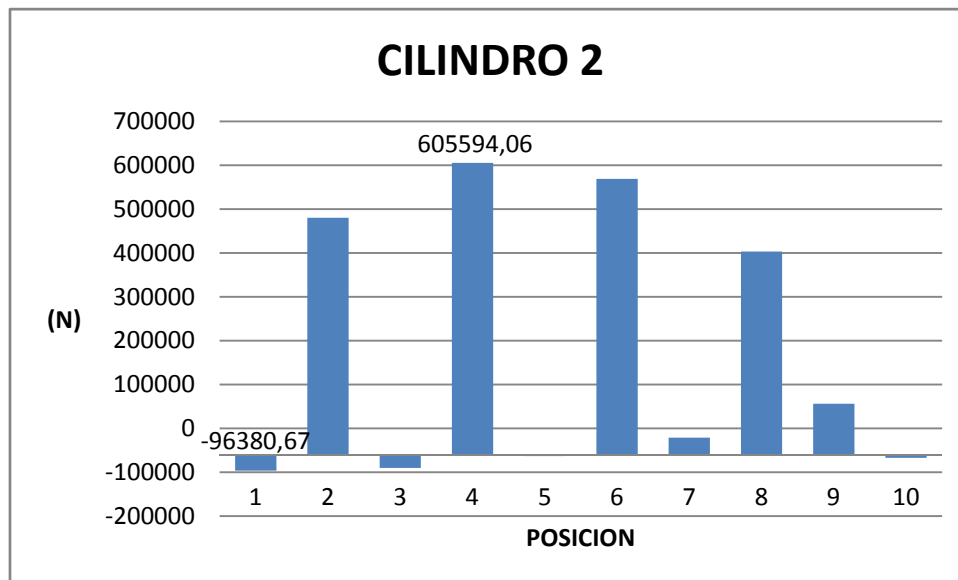
Como se observa en la grafica 1 y según el criterio de signos descrito en los diagramas de solido el cilindro solo trabaja a compresión en todas las posiciones estudiadas, cuyo valor máximo es de 351352.92 N la cual se da en la posición 6.



Grafica 1- Reacciones cilindro 1

- **Cilindro 2:** Para este cilindro las reacciones son las mismas para los nudos I y K que son los que pertenecen a los extremos del cilindro 2.

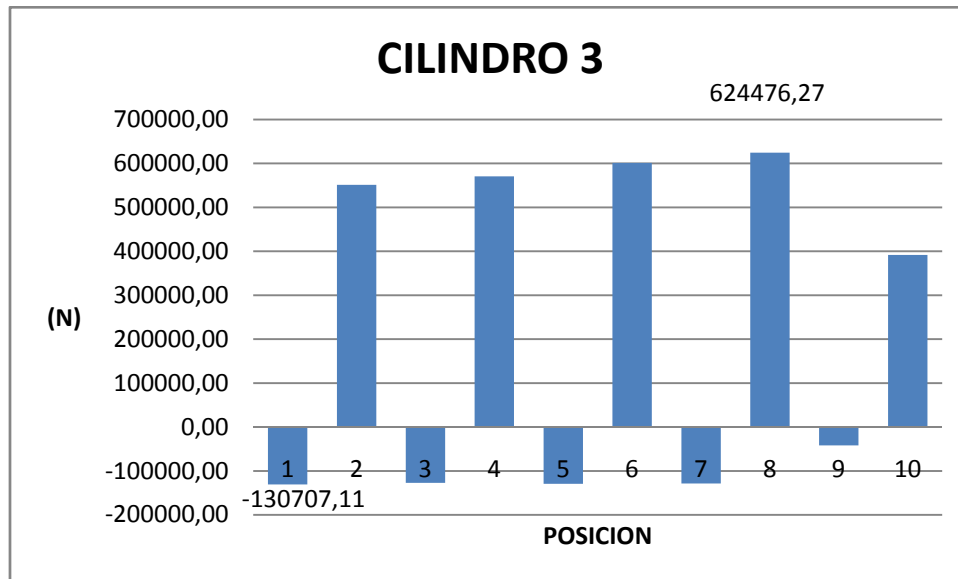
Como se observa en la grafica 2 y según el criterio de signos descrito en los diagramas de solido el cilindro trabaja tanto a compresión como tracción en las posiciones estudiadas, cuyo valor máximo de compresión es 605594.06 N la cual se da en la posición 4. Por otro lado el valor máximo a tracción da en la posición 1 con un valor de 96380.67N.



Grafica 2 – Reacciones cilindro 2

- **Cilindro 3:** Para el último cilindro las reacciones son las mismas para los nudos J y L que son los que pertenecen a los extremos del cilindro 3.

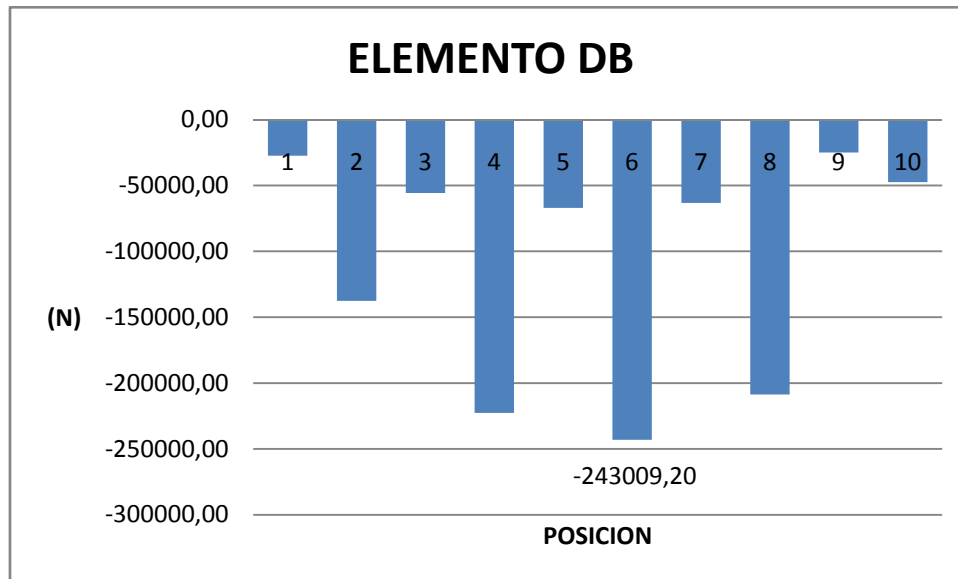
Como se observa en la grafica 3 y según el criterio de signos descrito en los diagramas de solido el cilindro trabaja tanto a compresión como tracción en las posiciones estudiadas, cuyo valor máximo de compresión es 624476.27 N la cual se da en la posición 8. Por otro lado el valor máximo a tracción da en la posición 1 con un valor de 130707.11N.



Grafica 3 - Reacciones cilindro 3

- **Elemento DB:** Es el único elemento de toda la estructura que no se trate de un cilindro que trabaja a tracción – compresión, las reacciones en este son las mismas para los nudos D y B que son los que pertenecen a los extremos del elemento DB.

Como se observa en la grafica 4 y según el criterio de signos descrito en los diagramas de solido el elemento DB solo trabaja a compresión en todas las posiciones estudiadas, cuyo valor máximo es de 243009.20 N el cual se da en la posición 6.



Grafica 4 - Reacciones elemento DB

El otro tipo de graficas son las que pertenecen a los elementos que por su forma y la posposición de sus nudos no están únicamente sometidos a esfuerzos de tracción compresión.

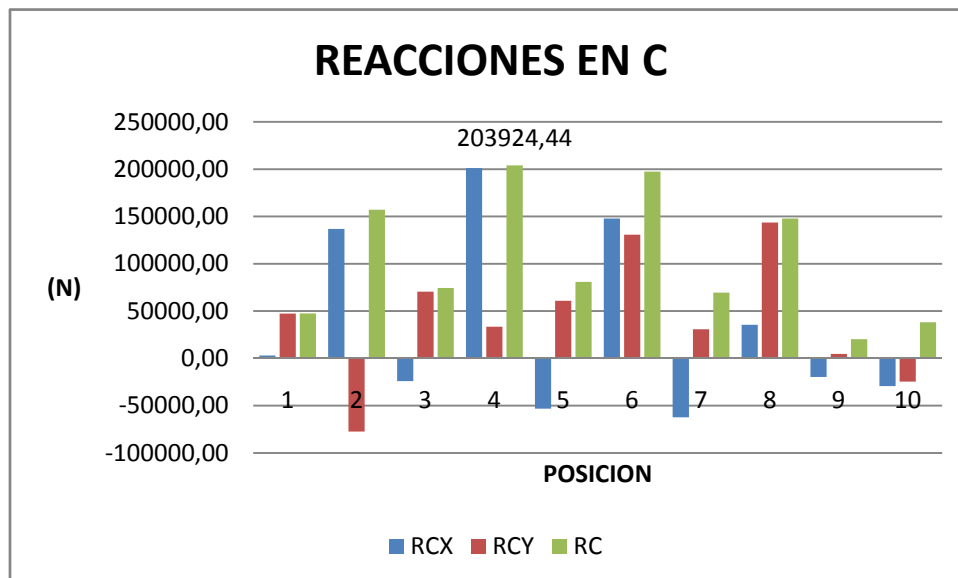
Se ha tenido en cuenta que hay nudos de estos elementos que pertenecen también a elementos que trabajaban a tracción – compresión por lo tanto los valores de estos nudos ya han sido representado en las graficas anteriores, en consecuencia solo se van a representar las reacciones los nudos que no están sometidos a esfuerzos de tracción compresión.

En estas graficas aparecerán tanto las reacciones en los ejes X e Y en función de los criterios de signos descritos en los diagramas de solido libre como la resultante en valor absoluto en cada nudo a lo largo de las 10 posiciones analizadas.

Las graficas obtenidas para los nudos que quedan por analizar de los diferentes elementos son las siguientes:

- **Nudo C:** Este nudo pertenece al elemento CFHIG, como se observa en la grafica 5 el valor máximo la resultante es de 203924.44 N obtenida se da en la posición 4 por el gran valor de la reacción en X en esa posición.

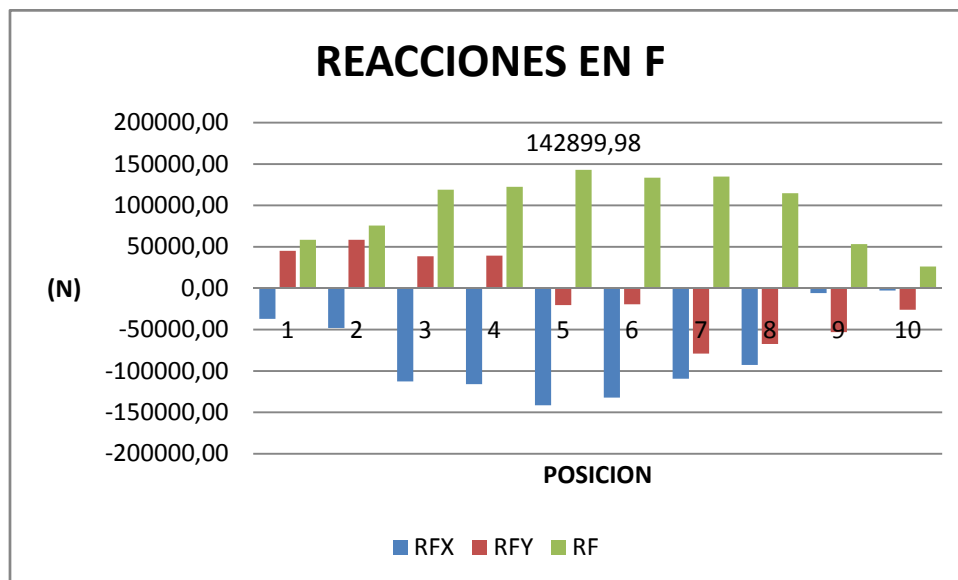
Otra posición de interés en la 6, aunque el valor de la resultante en esta no es tan elevado se observa que la reacciones en el eje X e Y son muy elevadas y de valores próximos a lo contrario que ocurría en la posición 4 que la reacción en el eje X era mucho mayor que en el eje Y.



Grafica 5 - Reacciones en C

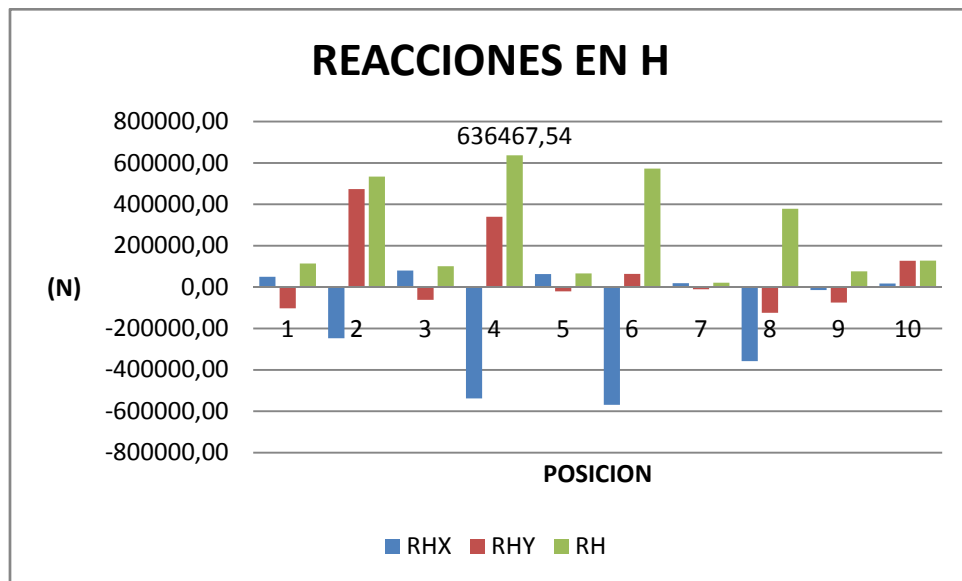
- **Nudo F:** Este nudo pertenece tanto al elemento CFHIG como al DEF, en la grafica 6 se puede observar que el valor máximo la resultante es de 142899.98 N obtenida se da en la posición 5 debido al valor de la reacción en X en esa posición.

Otra posición de interés en la 7, se puede observar que el valor de la resultante en esta no es tan elevado como en la posición 5 pero sus reacciones en el eje X e Y tienen valores muy altos y muy próximos entre si a diferencia de la posición 5 que la reacción en el eje X era mucho mayor que en el eje Y.



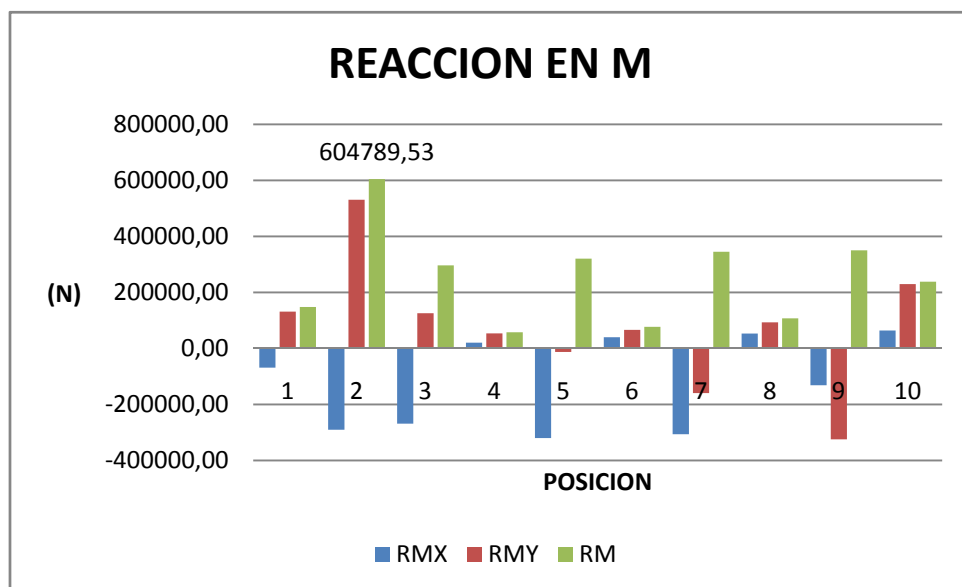
Grafica 6 – Grafica reacciones en F

- **Nudo H:** Este nudo pertenece tanto al elemento CFHIG como al HJKM, en la grafica 7 se puede observar que el valor máximo la resultante es de 636467.54 N obtenida se da en la posición 4, en este caso no hay una diferencia tan abultada entre los valores de la reacción en X e Y para en esa posición como ocurría en otro nudos.



Grafica 7 - Reacciones en H

- Nudo M:** Este nudo pertenece únicamente al elemento HJKM, analizando la grafica 8 se observa que el valor máximo la resultante es de 604789.53 N la cual se da en la posición 2, en este caso se observa que en esta posición se dan los valores máximos tanto para las reacciones en X como en Y comparándolas con el resto de posiciones aunque el valor de la reacción en Y este alrededor del doble de la reacción en X para esa posición.



Grafica 8 - Reacciones en M

6. COMPROBACIÓN NUMERICA DEL **CÁLCULO ANALÍTICO DE LAS** **REACCIONES**

Tras calcular todas las reacciones en los nudos de la estructura antes de realizar las siguientes fases del diseño de la retroexcavadora se va a comprobar que los cálculos analíticos realizados sean correctos.

Para ello se utilizara la parte de simulación de Solidworks, se va a crear un estructura de barras a partir de los croquis de las posiciones analizadas aplicando la carga en la pala correspondiente a cada una de las posiciones, para posteriormente, comparar los esfuerzos obtenidos en la simulaciones con las reacciones obtenidas por el método analítico en los nudos.

El proceso de comprobación de las reacciones obtenidas constara de las siguientes partes:

- Creación estructura
- Aplicar condiciones simulación
- Comparación de resultado

6.1. CREACIÓN ESTRUCTURA

En este punto a partir de cada croquis de las barras para cada una de las posiciones analizadas definidos en apartado 5 se creara una estructura tubular.

En todos los croquis correspondientes a las 10 posiciones analizadas se ha modificado el cazo por una estructura triangular para facilitar el proceso de simulación, esta estructura triangular respeta las cotas entre los nudos que pertenecen a la pala por lo tanto los resultados obtenidos serán validos.

Esta modificación en los croquis se puede apreciar en la figura 56.

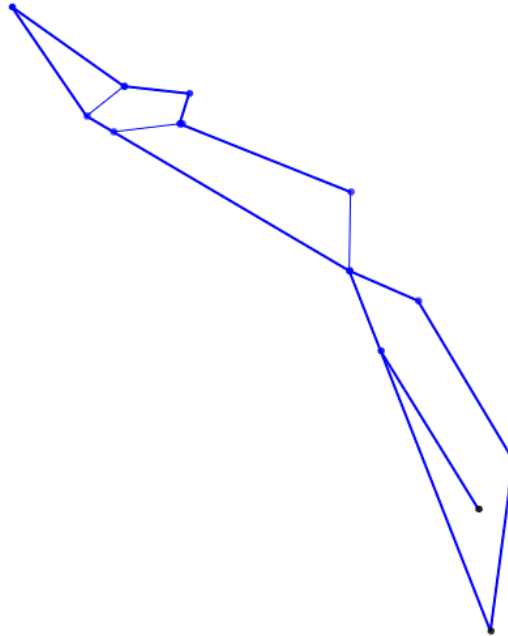


Figura 56 – Croquis estructura tubular

Tras la modificación en todos los croquis, por medio de estos, se crea una estructura tubular para todas las posiciones. Este proceso se realizara por medio de la opción de SolidWorks Miembro estructural, esta opción, se encuentra en el menú desplegable insertar en el apartado de piezas soldadas como se ve en la figura 57.

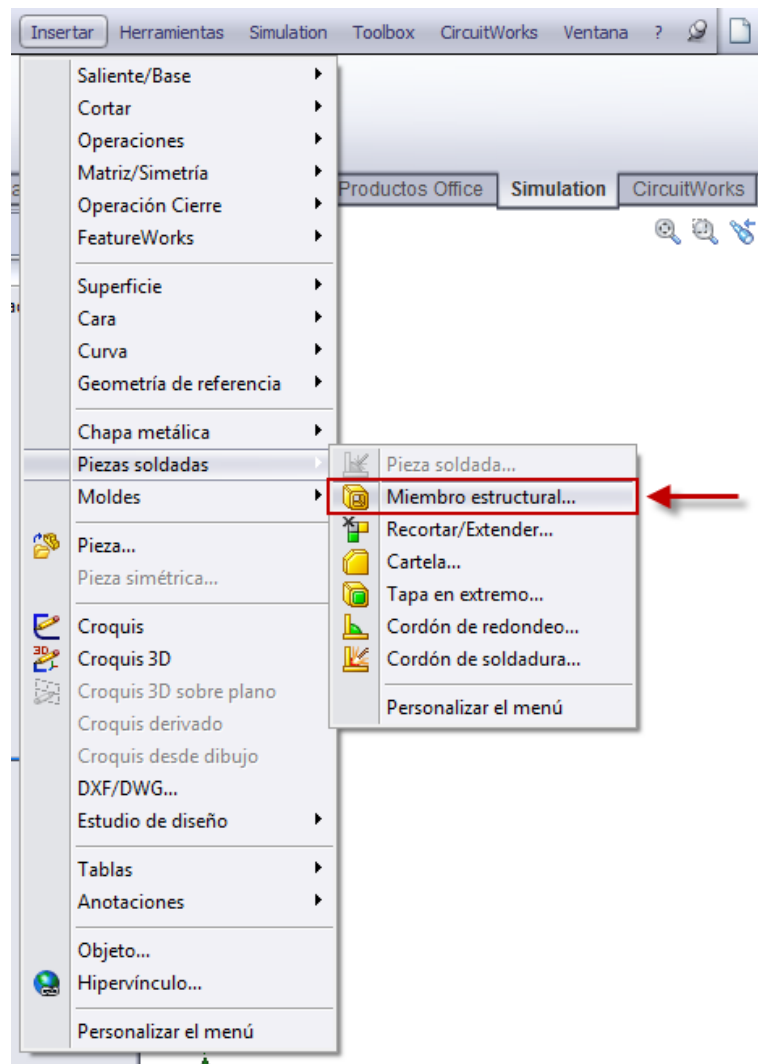


Figura 57 - Membro estructural

Esta opción nos permite seleccionar el tipo de la sección de las barras que van a formar la estructura. Esto se aplicara para cada una de las barras que componen el croquis, en este caso, se ha escogido el tipo cuadrado con unas dimensiones 20 x 20 x 1, como se puede observar en la figura 58.

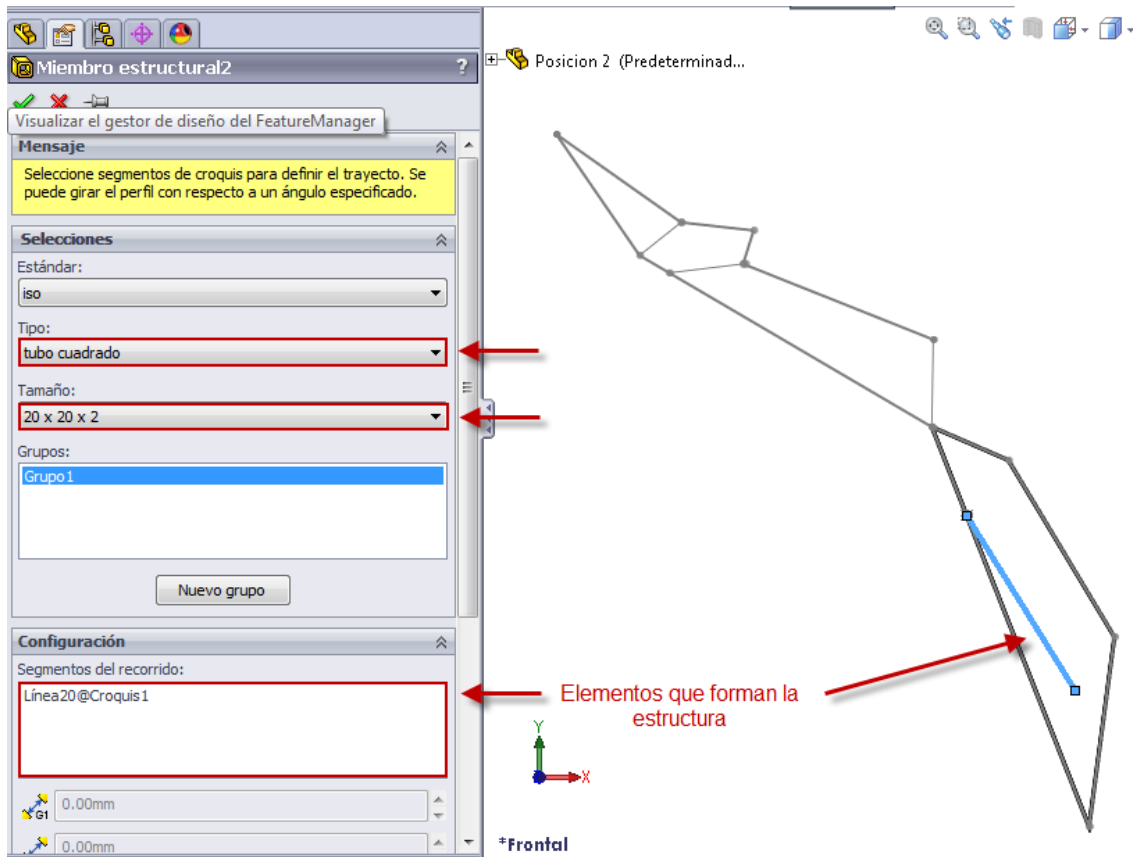


Figura 58 – Tipo elemento estructural

Las dimensiones o el tipo de perfil podría ser otro puesto que nuestro estudio solo se realiza para comparar los esfuerzos obtenidos con las reacciones calculadas, si se utilizara para calcular tensiones los resultados si se verían afectados por la elección del tipo y tamaño del perfil.

Por lo explicado anteriormente se ha escogido el mismo tipo de tubos para todas las barras de los diferentes elementos de la estructura, en los croquis de las 10 posiciones analizadas, obteniendo para cada una de ellas su respectiva estructura tubular como se puede observar en la imagen 59 la cual pertenece a la posición 2 del estudio realizado.

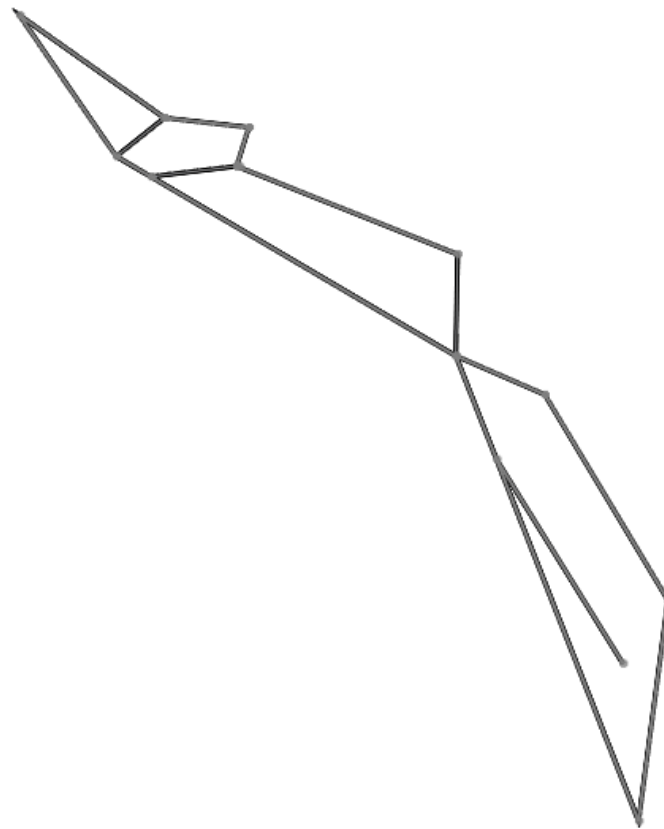


Figura 59 - Estructura tubular de la posición 2

6.2. CONDICIONES DE LA SIMULACIÓN

Una vez creada la estructura tubular se realiza una simulación con la carga que es capaz de soportar en la posición estudiada para obtener los esfuerzos. Para ello hay que crear un nuevo estudio en el que se aplicaran las condiciones a en las que se realiza este.

Para realizar el nuevo estudio hay que ir a la parte de simulation de SolidWorks y crear un nuevo estudio en nuestro caso será del tipo estático, puesto que el análisis se realiza con la maquina sin movimiento.

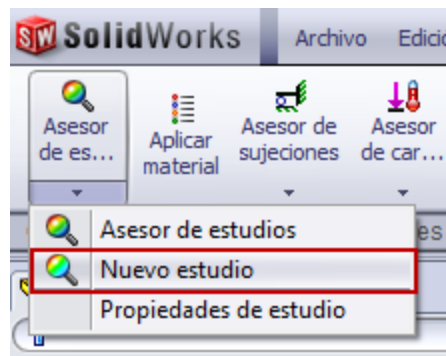


Figura 60 - Nuevo estudio

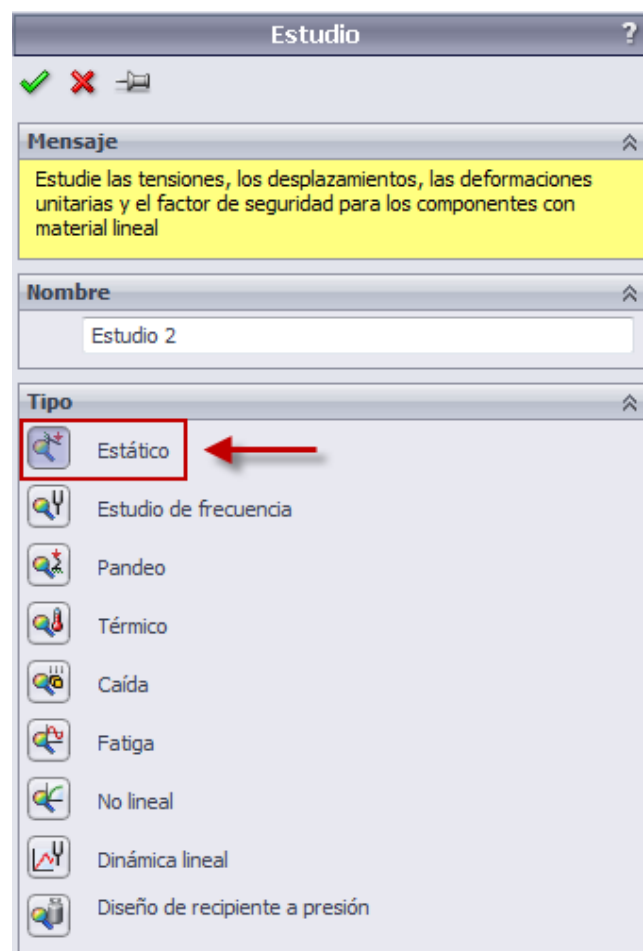


Figura 61 - Estudio estático

La siguiente parte del proceso es crear las juntas, cada una de estas corresponderá a un nudo de la estructura, estas se crean en el apartado Grupo de juntas que se encuentra en navegador de la simulación que se puede ver en la figura 62, en este apartado hay que definir la distancia mínima entre elementos para que tome estas tome como juntas. Los nudos de la estructura en este caso se ha tomado 50 mm, figura 63.

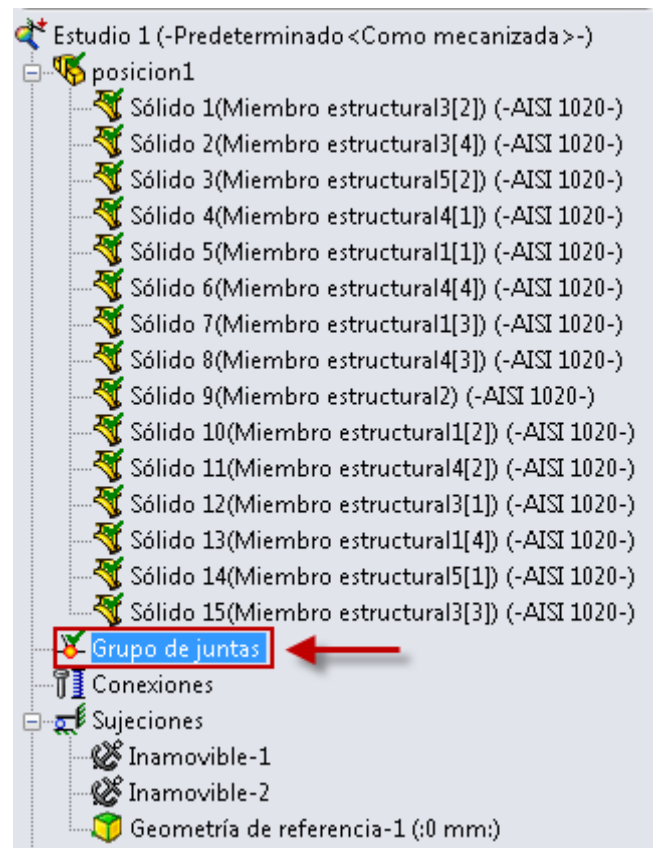


Figura 62 - Grupo de juntas

Editar juntas ?

✓ ✗

Vigas seleccionadas

☒ Todo
☐ Seleccionar

✂

Calcular

Resultados

Junta 1
Junta 2
Junta 3
Junta 4
Junta 5
Junta 6
Junta 7

☒ Mantener junta modificada al actualizar
☐ Visualizar eje neutral

Criterios:

☒ Tratar como junta para una distancia menor que

50 mm

Figura 63- Editar juntas

Tras crear las juntas hay que definir cuáles de estas se comportan como una unión rígida o una unión articulada, esta definición se realiza para cada barra que forma parte de la estructura. Esta se realiza en editar definición para cada barra que aparece en el navegador como se ve en la siguiente figura.

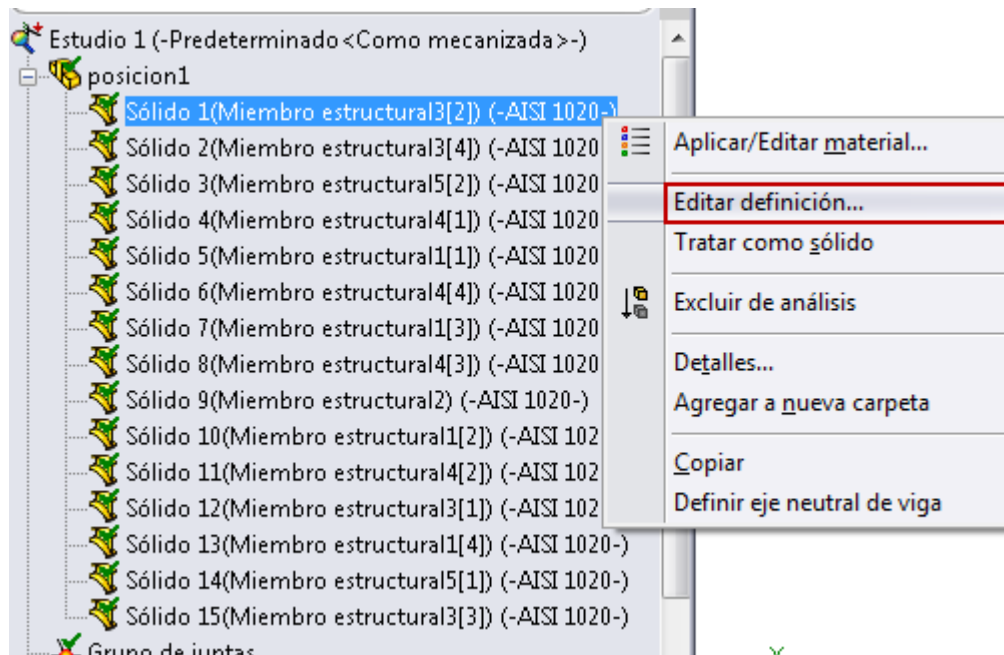


Figura 64 - Editar definición

En esta opción se determina si los nudos de esa barra son articulados o rígidos como está definido en la figura 65, una vez que un nudo ha sido definido como articulado en una determinada barra para el resto de barras a las que también pertenezca se definirá como rígido. Este proceso se realiza en todos los nudos o juntas de la estructura.

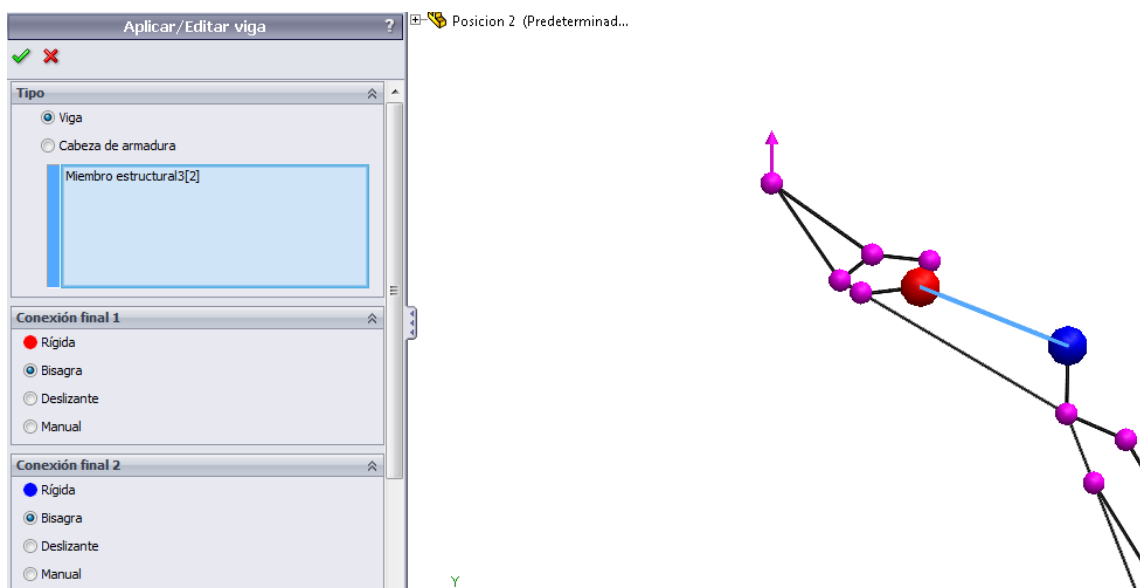


Figura 65 - Editar nudo

Otra parte a definir para poder realizar la simulación son las sujeciones de la estructura, estas también se definen en el navegador de la simulación, en este caso hay dos tipos de uniones.

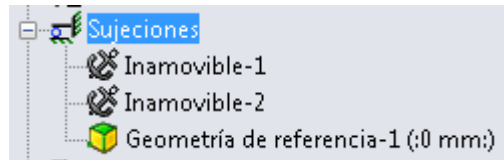


Figura 66 - Sujeciones

- **Unión inamovible sin translación:** Esta se aplicara en los nudos M y L en los que la estructura esta unida al cuerpo del tractor.

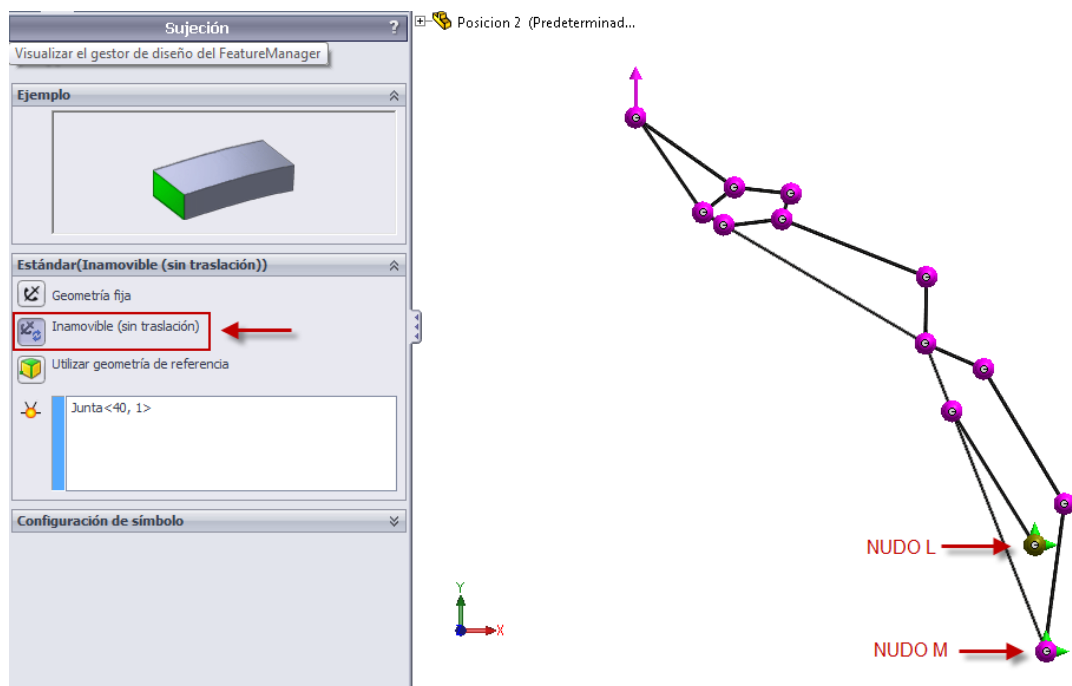


Figura 67 - Unión inamovible

- **Geometría de referencia:** Esta unión se aplicara a toda la estructura para que no se produzcan reacciones en el eje Z, de esta forma solo aparecerán en los ejes X e Y es decir en el plano vertical que es en el que trabaja la retroexcavadora.

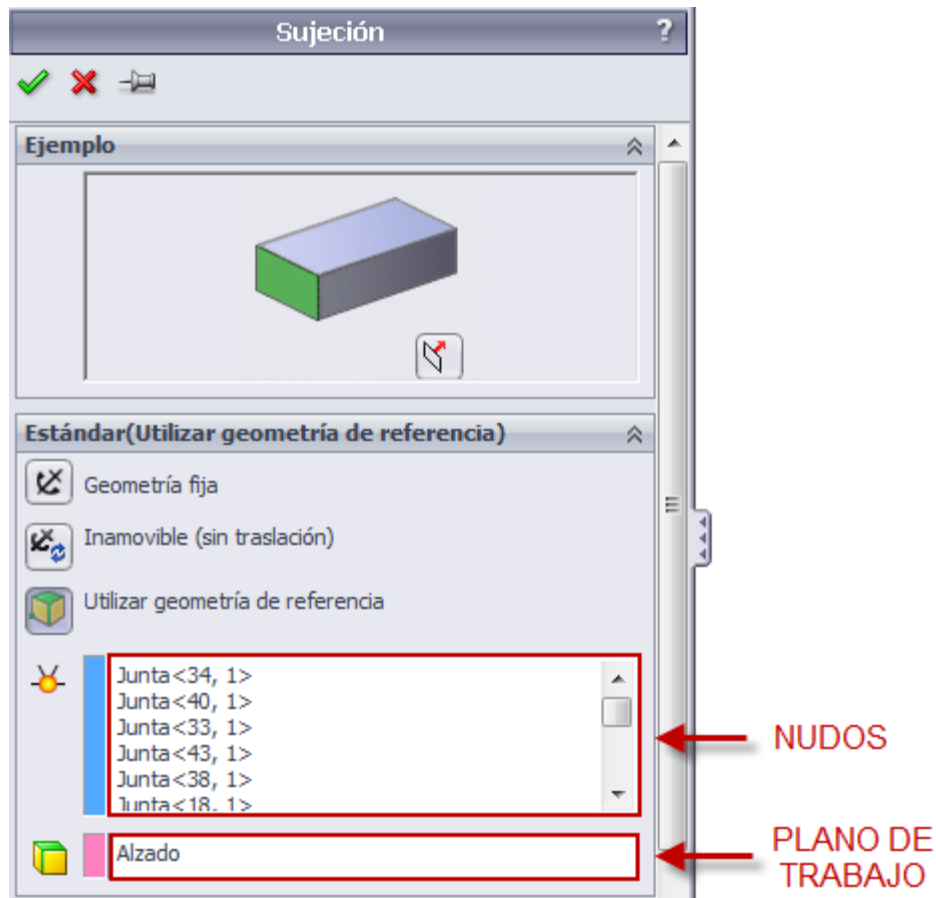


Figura 68 – Geometría de referencia

La última parte de este apartado es asignar la carga correspondiente al vértice de la pala correspondiente en cada posición, esto se realizara en cargas externas en el menú del navegador.

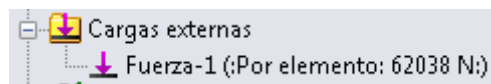


Figura 69- Cargas externas

En esta opción se define el nudo donde se aplica la carga, su valor y dirección, para ello también hay que definir el plano de trabajo en este caso será el plano vertical, esto se puede ver en la imagen 70.

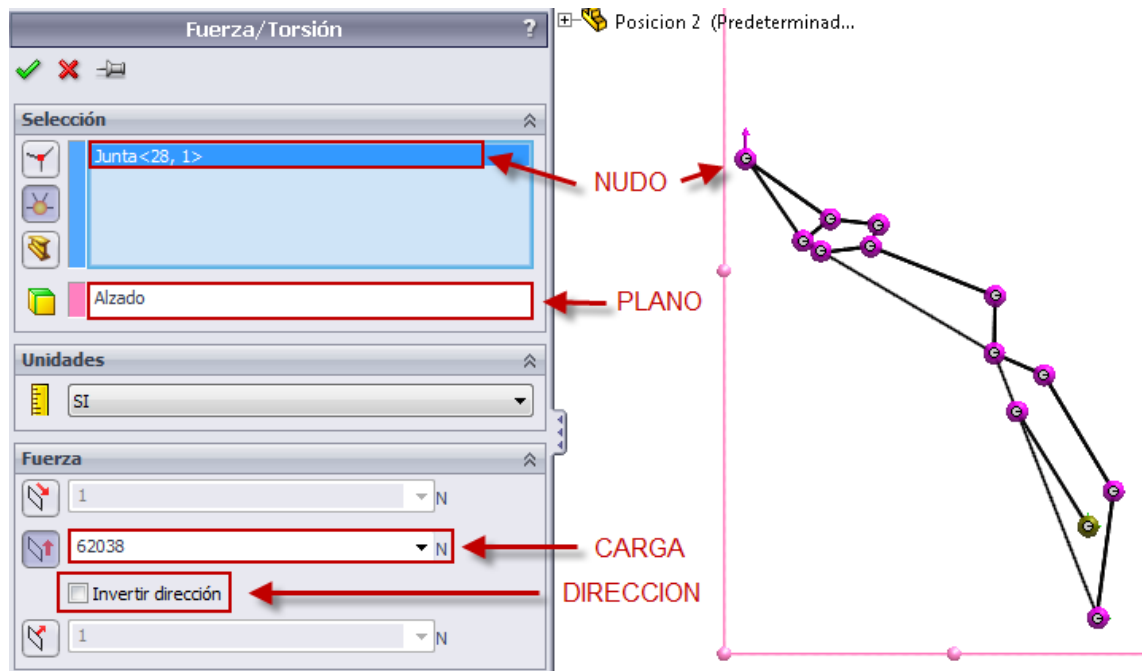


Figura 70 - Aplicación carga

Tras completar todas las condiciones del estudio se lanzaran las simulaciones para obtener los resultados es cada una de las posiciones analizadas.

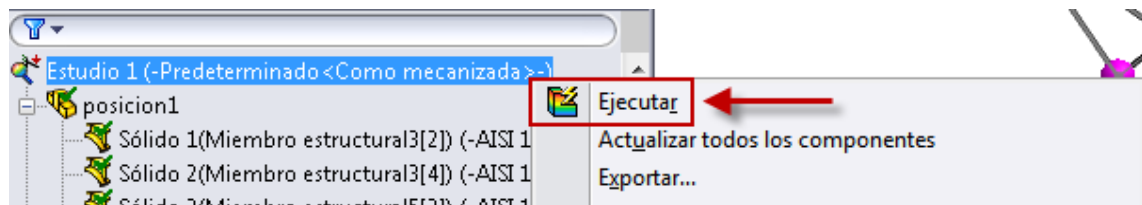


Figura 71- Ejecutar simulación

6.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Tras obtener los resultados de las simulaciones estos se comparan con los resultados de las reacciones calculadas analíticamente para su verificación.

Puesto que SolidWorks no permite obtener los valores de las reacciones en los nudos y si permite calcular los esfuerzos en las diferentes barras, se va a comparar los esfuerzos calculados por SolidWorks con los esfuerzos teóricos de las barras que trabajan a tracción – compresión.

Esta comparación se realiza para todos los elementos que trabajan a tracción-compresión a lo largo de todas las posiciones, hay que tener en cuenta que los valores no van a ser exactos puesto que al crear la estructura el programa redondea algunos ángulos y distancias, por lo tanto los resultados tendrán valores muy próximos pero no exactos.

Como ejemplo del proceso de verificación llevado a cabo, se va a explicar este para la posición 2 de las posiciones analizadas.

Los resultados obtenidos teóricamente de las barras que trabajan a tracción compresión para la posición 2 son:

- **Cilindro 1:** 199052.98 N → Compresión
- **Cilindro 2:** 480154,09 N → Compresión
- **Cilindro 3:** 551158.40 N → Compresión
- **Elemento DB:** 137634.03 N → Compresión

El primer paso de la verificación es obtener los diagramas de los esfuerzos axiles que está sometida cada barra, para ello hay que ir a la carpeta Resultados del menú del navegador de la simulación y definir el tipo de diagrama de vigas que queremos ver, en este caso son de esfuerzos axiles y las unidades seleccionas son Newtons.

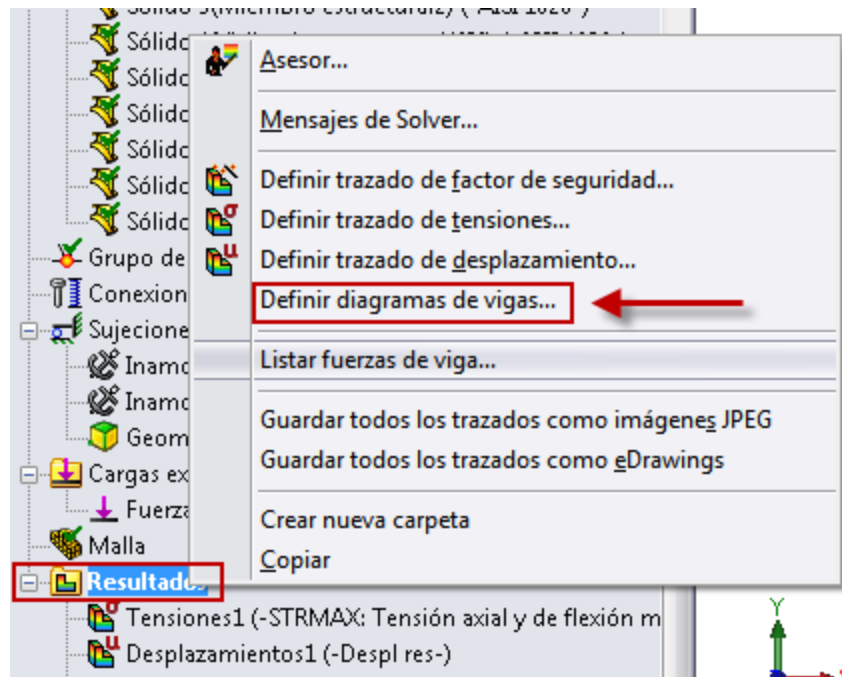


Figura 72 - Definir diagramas de viga

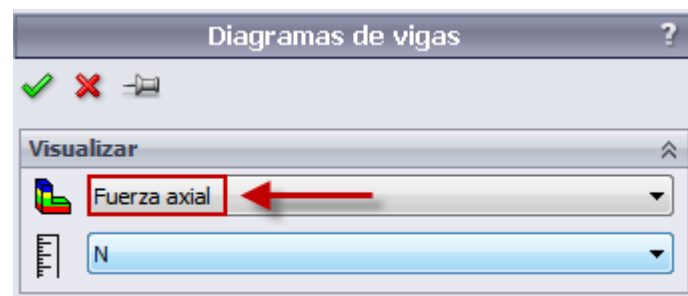


Figura 73 - Fuerza axial

El diagrama de esfuerzos axiles obtenidos para la posición 2 es el siguiente:

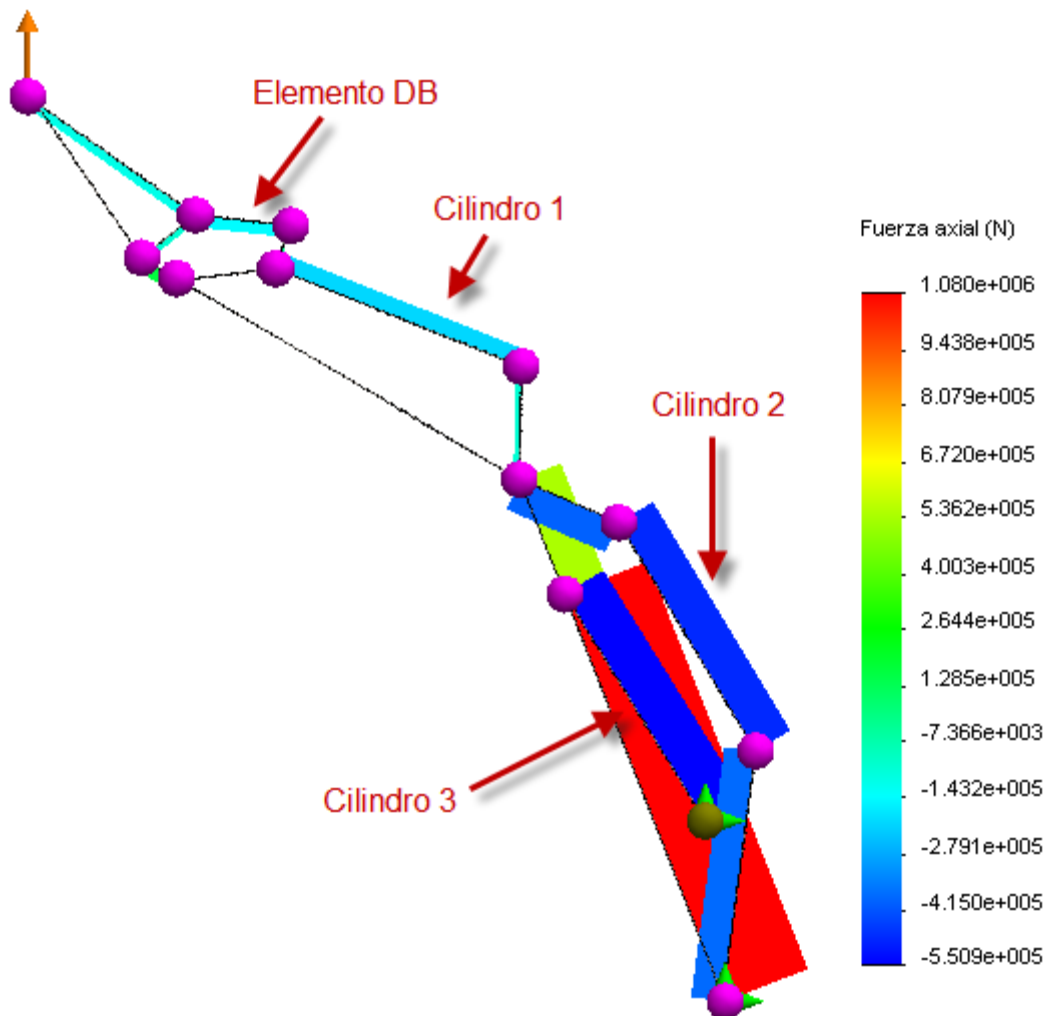


Figura 74 - Diagrama de esfuerzos axiles posición 2

En el diagrama se puede observar, en función del criterio de signos global (valores positivos tracción, valores negativos compresión) los signos de cada esfuerzo axil correspondiente a cada barra.

Tras analizar los resultados obtenidos se observa que tanto el Elemento DB como el cilindro 1, cilindro 2 y cilindro 3 su esfuerzo axil es negativo por lo que trabajan a compresión, esto coincide con el criterio de signos utilizado en el cálculo analítico en la posición 2.

Una vez verificado el criterio de signos se procede a verificar los valores numéricos de cada esfuerzo, esto se realizara mediante la opción Listar fuerzas de viga que se encuentra en la carpeta de resultados del navegador de simulación, esta opción muestra una tabla con los esfuerzos para cada elemento de la estructura.

El inconveniente de esta opción es que el criterio de signos mostrados para los resultados pertenece a los ejes locales de cada barra y estos dependen de cómo fuerco coquizadas, por eso se ha realizado la comparación de los signos mediante el diagrama de esfuerzos axiles, para la posición 2 se ha utilizado el de la figura 75.

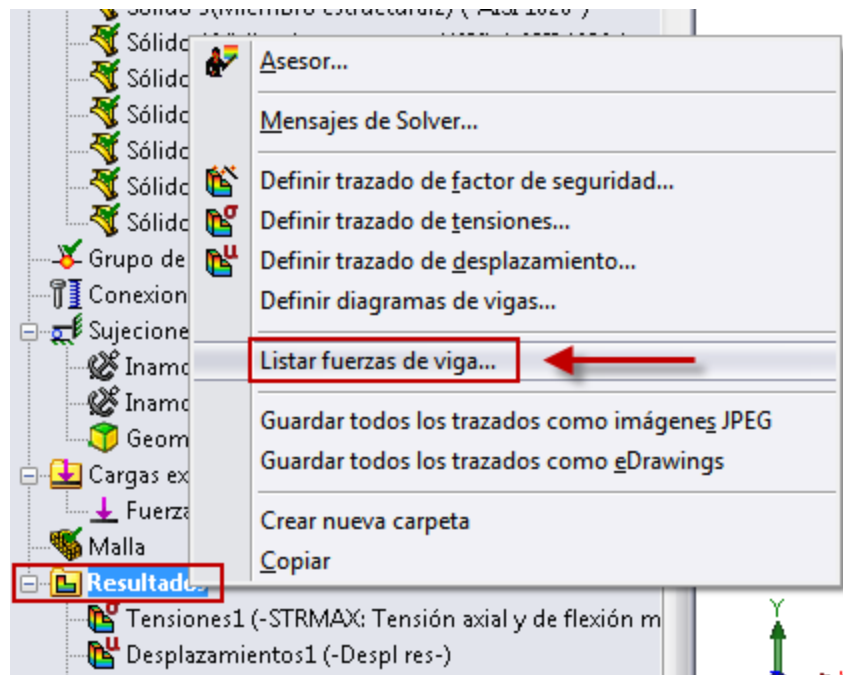


Figura 75 - Listar fuerzas de viga

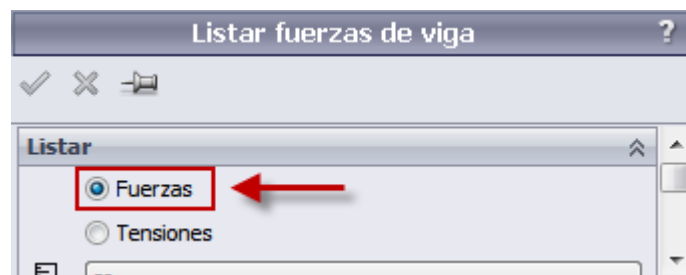


Figura 76 - Listar fuerzas de viga

La tabla con las fuerzas muestra el valor del esfuerzo axial en los dos nudos de cada barra con su signo local para la dirección de esa barra, en la tabla aparecen los esfuerzos para cada elemento barra de la estructura.

Los resultados obtenidos en la tabla para las barras analizadas son:

- **Cilindro 1** → El valor del esfuerzo axial es de 206450 N

Nombre de viga	Elemento	Final	Axial (N)	Cortante1 (N)	Cortante2 (N)	M
Viga-1(Miembro estructural3[2])						
	1	1	2.0645e+005	0.98342	-1.9073e-006	
	48	2	-2.0645e+005	-0.98538	1.3978e-005	

Figura 77 - Esfuerzo axial Cilindro 1

- **Cilindro 2** → El valor del esfuerzo axial es de 486600 N

Nombre de viga	Elemento	Final	Axial (N)	Cortante1 (N)	Cortante2 (N)	M
Viga-10(Miembro estructural1[2])						
	305	1	4.866e+005	-3.6934	1.8625e-006	
	353	2	-4.866e+005	3.6929	-1.6536e-006	

Figura 78 - Esfuerzo axial Cilindro 2

- **Cilindro 3** → El valor del esfuerzo axial es de 550880 N

Nombre de viga	Elemento	Final	Axial (N)	Cortante1 (N)	Cortante2 (N)	M
Viga-9(Miembro estructural2)						
	256	1	5.5088e+005	0.014229	8.6364e-009	
	304	2	-5.5088e+005	4.5025	2.7244e-008	

Figura 79 - Esfuerzo axial Cilindro 3

- **Elemento DB** → El valor del esfuerzo axial es de 145850 N

Nombre de viga	Elemento	Final	Axial (N)	Cortante1 (N)	Cortante2 (N)	M
Viga-8(Miembro estructural4[3])						
	238	1	1.4585e+005	1.3343	0.00023512	
	255	2	-1.4585e+005	-0.82166	0.0002161	

Figura 80 - Esfuerzo axial Elemento DB

Una vez obtenidos todos los resultados analíticos los obtenidos por medio de SolidWorks para estos elementos, se ha realizado la siguiente tabla en Excel para compara los resultados:

	ANALITICO		SOLIDWORKS	
	VALOR (N)	SIGNO	VALOR (N)	SIGNO
CILINDRO 1	199052.98	Compresión	206450	Compresión
CILINDRO2	480154,09	Compresión	486600	Compresión
CILINDRO 3	551158.40	Compresión	550880	Compresión
ELEMENTO BD	137634.03	Compresión	145850	Compresión

Tabla 16 - Esfuerzos axiles posición 2

Como se observa en la tabla, los valores teóricos como los obtenidos por SolidWorks tiene un orden de magnitud muy próximo por lo tanto teniendo en cuenta los redondeos que realiza el programa se aceptan como validos los valores analíticos calculados.

Este proceso de comparación se ha realizado a lo largos de las 10 posiciones analizadas, obteniendo que todos los valores teóricos calculados son validos.

- **POSICION 1**

	ANALITICO		SOLIDWORKS	
	VALOR (N)	SIGNO	VALOR (N)	SIGNO
CILINDRO 1	43928,1374	Compresión	46526	Compresión
CILINDRO2	96380,6711	Tracción	94863	Tracción
CILINDRO 3	130707,113	Tracción	128350	Tracción
ELEMENTO BD	27430,4759	Compresión	29109	Compresión

Tabla 17 - Esfuerzos axiles posición 1

- **POSICION 3**

	ANALITICO		SOLIDWORKS	
	VALOR (N)	SIGNO	VALOR (N)	SIGNO
CILINDRO 1	89375,0284	Compresión	93592	Compresión
CILINDRO2	90056,3985	Tracción	87595	Tracción
CILINDRO 3	127013,844	Tracción	122710	Tracción
ELEMENTO BD	55805,3042	Compresión	58555	Compresión

Tabla 18 - Esfuerzos axiles posición 3

- **POSICION 4**

	ANALITICO		SOLIDWORKS	
	VALOR (N)	SIGNO	VALOR (N)	SIGNO
CILINDRO 1	322019,65	Compresión	329430	Compresión
CILINDRO2	605594,06	Compresión	613050	Compresión
CILINDRO 3	570704,50	Compresión	559970	Compresión
ELEMENTO BD	222661,01	Compresión	232160	Compresión

Tabla 19 - Esfuerzos axiles posición 4

- **POSICION 5**

	ANALITICO		SOLIDWORKS	
	VALOR (N)	SIGNO	VALOR (N)	SIGNO
CILINDRO 1	107330,25	Compresión	111880	Compresión
CILINDRO2	62995,83	Tracción	60333	Tracción
CILINDRO 3	129192,83	Tracción	126930	Tracción
ELEMENTO BD	67015,45	Compresión	70000	Compresión

Tabla 20 - Esfuerzos axiles posición 5

- **POSICION 6**

	ANALITICO		SOLIDWORKS	
	VALOR (N)	SIGNO	VALOR (N)	SIGNO
CILINDRO 1	351352,92	Compresión	357100	Compresión
CILINDRO2	569049,37	Compresión	575870	Compresión
CILINDRO 3	601384,83	Compresión	599330	Compresión
ELEMENTO BD	243009,20	Compresión	251570	Compresión

Tabla 21 - Esfuerzos axiles posición 6

- **POSICION 7**

	ANALITICO		SOLIDWORKS	
	VALOR (N)	SIGNO	VALOR (N)	SIGNO
CILINDRO 1	101282,22	Compresión	105030	Compresión
CILINDRO2	21264,14	Tracción	18976	Tracción
CILINDRO 3	128660,06	Tracción	126580	Tracción
ELEMENTO BD	63251,79	Compresión	65711	Compresión

Tabla 22 - Esfuerzos axiles posición 7

- **POSICION 8**

	ANALITICO		SOLIDWORKS	
	VALOR (N)	SIGNO	VALOR (N)	SIGNO
CILINDRO 1	301665,62	Compresión	304260	Compresión
CILINDRO2	403168,77	Compresión	407760	Compresión
CILINDRO 3	624476,27	Compresión	622490	Compresión
ELEMENTO BD	208648,11	Compresión	214630	Compresión

Tabla 23 - Esfuerzos axiles posición 8

- **POSICION 9**

	ANALITICO		SOLIDWORKS	
	VALOR (N)	SIGNO	VALOR (N)	SIGNO
CILINDRO 1	40057,37	Compresión	40601	Compresión
CILINDRO2	56243,65	Tracción	56612	Tracción
CILINDRO 3	41920,54	Tracción	42458	Tracción
ELEMENTO BD	63251,79	Compresión	525402	Compresión

Tabla 24 - Esfuerzos axiles posición 9

- **POSICION 10**

	ANALITICO		SOLIDWORKS	
	VALOR (N)	SIGNO	VALOR (N)	SIGNO
CILINDRO 1	68741,63	Compresión	64685	Compresión
CILINDRO2	67012,33	Compresión	68338	Compresión
CILINDRO 3	391676,78	Compresión	389340	Compresión
ELEMENTO BD	47545,76	Compresión	45872	Compresión

Tabla 25 - Esfuerzos axiles posición 10



7. SELECCIÓN DE CILINDROS

Para seleccionar los cilindros lo primero es determinar las características necesarias que deberán cumplir estos en relación a la potencia y la longitud de carrera necesaria.

Utilizando las graficas de las reacciones de las 10 posiciones analizadas, obtenidas en el apartado 5.4 se ha determinado para cada uno de los cilindros las reacciones máximas a tracción y compresión de cada cilindro.

Por otro lado con la diferencia de la longitud máxima y mínima de la tabla 2, para cada cilindro, obtenemos la carrera necesaria para los cilindros.

Teniendo en cuenta los dos puntos anteriores las características necesarias para los cilindros son:

CILINDRO 1

$$Carrera = 880 \text{ mm}$$

$$Reacciones\ maximas \begin{cases} Traccion = 0 \text{ N} \\ Compresión = 351352,92 \text{ N} \end{cases}$$

CILINDRO 2

$$Carrera = 888 \text{ mm}$$

$$Reacciones\ maximas \begin{cases} Traccion = 96380,67 \text{ N} \\ Compresión = 605594,06 \text{ N} \end{cases}$$

CILINDRO 3

$$Carrera = 1203 \text{ mm}$$

$$Reacciones\ maximas \begin{cases} Traccion = 130707,11 \text{ N} \\ Compresión = 624476,27 \text{ N} \end{cases}$$

Para la elección de los cilindros se ha elegido a la compañía GLUAL Hidráulica puesto que su catalogo de productos se aproxima más a las necesidades de la retroexcavadora.

Dentro de los diferentes tipos de sujeciones que nos ofrece la compañía se ha escogido la KP ISO 3320 S ISO MP5 con charnela con rotula en la base, puesto que se adapta mejor al tipo de trabajo que va a ser sometido.



Figura 81 - Modelo cilindro

Las características técnicas de este tipo de cilindro son:

CARACTERÍSTICAS															
Norma		ISO 3320 - DIN 24334													
Tipo de construcción		Con brida													
Presión nominal		350 bar													
Presión de prueba		525 bar													
Posición de montaje		Indiferente													
Temperatura ambiente		-20°C...+80°C con estanqueidad tipo 3-8 / -20°C...+160°C con estanqueidad VITON tipo 2-5													
Temperatura del fluido		-20°C...+80°C con estanqueidad tipo 3-8 / -20°C...+160°C con estanqueidad VITON tipo 2-5													
Fluido		Aceite mineral – Otros fluidos bajo demanda													
Viscosidad		12...90 mm²/s													
Filtración		Grado de filtración según NAS 1638 clase 9...10 a obtener con filtro $\beta_{75} = 75$													
Estanqueidad vástago y pistón		Ver codificación para pedido													
Ø Pistón (mm)		40	50	63	80	100	125	140	160	180	200	220	250	280	320
Ø Vástago (mm)		28	36	45	56	70	90	100	110	125	140	160	180	200	220
Velocidad máxima (m/s) Juntas tipo 3		0,5		0,4		0,25						0,20			
Velocidad máxima (m/s) Juntas tipo 8		1				0,7						0,5			
Longitud de amortiguación (mm)	Delantera	25	30	30	30	35	50	50	55	65	70	80	90	90	100
	Trasera	25	30	30	30	35	50	50	55	65	70	80	90	90	90
Carrera mínima (mm)	Sin amortig.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Con amortig.	60	70	70	70	80	110	110	120	140	150	170	190	190	200
Tolerancia de carrera		ISO 8135													

Tabla 26 - Características cilindros

Después de tener elegido el tipo de cilindro se procede a determinar los diámetros tanto del pistón como del vástago del cilindro en función de las fuerzas de tracción compresión que se encuentra sometido el cilindro, el criterio de selección del cilindro consiste en que los valores de de tracción y compresión que sea capaz de realizar estos sean los inmediatamente superiores a los necesarios.



En función de los datos de fuerza que suministra el fabricante en la tabla 27 y las que necesitan los cilindros las dimensiones necesarias de los cilindros son:

CILINDRO 1

Diametro piston = 125 mm

Diametro vastago = 90 mm

CILINDRO 2

Diametro piston = 160 mm

Diametro vastago = 110 mm

CILINDRO 3

Diametro piston = 160 mm

Diametro vastago = 110 mm

Bore	Rod	Area ratio	Bore	Areas Rod	Annulus	Force at 350 bar ¹			Flow at 0,1 m/s ²		
Kolben	Kolbenstange	Flächenverhältnis	Kolben	Flächen Stange	Ring.	Kraft bei 350 bar ¹			Volumenstrom bei 0,1 m/s ²		
Alesage	Tige	Rapport de section	Alesage	Sections Tige	Annulaire	Force à 350 bar ¹			Débit à 0,1 m/s ²		
Pistón	Vástago	Relación secciones	Pistón	Sección Vástago	Anular	Fuerza a 350 bar ¹			Caudal a 0,1 m/s ²		
AL Ø mm	MM Ø mm	Ø A1/A3	A ₁ cm ²	A ₂ cm ²	A ₃ cm ²	F ₁ kN	F ₂ kN	F ₃ kN	q _{v1} l/min	q _{v2} l/min	q _{v3} l/min
40	28	1,96	12,57	6,16	6,41	43,13	21,13	21,99	7,54	3,69	3,85
50	36	2,08	19,63	10,18	9,45	67,35	34,93	32,43	11,78	6,11	5,67
63	45	2,04	31,17	15,90	15,27	106,95	54,55	52,37	18,70	9,54	9,16
80	56	1,96	50,27	24,63	25,64	172,49	84,51	87,93	30,16	14,78	15,38
100	70	1,96	78,54	38,48	40,06	269,59	132,03	137,46	47,12	23,09	24,03
125	90	2,08	122,72	63,62	59,10	421,09	218,30	202,72	73,63	38,17	35,46
140	100	2,04	153,94	78,54	75,40	528,22	269,50	258,62	92,36	47,12	45,24
160	110	1,90	201,06	95,03	106,03	689,91	326,08	363,68	120,64	57,02	63,62
180	125	1,93	254,47	122,72	131,75	873,18	421,09	451,90	152,68	73,63	79,05
200	140	1,96	314,16	153,94	160,22	1078,00	528,22	549,56	188,50	92,36	96,13
220	160	2,12	380,13	201,06	179,07	1304,36	689,91	614,21	228,08	120,64	107,44
250	180	2,08	490,87	254,47	236,40	1684,35	873,18	810,87	294,52	152,68	141,84
280	200	2,04	615,75	314,16	301,59	2112,86	1078,00	1034,46	369,45	188,50	180,96
320	220	1,90	804,25	380,13	424,12	2759,68	1304,36	1454,71	482,55	228,08	254,47

Notes:
1-Theoretical force (without consideration of efficiency).
2-Stroke velocity.
1MPa = 10 bar
1kN = 102 kp

Bemerkungen:
1-Theoretische Kraft (ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades).
2-Hubgeschwindigkeit.
1MPa = 10 bar
1kN = 102 kp

Remarques:
1-Force théorique (le rendement n'est pris en considération).
2-Vitesse de la tige.
1MPa = 10 bar
1kN = 102 kp

Notas:
1-Fuerza teórica (el rendimiento no está considerado).
2-Velocidad del vástago.
1MPa = 10 bar
1kN = 102 kp

Tabla 27 - Fuerzas cilindros



7.1. COMPROBACIÓN DE PANDEO

A continuación se comprueba que el diámetro del vástago elegido del cilindro para la longitud de carrera necesaria y la fuerza máxima sea mayor que el diámetro mínimo de vástago para que no se produzca pandeo en esas condiciones de trabajo, la comprobación se realizara mediante la figura 84. En caso contrario se escogerá el cilindro cuyo diámetro de vástago sea mayor o igual al que se indica en la grafica y cumpla tanto los requisitos de carrera necesarios y de fuerzas tanto de tracción y de compresión.

Las formulas utilizadas por el fabricante para calcular las longitudes son las que aparecen en la figura 82.

Antes de realizar la comprobacion con las graficas hay que tener en cuenta el tipo de sujeccion utilizado para calcular la longitud de pandeo L_K , los tipos de sujeccion aparecen en la figura 83 en este caso seria el tipo 2 por lo tanto la longitud de pandeo concidiria con la carrera necesaria.

$$L_K = L = \text{LONGITUD DE CARRERA NECESARIA}$$

CILINDRO 1

Diametro piston = 125 mm

Diametro vástago = 90 mm

Fuerza maxima = 421,09 KN

Longitud de carrera necesaria = 880 mm

Diametro de vástago minimo necesario = 36 mm

*Diametro vástago > Diametro de vástago necesario →
Cumplerequisitos*

CILINDRO 2

Diametro piston = 160 mm

Diametro vastago = 110 mm

Fuerza maxima = 689,91 KN

Longitud de carrera necesaria = 888 mm

Diametro de vastago minimo necesario = 70 mm

*Diametro vastago > Diametro de vastago necesario →
Cumplerequisitos*

CILINDRO 3

Diametro piston = 160 mm

Diametro vastago = 110 mm

Fuerza maxima = 689,91 KN

Longitud de carrera necesaria = 1203 mm

Diametro de vastago minimo necesario = 90 mm

*Diametro vastago > Diametro de vastago necesario →
Cumplerequisitos*



Como todos los cilindros cumplen las características requeridas los cilindros finales serán los mismos que fueron elegidos inicialmente:

CILINDRO 1

Diametro piston = 125 mm

Diametro vastago = 90 mm

CILINDRO 2

Diametro piston = 160 mm

Diametro vastago = 110 mm

CILINDRO 3

Diametro piston = 160 mm

Diametro vastago = 110 mm

PANDEO

Los cálculos para pandeo son realizados utilizando las siguientes fórmulas:

1. Cálculo según Euler

$$F = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{S \cdot L_k^2} \quad \text{si } \lambda > \lambda_g$$

2. Cálculo según Tetmajer

$$F = \frac{d^2 \cdot \pi(315 - \lambda)}{4 \cdot S} \quad \text{si } \lambda \leq \lambda_g$$

Explicación:
 E = Módulo de elasticidad en N/mm^2 - $2,1 \times 10^5$ para acero
 I = Momento de inercia en mm^4 para una sección circular
 $S = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 0,0491 \cdot d^4$
 $S = 3,5$ (Coeficiente de seguridad)
 L_k = Longitud libre de pandeo en mm (dependiendo del tipo de fijación, ver figuras 1,2,3 de la página 44).
 $d = \varnothing$ del vástago en mm
 λ = Grado de esbeltez
 $\lambda_g = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{0,2}}}$
 $\sigma_{0,2}$ = Límite elástico del material del vástago.

Ejemplo:
 Se busca un cilindro de la serie KP ejecución S con rótula en ambos extremos para una fuerza de empuje F de 1040 kN (106080 kp) a una presión de funcionamiento de 225 bar. La longitud de carrera debe ser 950 mm.
 Una primera estimación de la longitud libre de pandeo L_k proporciona:
 $L_k = L = 2 \times \text{longitud de carrera} = 1900 \text{ mm}$ (ver página 44 fig. 2)
 El gráfico (página 44) nos muestra que un $\varnothing$ del vástago de 180 mm es suficiente.
 Basándose en la zona requerida $A_{1 \text{ req}}$. La tabla de elección de la página 45 indica un $\varnothing$ del pistón de 250 mm.
 $A_{1 \text{ req}} = F/p = 106080 \text{ kp}/225 \text{ bar}$
 $A_{1 \text{ req}} = 471,5 \text{ cm}^2$ (condición: $A_{1 \text{ req}} < A_1$)
 La longitud libre de pandeo puede ser determinada de las tablas de dimensiones de la página 63 (tipo de fijación S) y página 67 (cabeza de rótula 220 KZ 046) de la siguiente manera:
 $L_k = L$, es decir, la distancia entre las rótulas con el vástago extendido.
 $L_k = XO + \text{carrera} + \text{carrera} + CH$
 $L_k = 825 + 950 + 950 + 260 = 2985 \text{ mm}$.
 El gráfico de la página 44 indica que el $\varnothing$ del vástago seleccionado de 180 mm es suficiente para la fuerza del empuje requerido.

Figura 82 – Formulas pandeo

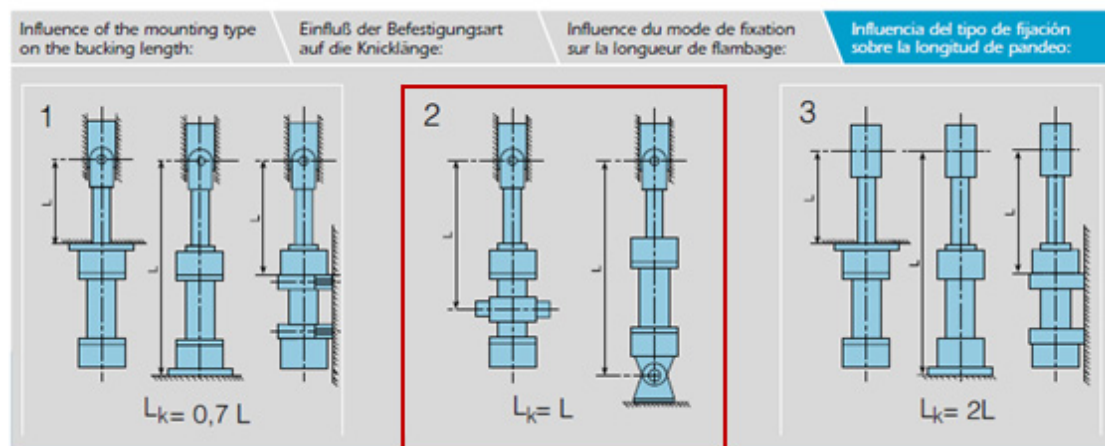


Figura 83 – Tipos de fijación pandeo

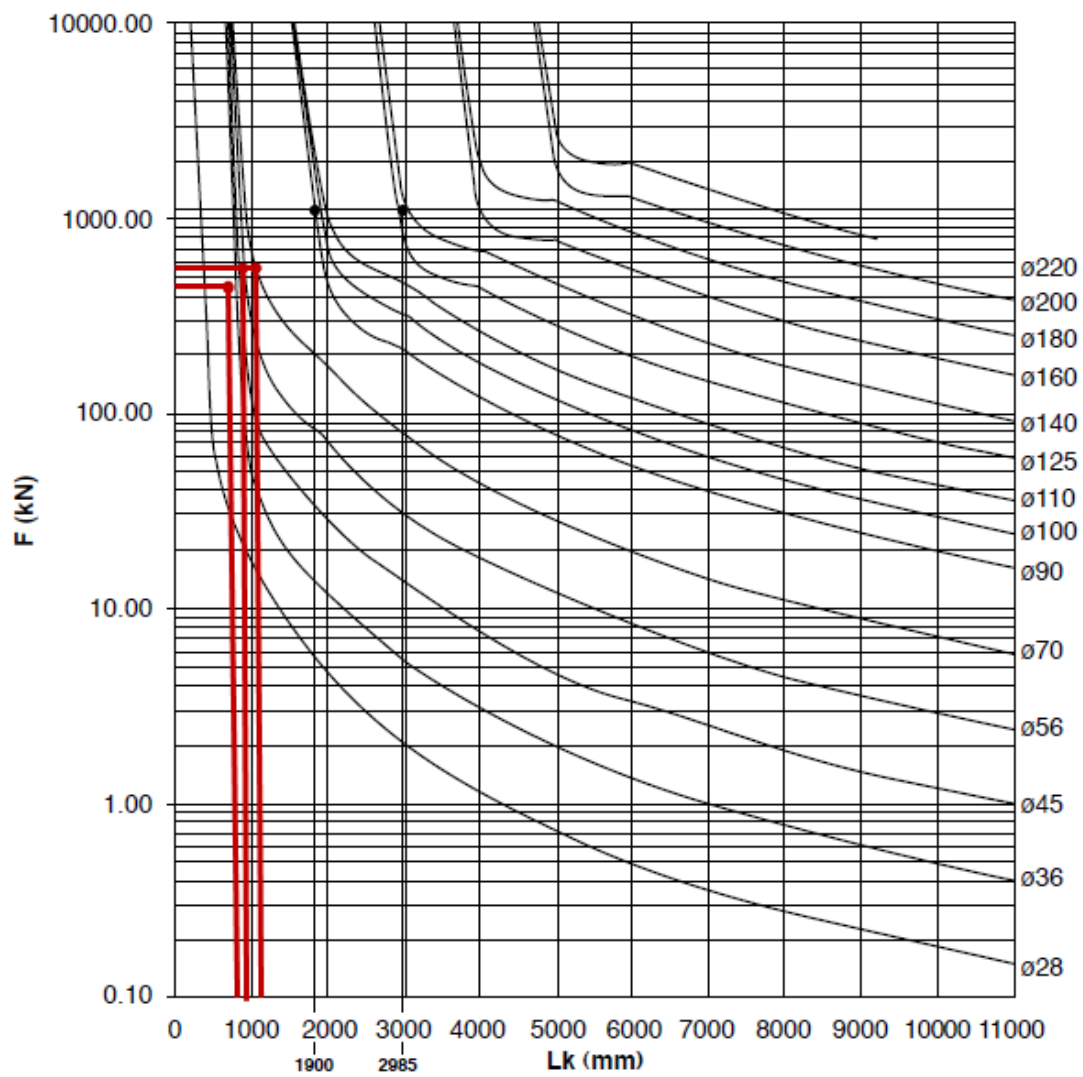


Figura 84 – Longitud de pandeo

7.2. CARACTERÍSTICAS CILINDROS

En la tabla 28 aparecen las características geométricas de los cilindros escogidos:

S
ISO MP 5

Spherical eye mounting
Gelenkauge am Zylinderboden
Tenon à rotule sur le fond
CHARNELA CON RÓTULA

Nominal pressure
Nenndruck
Pression nominale
Presión nominal
350 bar

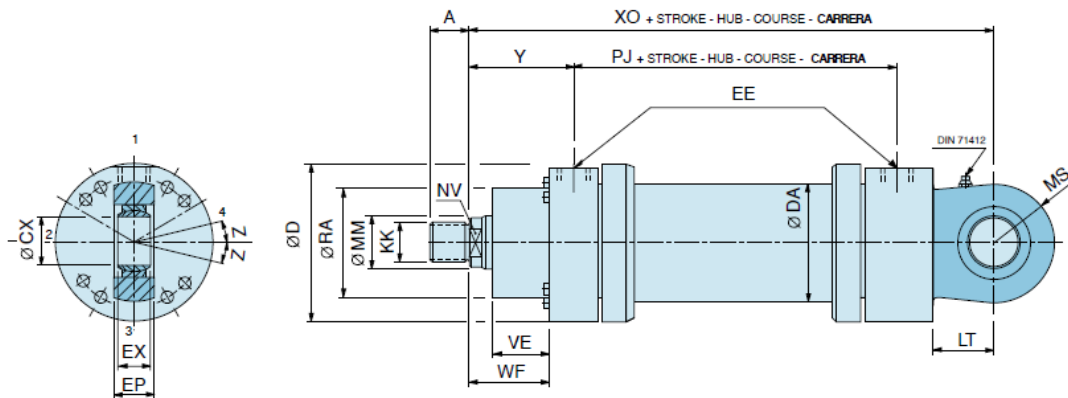


Figura 85 – Dimensiones cilindro

Location of cushioning-screws, side 2 * Lage der Dämpfungsschrauben, Seite 2 * Position des vis de réglage d'amortissement, face 2 * Posición regulador amortiguación, lado 2

	40	50	63	80	100	125	140	160	180	200	220	250	280	320
MM	28	36	45	56	70	90	100	110	125	140	160	180	200	220
A	1 22	28	35	45	58	65	80	100	110	120	120	130	—	—
2	35	45	55	75	95	110	120	140	150	160	160	190	200	220
3	28	36	45	56	63	75	85	90	95	105	105	112	125	160
RA _{vis}	52	70	88	98	120	150	170	200	230	250	275	320	335	350
CX	30 _{-0,010}	35 _{-0,012}	40 _{-0,012}	50 _{-0,012}	60 _{-0,015}	70 _{-0,015}	80 _{-0,015}	90 _{-0,020}	100 _{-0,020}	110 _{-0,020}	110 _{-0,020}	120 _{-0,020}	140 _{-0,025}	160 _{-0,025}
DA	55	65	78	100	125	165	180	203	236	254	295	324	368	406
D	92	108	140	148	186	235	258	292	325	350	375	440	460	490
EE	G 1/2"G	1/2"G	3/4"G	3/4"G	1"G	1 1/4"G	1 1/4"G	1 1/2"G	1 1/2"G	1 1/2"G	1 1/2"G	1 1/2"G	1 1/2"G	1 1/2"G
M	M22x1,5	M22x1,5	M27x2	M27x2	M33x2	M42x2	M42x2	M48x2	M48x2	M48x2	M48x2	M48x2	M48x2	M48x2
EP _{0,4}	28	30	35	40	50	55	60	65	70	80	80	90	100	110
EX	22 _{-0,12}	25 _{-0,12}	28 _{-0,12}	35 _{-0,12}	44 _{-0,15}	49 _{-0,15}	55 _{-0,15}	60 _{-0,20}	70 _{-0,20}	70 _{-0,20}	70 _{-0,20}	85 _{-0,20}	90 _{-0,25}	105 _{-0,25}
KK	1 M22x1,5	M28x1,5	M35x1,5	M45x1,5	M58x1,5	M65x1,5	M80x2	M100x2	M110x2	M120x3	M120x3	M130x3	—	—
2	M24x2	M30x2	M39x3	M50x3	M64x3	M80x3	M90x3	M100x3	M110x4	M120x4	M120x4	M150x4	M160x4	M180x4
3	M20x1,5	M27x2	M33x2	M42x2	M48x2	M56x2	M64x3	M72x3	M80x3	M90x3	M90x3	M100x3	M125x4	M160x4
LT	35	45	50	55	65	75	80	90	105	115	115	140	170	200
MS	36	42	52	65	70	82	95	113	125	142,5	142,5	180	200	250
NV	22	30	36	46	60	75	85	95	110	120	140	160	180	200
PJ	120	120	133	146	171	205	219	240	264	278	326	336	366	391
VE	45	47	43	53	55	68	75	90	100	110	125	135	150	165
WF	63	65	65	75	80	100	110	130	145	155	165	175	190	205
XO	268	280	330	355	390	495	530	600	665	710	760	825	895	965
Y	91	90	117	124	119	170	186	210	241	262	262	272	282	287
Z	6°	6°	7°	6°	6°	6°	6°	5°	7°	6°	6°	6°	7°	8°

Tabla 28 – Características geométricas cilindros



7.4. COMPROBACIÓN LONGITUD DE CARRERA

Una vez seleccionados los cilindros necesarios se ha comprobado que estos encajarían correctamente en las posiciones de montaje teniendo en cuenta la longitud mínima de estos y la longitud mínima de las posiciones analizadas.

Para determinar la longitud mínima de los cilindros se realizó la suma de la cota XO facilitada en la tabla 28 y la longitud de carrera necesaria para cada cilindro.

$$\text{Longitud mínima cilindros} = XO + \text{Carrera}$$

Una vez determinada la longitud mínima de los cilindros se comprueba que esta sea menor que la longitud mínima de las posiciones analizadas definida en la tabla 2, con lo cual si se cumple este requisito de montaje de los cilindros elegidos serán los adecuados.

CILINDRO 1

$$\text{Longitud mínima cilindro} = 495 + 880 = 1375$$

$$\text{Longitud mínima posición} = 1485$$

$$\text{Longitud mínima posición} > \text{Longitud mínima cilindro} \rightarrow$$

Cumplerequisitos

CILINDRO 2

$$\text{Longitud mínima cilindro} = 600 + 888 = 1488$$

$$\text{Longitud mínima posición} = 1498$$

$\text{Longitud mínima posición} > \text{Longitud mínima cilindro} \rightarrow$
Cumplerequisitos

CILINDRO 3

$$\text{Longitud mínima cilindro} = 600 + 103 = 1803$$

$$\text{Longitud mínima posición} = 1877$$

$\text{Longitud mínima posición} > \text{Longitud mínima cilindro} \rightarrow$
Cumplerequisitos

Tras la comprobación para los 3 cilindros se observa que todos cumplen los requisitos de montaje, por lo tanto los cilindros seleccionados son adecuados.

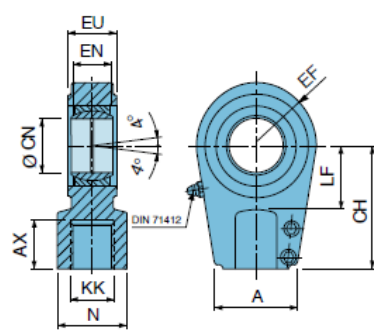
7.3. ACESORIOS CILINDROS

Dentro del catálogo de accesorios del fabricante se ha escogido la cabeza con rotula que mejor se adapta por sus dimensiones y características a nuestra estructura.

Los tipos de cabezales se han definido en función de los diámetros de rosca KK de los cilindros escogidos, en el catálogo de accesorios del fabricante los accesorios se encuentran definidos en función de la rosca KK necesaria.

De cada uno de los tres tipos de rosca que facilita el fabricante para el cilindro, se ha escogido la que se adapta a las características de la rosca del accesorio. Una vez determinada la rosca se ha procedido a elegir el accesorio correspondiente a esta en el catalogo.

En la tabla 29 aparecen las características dimensionales de los cabezales de rotula.



Rod Eye with Spherical Bearing
Gelenkköpfe

Embout à rotule
Cabeza de rótula

Part. No.	KK	A	AX	CH	CN	EF	EN	EU	LF	N
40 KM 141	M16 x 1,5	41	17	50	25 ^{-0,010}	30	20 ^{-0,12}	23	25	25
50 KM 141	M22 x 1,5	46	23	60	30 ^{-0,010}	34	22 ^{-0,12}	28	30	32
63 KM 141	M28 x 1,5	58	29	70	35 ^{-0,012}	42	25 ^{-0,12}	30	38	40
80 KM 141	M35 x 1,5	66	36	85	40 ^{-0,012}	50	28 ^{-0,12}	35	45	49
100 KM 141	M45 x 1,5	88	46	105	50 ^{-0,012}	63	35 ^{-0,12}	40	55	61
125 KM 141	M58 x 1,5	90	59	130	60 ^{-0,015}	70	44 ^{-0,15}	50	65	75
140 KM 141	M65 x 1,5	100	66	150	70 ^{-0,015}	82	49 ^{-0,15}	55	75	86
160 KM 141	M80 x 2	125	81	170	80 ^{-0,015}	95	55 ^{-0,15}	60	80	102
180 KM 141	M100 x 2	146	101	210	90 ^{-0,020}	113	60 ^{-0,20}	65	90	124
200 KM 141	M110 x 2	166	111	235	100 ^{-0,020}	125	70 ^{-0,20}	70	105	138
220 KM 141	M120 x 3	190	125	265	110 ^{-0,020}	142,5	70 ^{-0,20}	80	115	152
280 KM 141	M130 x 3	217	135	310	120 ^{-0,020}	180	85 ^{-0,20}	90	140	172

Tabla 29 – Características cabeza de rotula

Los accesorios elegidos son:

CILINDRO 1

$$\text{Diametro piston} = 125\text{mm} \rightarrow \text{Roscas KK admisibles} \begin{cases} M65 \times 1,5 \\ M80 \times 3 \\ M56 \times 2 \end{cases}$$

$$\text{Rosca piston elegida} = M65 \times 1,5$$

$$\text{Cabeza de rotula con rosca } M65 \times 1,5 \rightarrow 140 \text{ KM 141}$$



CILINDRO 2

$$\text{Diametro piston} = 160\text{mm} \rightarrow \text{Roscas KK admisibles} \begin{cases} M100 \times 2 \\ M100 \times 3 \\ M72 \times 3 \end{cases}$$

$$\text{Rosca piston elegida} = M100 \times 2$$

$$\text{Cabeza de rotula con rosca } M100 \times 2 \rightarrow 180 \text{ KM } 141$$

CILINDRO 3

$$\text{Diametro piston} = 160\text{mm} \rightarrow \text{Roscas KK admisibles} \begin{cases} M100 \times 2 \\ M100 \times 3 \\ M72 \times 3 \end{cases}$$

$$\text{Rosca piston elegida} = M100 \times 2$$

$$\text{Cabeza de rotula con rosca } M100 \times 2 \rightarrow 180 \text{ KM } 141$$

8. DEFINICIÓN DE PASADORES

En el estudio de los pasadores se dividirá en dos partes en función del cálculo de los pasadores para los cilindros y los pasadores para la unión de los perfiles.

Primero determinaremos el material de los pasadores de los cilindros, una vez este sea definido se determinaran los diámetros necesarios para los pasadores de los perfiles utilizando el mismo material que en los pasadores de los cilindros

El coeficiente de seguridad utilizado para todos los pasadores será de 2,5.

$$C_s = 2,5$$

8.1. PASADORES CILINDROS

En este apartado vamos a determinar el material del cual estarán hechos los pasadores de los cilindros como el de sus accesorios. Para ello utilizaremos la teoría de cortante máximo puesto que es más conservadora que la de energía o distorsión:

$$T^a \text{ Cortante maximo} \rightarrow \tau_F = 0,5 \cdot \sigma_F$$

Analizando como se encuentran los pasadores dispuestos en la estructura se observa en la figura 86 que estos se encuentran sometidos a doble cortadura por lo tanto los planos de cortadura serán dos.

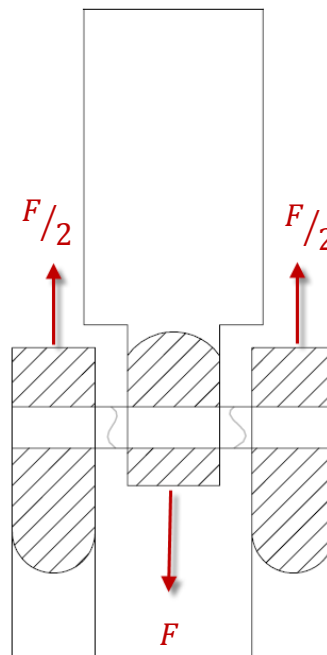


Figura 86 - Doble cortadura pasadores cilindros

$$n^{\circ} \text{ Planos}_{\text{Cort}} = 2$$

Puesto que el estudio se realiza a cortante directo las formulas utilizadas serán:

$$A_{\text{Pasador}} = \pi \cdot r_{\text{Pasador}}^2 = \pi \cdot \left(\frac{\phi_{\text{Pasador}}}{C_S} \right)^2$$

$$\tau = \frac{F_{\text{Pasador}}}{n^{\circ} \text{ Planos}_{\text{Cort}} \cdot A_{\text{Pasador}}} = \frac{\tau_{F_{\text{Pasador}}}}{C_S}$$

$$\tau_{F_{\text{Pasador}}} = \frac{F_{\text{Pasador}}}{n^{\circ} \text{ Planos}_{\text{Cort}} \cdot A_{\text{Pasador}}} \cdot C_S$$

$$\sigma_F = \frac{\tau_F}{0,5}$$

Los pasadores para los que se va a realizar el estudio son los que se encuentran en los nudos: E, G, I, K, J, L. En este determinaremos el material en función de las σ_F obtenidas para cada pasador de cada nudo.

Para ello utilizaremos las reacciones máximas obtenidas a lo largo de las diez posiciones analizadas para cada pasador de las tablas obtenidas en el apartado 5.3.

REACCIONES MAXIMAS	N
RE=RG	351352,9
RI=RK	605594,06
RJ=RL	624476,27

Tabla 30 - Reacciones máxima pasadores cilindros

Otro dato que también conocemos son los diámetros de los pasadores, estos se encuentran en las tablas 28 y 29 del fabricante. Conociendo estos podemos determinar las áreas de cada pasador que aparecen en la tabla 31 utilizando la ecuación siguiente.

$$A_{Pasador} = \pi \cdot r_{Pasador}^2 = \pi \cdot \left(\frac{\phi_{Pasador}}{C_s} \right)^2$$

NUDO	DIAMETRO PASADOR (mm)	AREA PASADOR (mm ²)
E	65 _{-0,020}	3318,31
G	65 _{-0,020}	3318,31
I	100 _{-0,020}	7853,98
K	100 _{-0,020}	7853,98
J	100 _{-0,020}	7853,98
L	100 _{-0,020}	7853,98

Tabla 31 - Dimensiones pasadores cilindros

La siguiente parte del estudio consiste en calcular la $\tau_{F_{Pasador}}$ y σ_F puesto que conocemos todos los datos necesarios para utilizar las formulas requeridas. Los datos obtenidos para los pasadores aparecen en la tabla 32.

$$\tau_{F_{Pasador}} = \frac{F_{Pasador}}{n^{\circ} Planos_{Cort} \cdot A_{Pasador}} \cdot C_S$$

$$\sigma_F = \frac{\tau_F}{0,5}$$

NUDO	$\tau_{F_{Pasador}}$ (MPa)	σ_F (MPa)
E	132,35	264,71
G	132,35	264,71
I	96,38	192,77
K	96,38	192,77
J	99,39	198,78
L	99,39	198,78

Tabla 32 - Sigma de fluencia pasadores cilindros

Una vez obtenidos todas las σ_F , se comparan para escoger la mayor de estas puesto que será la más desfavorable, estará sometida a mayores esfuerzos con los que por eso necesita un material con una σ_F mayor.

Tras la comparación se observa que el nudo I como J son los más desfavorables por lo que el material seleccionado tendrá que tener una σ_F mayor que 264,71 MPA

$$\sigma_F \text{ Minima necesaria} = 264,71 \text{ MPA}$$

Dentro de la lista de materiales de SOLIDWORKS de la figura 87, el material seleccionado es un acero estructural cuya σ_F se lo más pequeña posible pero mayor a la mínima necesaria. Tras analizar todos los aceros estructurales el elegido es Aceros estructural S275JR.

$$\sigma_F \text{ Minima necesaria} = 264,71 \text{ MPA} < \sigma_F \text{ S275JR} = 275 \text{ MPA}$$

Material seleccionado → *Acero estructural S275JR*

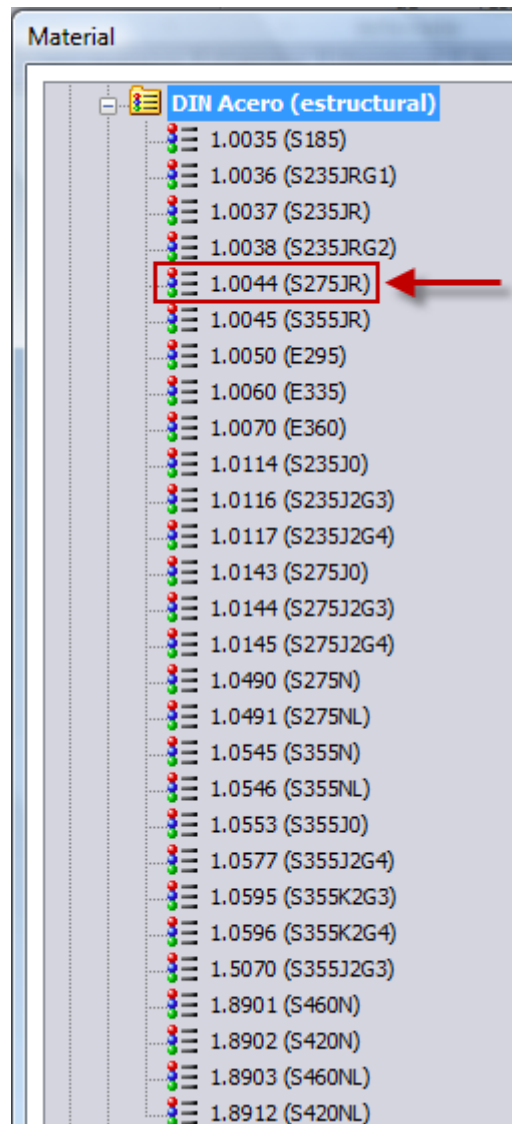


Figura 87 – Material pasadores

8.2. PASADORES PERFILES

El material de los pasadores de los perfiles será el mismo que el de los pasadores de los cilindros S275JR, por lo tanto solo queda determinar los diámetros de estos en función del material y las cargas máximas que se ven sometidos.

Al igual que en el caso anterior utilizaremos a la teoría de cortante máximo, como conocemos la σ_F del material por medio de esta teoría podemos determinar la τ_F que usaremos en la determinación de los diámetros:

$$\sigma_F S275JR = 275 \text{ MPA}$$

$$T^a \text{ Cortante maximo} \rightarrow \tau_F = 0,5 \cdot \sigma_F = 0,5 \cdot 275 = 137,5 \text{ MPA}$$

Analizando como se encuentran los pasadores dispuestos en la estructura se observa que estos se encuentran sometidos a doble cortadura por lo tanto los planos de cortadura serán dos.

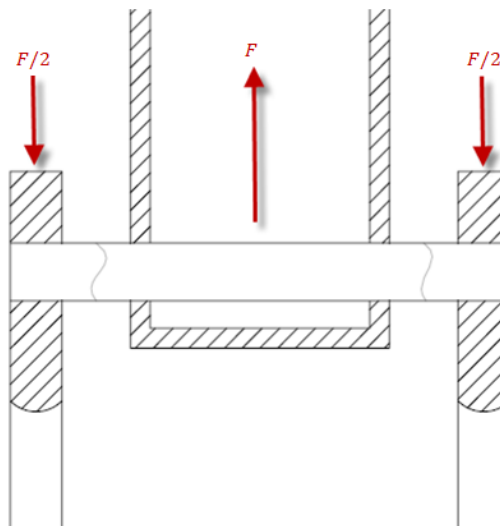


Figura 88 - Doble cortadura pasadores perfiles

$$n^o \text{ Planos}_{Cort} = 2$$

Puesto que el estudio se realiza a cortante directo las formulas utilizadas serán:

$$\tau = \frac{F_{Pasador}}{n^{\circ} Planos_{Cort} \cdot A_{Pasador}} = \frac{\tau_{F_{Pasador}}}{C_s}$$

$$A_{Pasador} = \frac{F_{Pasador}}{n^{\circ} Planos_{Cort} \cdot \tau_{F_{Pasador}}} \cdot C_s$$

$$A_{Pasador} = \pi \cdot r_{Pasador}^2 = \pi \cdot \left(\frac{\phi_{Pasador}}{C_s} \right)^2$$

$$\phi_{Pasador} \sigma_F = \sqrt{\frac{A_{Pasador}}{\pi}} \cdot 2$$

Los pasadores para los que se va a realizar el estudio son los que se encuentran en los nudos: B, C, D, F, H, M. En estos determinaremos su diámetros en función de las σ_F obtenidas para cada pasador de cada nudo.

NUDO	σ_F (MPa)	$\tau_{F_{Pasador}}$ (MPa)
B	275	137,5
C	275	137,5
D	275	137,5
F	275	137,5
H	275	137,5
M	275	137,5

Tabla 33 - Sigma de fluencia pasadores perfiles

Para el cálculo de los diámetros también necesitamos las reacciones máximas en cada pasador obtenidas a lo largo de las diez posiciones analizadas en el apartado 5.4.

REACCIONES MAXIMAS	N
RB=RD	243009,20
RC	203924,44
RF	142899,98
RH	636467,54
RM	604789,53

Tabla 34 – Reacciones máximas pasadores perfiles

La siguiente parte del estudio consiste en calcular el área del pasador y con esta el diámetro de estos, puesto que conocemos todos los datos necesarios para utilizar las formulas requeridas. Los datos obtenidos para los diámetros de los pasadores aparecen en la tabla 35.

$$A_{Pasador} = \frac{F_{Pasador}}{n^{\circ} Planos_{Cort} \cdot \tau_{F_{Pasador}}} \cdot C_s$$

$$\phi_{Pasador} \sigma_F = \sqrt{\frac{A_{Pasador}}{\pi}} \cdot 2$$

NUDO	AREA PASADOR (mm ²)	DIAMETRO PASADOR (mm)
B=D	2209,17	53,04
C	1853,86	48,58
F	1299,09	40,67
H	5786,07	85,83
M	5498,09	83,67

Tabla 35 - Reacciones máxima pasadores cilindros



Tras obtener los resultados de los diámetros mínimos necesarios para los pasadores vemos que estos no tienen dimensiones exactas por lo que las redondearemos al número entero mayor, puesto que de esta forma estaremos del lado de la seguridad en el dimensionamiento de estos.

Los diámetros finales de los pasadores de los perfiles son:

PASADOR B

$$\varnothing \text{ Calculado} = 53,04\text{mm} \rightarrow \varnothing \text{ Redondeado} = 55 \text{ mm}$$

PASADOR D

$$\varnothing \text{ Calculado} = 53,04\text{mm} \rightarrow \varnothing \text{ Redondeado} = 55 \text{ mm}$$

PASADOR C

$$\varnothing \text{ Calculado} = 48,58\text{mm} \rightarrow \varnothing \text{ Redondeado} = 50 \text{ mm}$$

PASADOR F

$$\varnothing \text{ Calculado} = 40,67\text{mm} \rightarrow \varnothing \text{ Redondeado} = 45 \text{ mm}$$

PASADOR H

$$\varnothing \text{ Calculado} = 85,83\text{mm} \rightarrow \varnothing \text{ Redondeado} = 90 \text{ mm}$$

PASADOR M

$$\varnothing \text{ Calculado} = 83,67\text{mm} \rightarrow \varnothing \text{ Redondeado} = 85 \text{ mm}$$

Como las medidas de los diámetros definitivos son difíciles de encontrar debido a que no son diámetros de pasadores muy utilizados, estos no se encuentran normalizados.

Por lo tanto los pasadores serán mandados fabricar partiendo de tronchos de un diámetro ligeramente superior.

9. OREJETAS

Puesto que en el diseño final no se emplearan orejetas los espesores calculados para esta se utilizaran como referencia para los espesores de las diferentes superficies en los diseños finales de cada elemento que compone la pala.

En el diseño de las orejetas definiremos su espesor en función de las cargas que están sometidas y materiales escogidos.

9.1. ESPESOR OREJETAS

En el estudio para determinar el espesor de las orejetas e se realizara por aplastamiento. Para ello hay se usara la menor σ_F de los dos materiales que están en contacto. Los dos materiales que se encuentran en contacto son el material del cual están hechos los pasadores y el material para la realización de los perfiles.

Por lo tanto habrá que realizar una comparación entre los dos materiales para determinar cual tiene una σ_F menor y esta será la σ_F que se utilizara para el estudio por aplastamiento.

$$\text{Material pasador} \rightarrow \sigma_F S275JR = 275 \text{ MPA}$$

$$\text{Material perfiles} \rightarrow \sigma_F S275JR = 275 \text{ MPA}$$

$$\text{Material pasador} = \text{Material perfiles} \rightarrow \sigma_F \text{ minima} = \sigma_F S275 = 275 \text{ MPA}$$

Como en este caso los dos materiales en contacto son el mismo, la sigma de fluencia mínima es la misma que la de las dos superficies en contacto, la sigma utilizada es la del acero S275JR.

En la zona de contacto entre la orejeta y el pasador se encuentra sometido a una fuerza de presión a lo largo del área de contacto. La fuerza no tiene un valor uniforme a lo largo de toda el área, es mayor en la perpendicular como aparece en la figura 89.

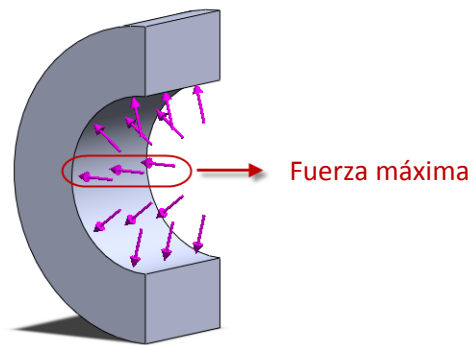


Figura 89 – Fuerza de aplastamiento

En el estudio por aplastamiento lo que se realiza es utilizar la fuerza máxima sobre el área proyectada de la mitad del eje. El valor de la superficie proyectada del área es:

$$\text{Área proyectada} = \phi d_{\text{pasador}} \cdot \text{espesor}$$

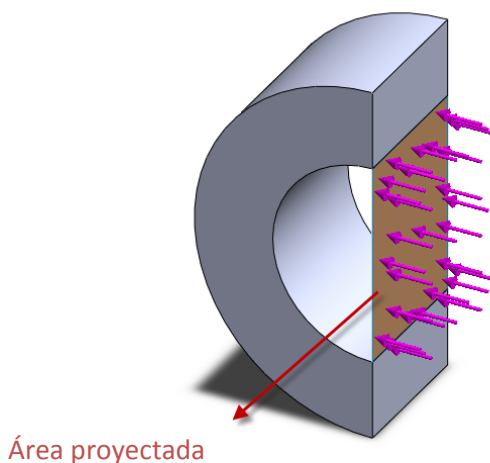


Figura 90 - Área proyectada

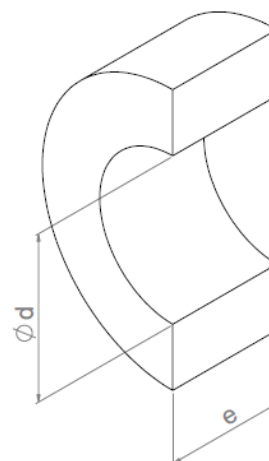


Figura 91 – Dimensiones área proyectada

Para el estudio por aplastamiento las formulas utilizadas son:

$$\sigma_{Aplastamiento} = \frac{F_{Orejeta}}{\phi d_{pasador} \cdot Espesor_{Orejeta}} = \frac{\sigma_F}{C_s}$$

$$Espesor_{Orejeta} = \frac{F_{Orejeta}}{\phi d_{pasador} \cdot \sigma_{Aplastamiento}}$$

La fuerza utilizada para el cálculo será la fuerza máxima perpendicular, cuyo valor será la mitad del valor de la fuerza que se encuentra sometido el pasador puesto que el pasador está sujeto por dos orejetas como se ve en la figura 92:

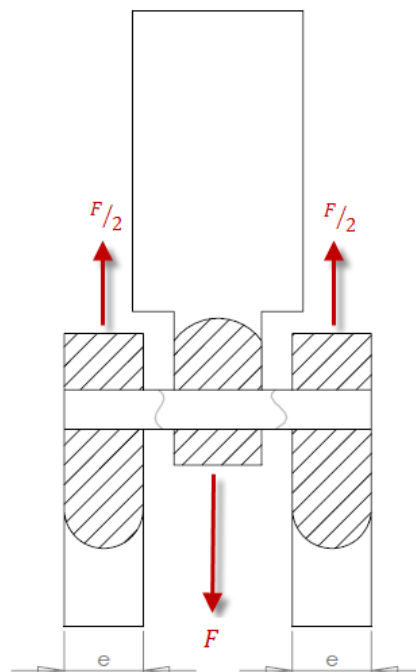


Figura 92 - Fuerza orejetas

Como en el estudio realizado para determinar los pasadores, las fuerzas elegidas para cada pasador será la mitad del valor máximo de las reacciones en ese pasador a lo largo de las 10 posiciones analizadas.

$$F_{Orejeta} = \frac{Reaccion\ maxima}{2}$$

NUDOS	Reaccion maxima (N)	$F_{Orejeta}$ (N)
E=G	351352,9	175676,46
I=K	605594,06	302797,03
J=L	624476,27	312238,14
B=D	243009,20	121504,60
C	203924,44	101962,22
F	142899,98	71449,99
H	636467,54	318233,77
M	604789,53	302394,77

Tabla 36 - Reacciones máximas orejetas

Otro dato que necesitamos para calcular el espesor de las orejetas y que también es conocido es el $\varnothing d$ pasador para cada uno de los pasadores estos aparecen en la tabla 37.

NUDOS	$\varnothing d$ pasador (mm)
E=G	65
I=K	100
J=L	100
B=D	55
C	50
F	45
H	90
M	85

Tabla 37 - Diámetros pasadores

El coeficiente de seguridad utilizado para todos los pasadores será de 2,5.

$$C_s = 2,5$$

Como conocemos la σ_F mínima y el coeficiente de seguridad ya podemos determinar cuál será la $\sigma_{Aplastamiento}$ en el estudio, esta será igual para el cálculo en todos los nudos.

$$\sigma_F \text{ mínima} = \sigma_F S275 = 275 \text{ MPA}$$

$$\sigma_{Aplastamiento} = \frac{\sigma_F \text{ mínima}}{C_s} = \frac{275}{2,5} = 110 \text{ MPA}$$

La siguiente parte del estudio consiste en calcular el espesor mínimo necesario de las orejetas, puesto que conocemos todos los datos necesarios para utilizar las formulas requeridas. Los datos obtenidos para los espesores aparecen en la tabla 38.

$$Espesor_{orejeta} = \frac{F_{orejeta}}{\phi d \text{ pasador} \cdot \sigma_{Aplastamiento}}$$

NUDOS	$Espesor_{orejeta}$ (mm)
E=G	24,57
I=K	27,53
J=L	28,39
B=D	20,08
C	18,54
F	14,43
H	32,14
M	32,34

Tabla 38 - Espesor orejetas

Tras obtener los resultados de los espesores mínimos necesarios para las orejetas vemos que estos no tienen dimensiones exactas por lo que las redondearemos al número entero inmediatamente mayor, al igual que en el resto de los dimensionamientos realizados de esta forma estaremos del lado de la seguridad en el dimensionamiento de estos.



Los espesores finales de las orejetas serán:

OREJETAS E=G

Espesor calculado = 24,57 mm → Espesor redondeado = 25 mm

OREJETAS I=K

Espesor calculado = 27,53 mm → Espesor redondeado = 28 mm

OREJETAS J=L

Espesor calculado = 28,39 mm → Espesor redondeado = 29 mm

OREJETAS B=D

Espesor calculado = 20,08 mm → Espesor redondeado = 21 mm

OREJETAS C

Espesor calculado = 18,54 mm → Espesor redondeado = 19 mm

OREJETAS F

Espesor calculado = 14,43 mm → Espesor redondeado = 15 mm

OREJETAS H

Espesor calculado = 32,14 mm → Espesor redondeado = 33 mm

OREJETAS M

Espesor calculado = 32,34 mm → Espesor redondeado = 33 mm

10. DISEÑO DE ELEMENTOS

En esta parte del estudio de la retro excavadora se va a diseñar en SolidWorks los distintos elementos que componen la estructura de la pala, teniendo en cuenta todos los datos obtenidos hasta ahora.

Los criterios que se han tomado para el diseño de la estructura son que el coeficiente de seguridad sea de 3 y las deformaciones sean como máximo 1/500 de la longitud total del elemento.

Los elementos de la retro excavadora que se van a modelizar en Solidworks son los que no trabajen únicamente a tracción-compresión: DEF, CFHIG y HJKM. Por otro lado para el elemento DB puesto que solo trabaja a tracción-compresión se seleccionara un perfil comercial mediante un cálculo analítico.

El diseño estructural se ha dividido en tres partes principales:

- Modelización
- Estudio de diseño
- Análisis de resultados

10.1. MODELIZACIÓN

Para la modelización de las diferentes partes de la pala se han realizado mediante el menú superficies de SolidWorks, esta modelización se ha realizado utilizando superficies y no sólidos para reducir en tiempo de las simulaciones del estudio estático, puesto que a la hora de hacer la simulación con superficies permite dar espesor a estas.

En primer lugar se han utilizado los croquis de barras de cada elemento del apartado 3, usando estos croquis como base, se han creado un nuevos croquis de la envolvente del elemento con las medidas de los pasadores calculadas en el apartado 8 e intentando coquizar lo más aproximado posible a la realidad la geometría y dimensiones de cada elemento.

En el proceso se ha tenido en cuenta tanto los diámetros de los pasadores, como las dimensiones de los cilindros y los accesorios de los cilindros seleccionados para modelizar los diferentes elementos. Para la anchura entre las superficies laterales se ha utilizado el valor aproximado de escalar la distancia entre estas del catalogo del fabricante de la figura 1 y tabla 1.

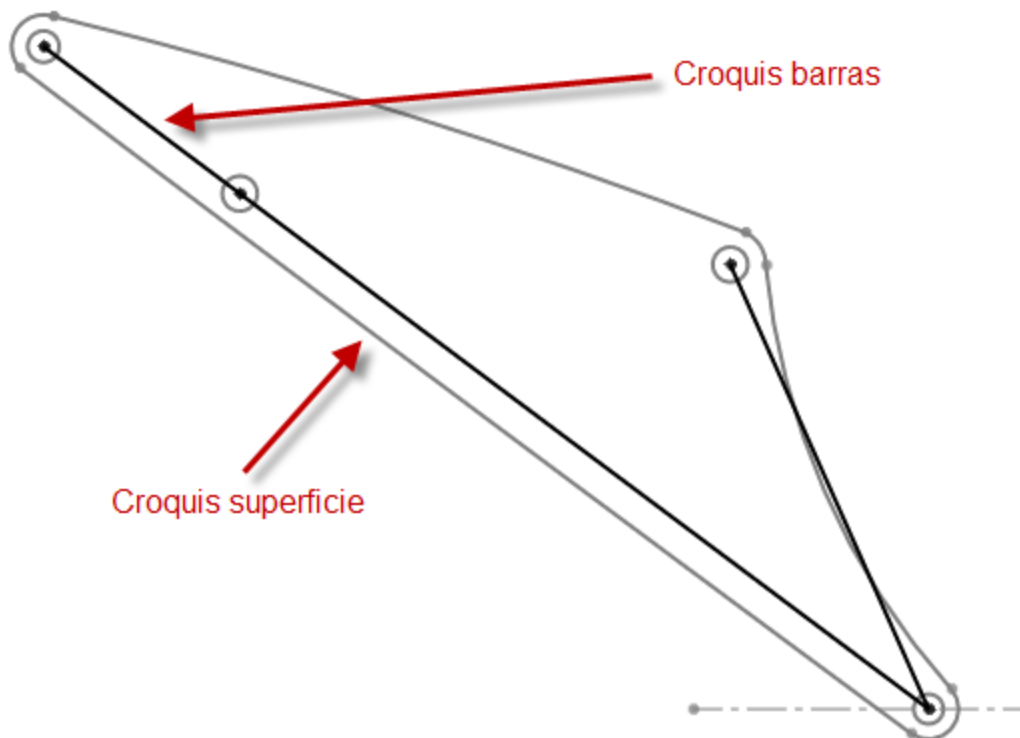


Figura 93 - Coquización superficies

Una vez definido el croquis de la superficie principal de la pieza, mediante las opciones de superficies que proporciona SolidWorks y atendiendo a las dimensiones calculadas y de la estructura se crearan las superficies de las diferentes partes que conforman cada elemento de la estructura.

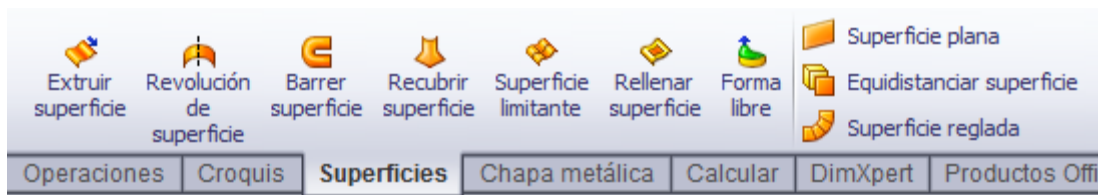


Figura 94 - Herramientas de superficies

Otro apartado que se ha tenido en cuenta en la modelización es crear líneas de partición en las aristas de las uniones entre las diferentes caras de las superficies de un mismo elemento que se encuentran en contacto para que el posterior mallado no cree problemas en las uniones de las distintas superficies.

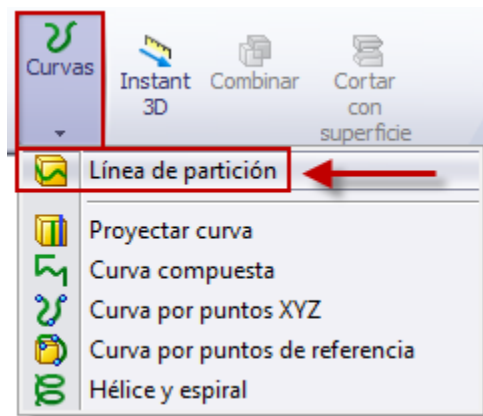


Figura 95- Línea de partición

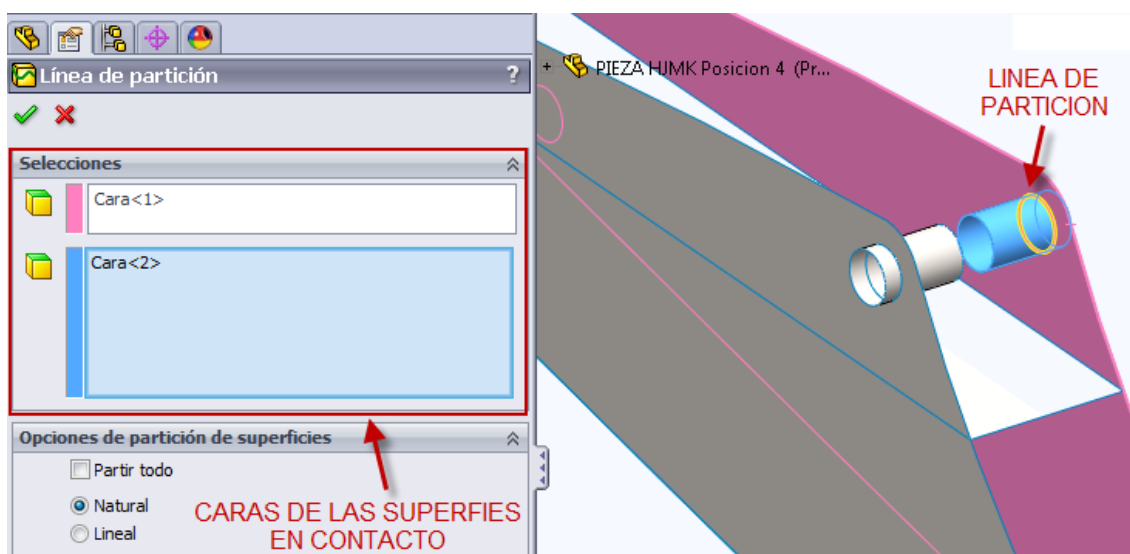


Figura 96 - Ejemplo línea de partición

En este apartado también se ha definido el material de los elementos de la estructura, en este caso se ha decidido que todas las superficies de todos los elementos estén formados por el mismo material S275 JR.

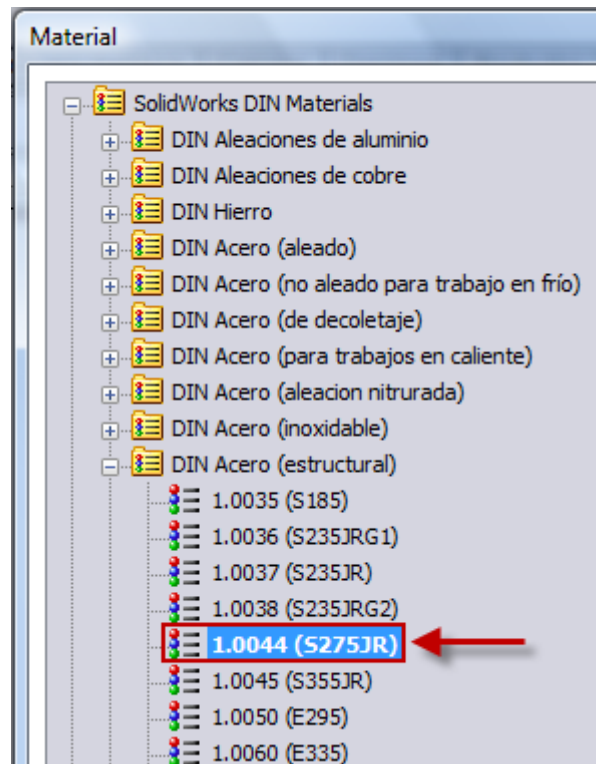


Figura 97 - Material

En la siguiente tabla se pueden observar las propiedades del material elegido para el diseño de la pala.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo de elasticidad en X	210000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.28	N/D
Módulo cortante en XY	79000	N/mm ²
Densidad de masa	7800	kg/m ³
Límite de tracción en X	500.83	N/mm ²
Límite de compresión en X		N/mm ²
Límite elástico	275	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica en X	1.1e-005	/K
Conductividad térmica en X	14	W/(m·K)

Tabla 39 - Propiedades S275JR

Tras realizar la modelización mediante superficies atendiendo a los criterios anteriormente mencionados, las superficies de los elementos obtenidos son:

- **ELEMENTO DEF**

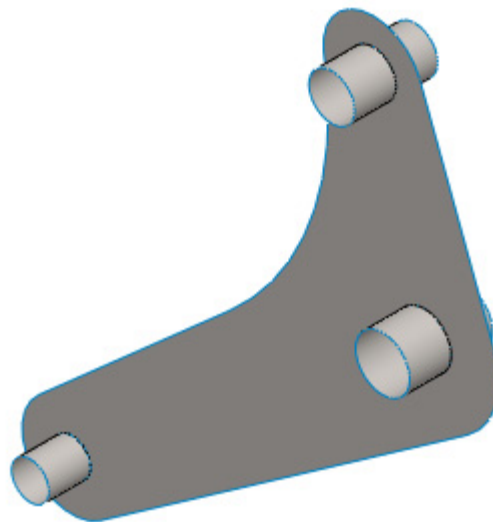


Figura 98 - Modelizado Elemento DEF

- **ELEMENTO CFHIG**

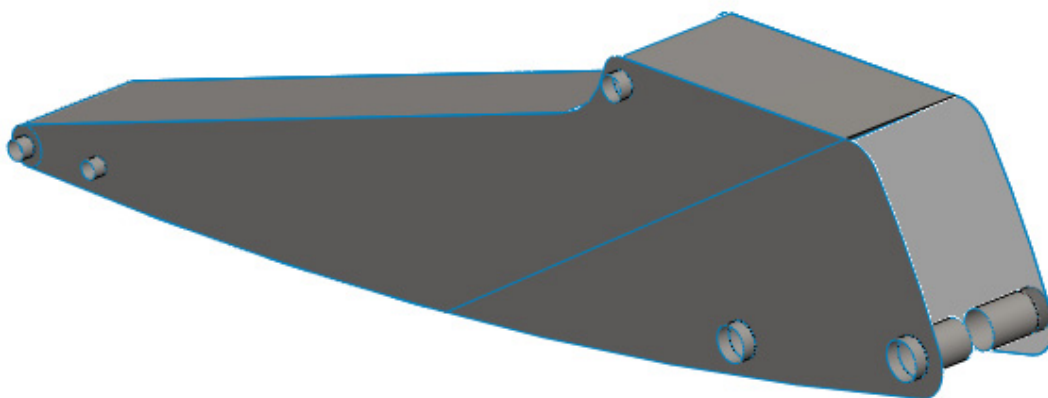


Figura 99 - Modelizado Elemento CFHIG

- **ELEMENTO HJKM**

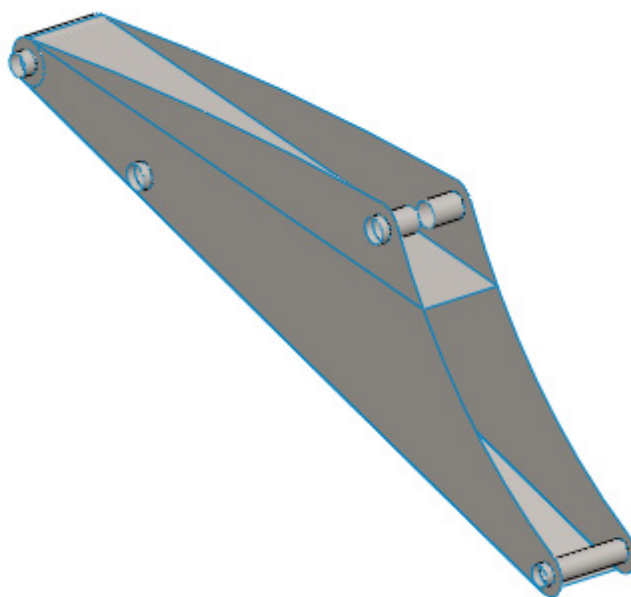


Figura 100 - Modelizado Elemento HJKM

10.2. ESTUDIO DE DISEÑO

10.2.1. SELECCIÓN DE POSICIONES CRÍTICAS

En este apartado se han seleccionado las posiciones críticas de los elementos DEF, CFHIG y HJKM, del elemento DB puesto que solo se analizara la posición mas desfavorable la selección de esta se ha realizado en el estudio analítico de pandeo analítico realizado posteriormente para este elemento.

Para el estudio estático se ha decidido analizar las 3 posiciones más críticas de las 10 posiciones analizadas, para la elección de estas posiciones se ha realizado un análisis de las graficas de las reacciones del apartado 5.4.

Los criterios del análisis han sido buscar para cada nudo la posición que tenia la reacción máxima en este y ver si estas posiciones o posiciones en las que para cada nudo tengan valores muy próximos a la reacción máxima en estos se repiten a lo largo de todos los nudos.

Tras el análisis las posiciones en las que se realizara el estudio estático son:

- Posición 2
- Posición 4
- Posición 6

Como los elementos a analizar que no trabajan únicamente a tracción compresión son 3 para cada uno de estos se realizaran 3 análisis uno por cada posición estudiada.

Para cada uno de estos análisis abra que tener en cuenta la posición en la que se encuentra el elemento, es decir los ángulos tanto de las reacciones como de los momentos. Además de esto, hay que tener en cuenta los valores de las reacciones en los ejes X e Y para cada nudo de los elementos analizados.

Los valores de cada elemento para cada una de las 3 posiciones del estudio son:

- ELEMENTO DEF**

POSICION	POSICION 2		POSICION 4		POSICION 6	
REACCIONES	EJE X (N)	EJE Y (N)	EJE X (N)	EJE Y (N)	EJE X (N)	EJE Y (N)
NUDO D	-136784,29	15270,2999	-201170,87	-95436,914	-147867,31	-192843,78
NUDO E	184908,047	73696,0221	317107,914	-56028,821	280048,385	-212183,35
NUDO F	-48123,75	58425,72	-115937,04	39408,09	-132181,07	-19339,57

Tabla 40 - Reacciones Elemento DEF estudio estático

- ELEMENTO CFHIG**

POSICION	POSICION 2		POSICION 4		POSICION 6	
REACCIONES	EJE X (N)	EJE Y (N)	EJE X (N)	EJE Y (N)	EJE X (N)	EJE Y (N)
NUDO C	136784,293	-77308,739	201170,875	33398,4743	147867,319	130805,345
NUDO F	-48123,753	58425,7222	-115937,03	39408,0932	-132181,06	-19339,572
NUDO H	-246722,73	473955,718	-537995,81	340075,62	-569045,9	64024,793
NUDO I	411917,278	480154,092	278037,18	605594,064	569049,368	1986,35298
NUDO G	184908,047	73696,0221	317107,914	-56028,821	280048,385	-212183,36

Tabla 41 - Reacciones Elemento CFHIG estudio estático

- ELEMENTO HJMK**

POSICION	POSICION 2		POSICION 4		POSICION 6	
REACCIONES	EJE X (N)	EJE Y (N)	EJE X (N)	EJE Y (N)	EJE X (N)	EJE Y (N)
NUDO H	-246722,73	473955,718	-537995,81	340075,62	-569045,90	64024,793
NUDO J	290109,069	468628,225	531357,74	208236,821	598242,199	-61400,235
NUDO M	290109,069	-530666,66	531357,74	-270275,26	598242,199	-638,20424
NUDO K	246722,73	411917,28	537995,82	278037,18	569045,9	1986,35

Tabla 42 - Reacciones Elemento CFHIG estudio estático

10.2.2. TIPOS DE ESTUDIO

En este apartado se han realizado dos tipos de estudios, el primero será un estudio modal con el cual nos permitirá comprobar que las uniones realizadas en la modelización de la estructura son correctas, el otro estudio estático que se ha realizado es someter a cada elemento a las cargas correspondientes a cada determinada posición para conocer las tensiones y deformaciones en cada elemento de la pala.

10.2.3. ANÁLISIS MODAL

En este estudio comprobaremos que las conexiones de las diferentes superficies de los modelos realizados son correctas y no requieren ninguna modificación.

Este estudio se realizara mediante el modulo de Simulation de SolidWorks, utilizando la opción de estudio de frecuencia.

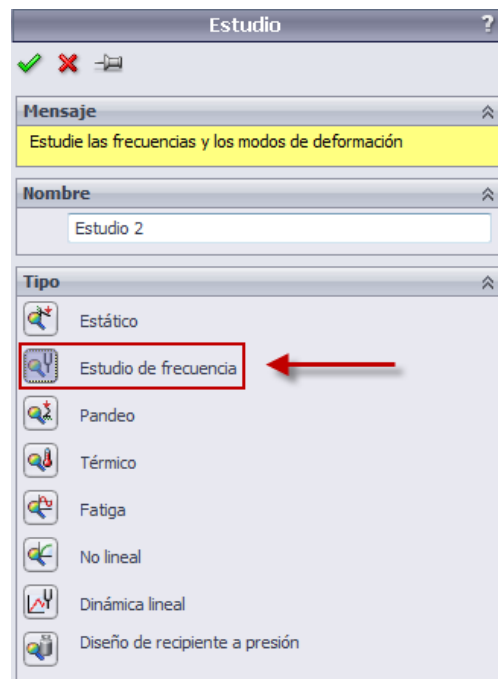


Figura 101 - Estudio de frecuencia

Para poder ejecutar el estudio de frecuencia hay que definir los espesores de las distintas superficies que componen el elemento, por lo tanto como partida del análisis se ha tomado 8 mm de espesor para todas las superficies.

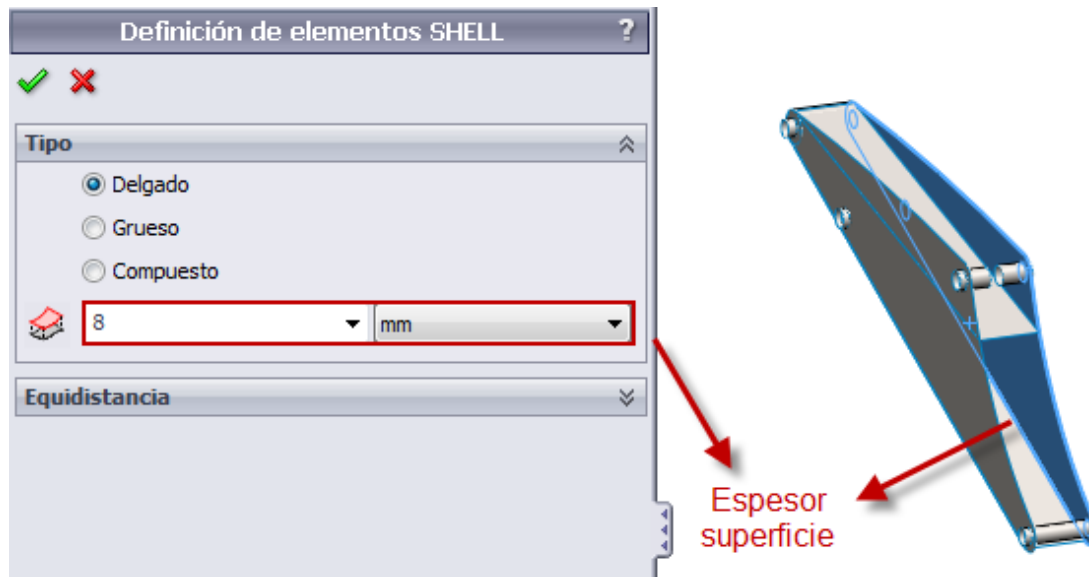


Figura 102 - Espesor superficies

Por último antes de ejecutar la simulación de vibraciones hay que definir el tipo de mallado que se quiere en el estudio, se ha optado por un mallado fino simple puesto que el objetivo de este estudio es comprobar que las conexiones sean correctas.

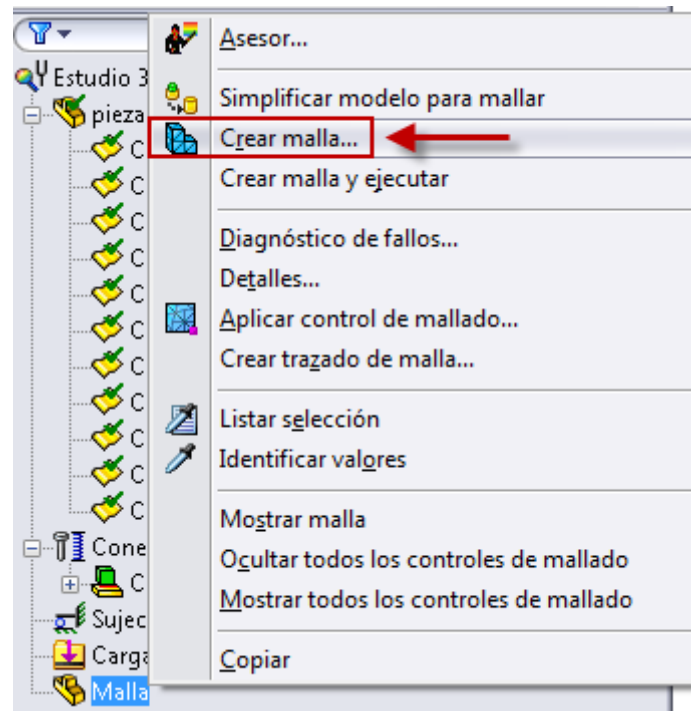


Figura 103 - Crear malla



Figura 104 - Definición de mallado

Como ejemplo del proceso del estudio llevado a cabo para las 3 posiciones de los 3 elementos principales que forman parte de la pala se va a explicar el proceso de estudio del elemento HJKM en la posición 4.

MEMORIA

En la figura a continuación se ve como quedaría el mallado para este elemento en esta posición.



Figura 105 – Mallado vibraciones elemento HJKM posición 4

A continuación del mallado se lanzaría la simulación del estudio de frecuencia, una vez obtenidos los resultados de estos se comprobará para todos los resultados de desplazamientos, para los diferentes modos obtenidos, que las conexiones de las distintas superficies que conforman el elemento no se han roto.

Una vez ejecutada la simulación SolidWorks nos muestra como resultado 10 modos de desplazamientos, los 6 primeros modos pertenecen a sólido rígido por lo tanto estos modos no interesan su análisis, los modos más importantes son los 4 siguientes, del séptimo al décimo, puesto que son los modos sometidos a mayores vibraciones y se aprecian mejor los posibles fallos en las uniones realizadas, por lo tanto los modos 7, 8, 9 y 10 serán los analizados para la comprobación de las conexiones entre las superficies.



Figura 106 - Resultados vibraciones

En la siguiente figura perteneciente al modo 8 de los resultados obtenidos, se puede apreciar que las conexiones de la diferentes superficies siguen unidas, aunque haya podido haber deformaciones en el elemento no se tiene en cuenta porque la base del estudio eran analizar las uniones.

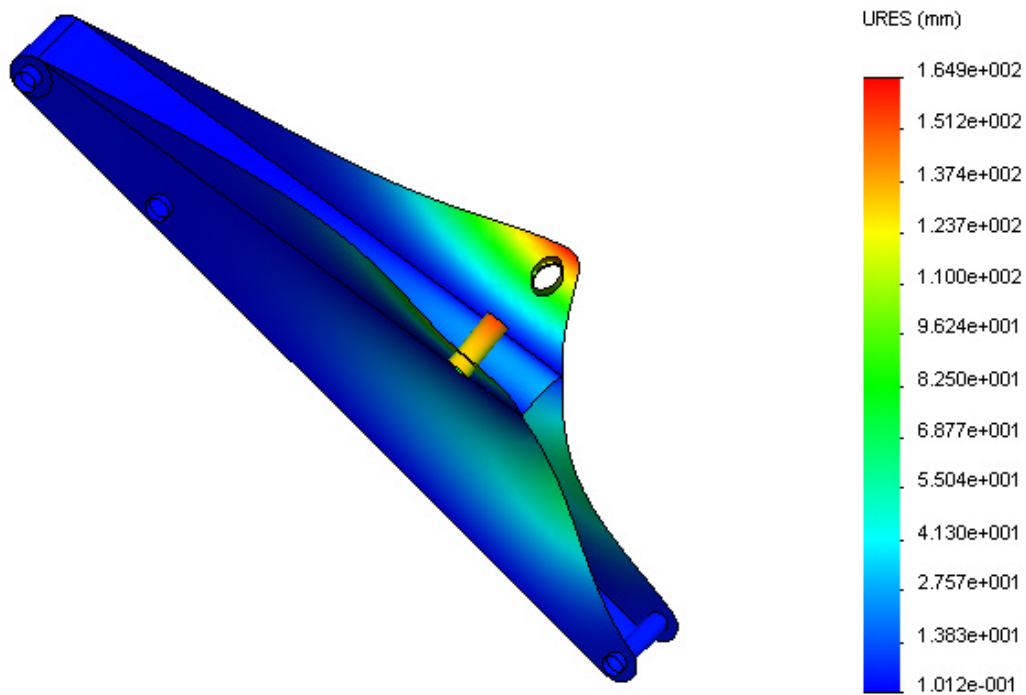


Figura 107 - Modo 8 vibraciones Elemento HJKM posición 4

Este proceso de estudio y de análisis se ha realizado para los 3 elementos y las 3 posiciones analizadas, en los modos del séptimo al decimo en los cuales se ha comprobado que el modelizado de las uniones de todos los elementos es correcta.

10.2.4. ESTUDIO ESTÁTICO

El estudio estático se ha dividido en dos partes en función del elemento a analizar, para el elemento DB puesto que solo trabajan a compresión y es un perfil comercial su estudio se ha realizado por medio de un cálculo teórico a pandeo, por otro lado para los elementos DEF, CFHIG y HJKM como se tratan de chapa soldada y no de perfiles comerciales el estudio se ha realizado por medio de las herramientas que proporciona SolidWorks.

10.2.4.1. ESTUDIO ANALITICO A PANDEO DEL ELEMENTO DB

Como se observa en la grafica 4, el elemento DB trabaja a compresión para las 10 posiciones, por lo tanto el dimensionamiento del elemento se hará por medio de un estudio analítico a pandeo, utilizando como carga el valor máximo a lo largo de las posiciones estudiadas.

En primer lugar hay que determinar el proceso de análisis de columnas a pandeo que hay aplicar en este caso, para ello hay que determinar los datos conocidos y el objetivo del dimensionamiento que es determinar la sección del perfil.

Datos:

- $C_S = 3$
- *Carga a compresion maxima (Posicion) = 243009,20 N*
- $\sigma_{Fluencia} = 275 \text{ MPA}$
- $E = 210000 \text{ MPA}$
- $Longitud_{BD} = 530 \text{ mm}$

Objetivo:

- Determinar sección necesaria

Tras observar tanto los datos como los objetivos el tipo de proceso de análisis será:

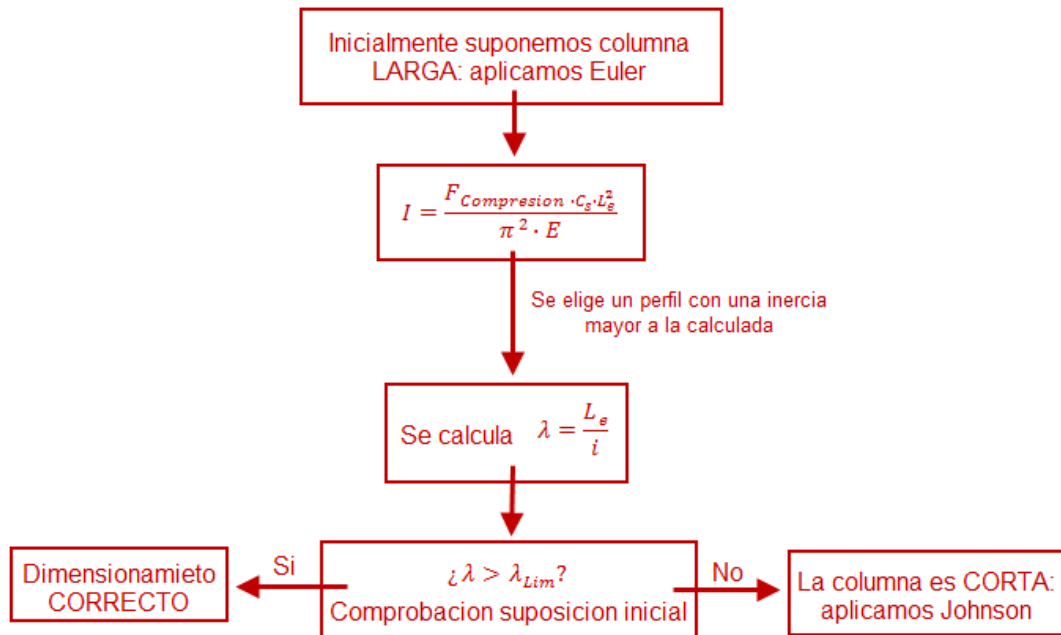


Figura 108 - Análisis de columna a pandeo

Por lo tanto se va a realizar el proceso de análisis calculando todos los datos necesarios para su resolución.

L_e = Longitud efectiva a pandeo

β = Coeficiente de pandeo

Condiciones de apoyo en los extremos BD → Biarticulado → $\beta = 1$

$$L_e = \beta \cdot Longitud_{BD} = 1 \cdot 503 = 503 \text{ mm}$$

I = Inercia

$$I = \frac{F_{Compresion} \cdot C_s \cdot L_e^2}{\pi^2 \cdot E} = \frac{243009,20 \cdot 3 \cdot 503^2}{\pi^2 \cdot 210000} = 310403,452 \text{ mm}^4$$

MEMORIA

Una vez determinada la inercia necesaria hay que elegir un perfil cuya inercia sea inmediatamente mayor a esta, se ha optado por un tubo rectangular puesto que sus características geométricas se adecuan mas a las requeridas a la estructura de la pala, para estar del lado de la seguridad se escoge un perfil que su inercia sea la inmediatamente mayor a la calculada.

El perfil elegido de los pertenecientes a la tabla 43 es:

Gama de producto: FRÍO																	
Gama perfil tubular en frío - rectangular																	
DIMENSION ESPECIFICA DE LADOS		ESPESOR ELEGIDO	MASSA LINEAL	ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	MOMENTO DE INERCIA		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELÁSTICO		MÓDULO PLÁSTICO		MOMENTO DE INERCIA DE TORSIÓN	MÓDULO DE TORSIÓN	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	ÁREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	I_{xx}	I_{yy}	i_{xx}	i_{yy}	W_{elxx}	W_{elxy}	W_{plxx}	W_{ply}	I_t	C_t	A_s	m	A_{se}
mm	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m		m ²
60	40	2,5	3,60	4,59	22,1	11,7	2,19	1,60	7,36	5,87	9,06	6,84	25,1	9,72	0,191	278	417
60	40	3	4,25	5,41	25,4	13,4	2,17	1,58	8,46	6,72	10,5	7,94	29,3	11,2	0,190	236	351
60	40	4	5,45	6,95	31,0	16,3	2,11	1,53	10,3	8,14	13,2	9,89	36,7	13,7	0,186	183	268
60	40	5	6,56	8,36	35,3	18,4	2,06	1,48	11,8	9,21	15,4	11,5	42,8	15,6	0,183	152	219
60	40	6	7,56	9,63	38,5	19,9	2,00	1,44	12,8	9,97	17,2	12,8	47,8	17,1	0,179	132	186
60	40	6,3	7,57	9,65	36,2	19,0	1,94	1,40	12,1	9,48	16,6	12,5	47,3	16,8	0,173	132	179
60	45	1,5	2,36	3,00	15,7	10,1	2,28	1,83	5,22	4,48	6,21	5,11	19,4	7,20	0,205	424	682
60	45	2	3,09	3,94	20,1	12,9	2,26	1,81	6,70	5,73	8,05	6,61	25,2	9,23	0,203	324	516
60	45	2,5	3,80	4,84	24,1	15,4	2,23	1,79	8,05	6,87	9,77	8,02	30,6	11,1	0,201	263	416
60	45	3	4,48	5,71	27,8	17,8	2,21	1,76	9,27	7,89	11,4	9,33	35,8	12,8	0,200	223	350
60	48	2	3,18	4,06	21,1	15,0	2,28	1,92	7,03	6,24	8,40	7,21	28,0	9,91	0,209	314	515
60	50	1,5	2,47	3,15	17,0	12,8	2,32	2,02	5,65	5,13	6,65	5,88	22,9	8,06	0,215	404	682
60	50	2	3,25	4,14	21,8	16,5	2,29	1,99	7,26	6,58	8,63	7,62	29,9	10,4	0,213	308	515
60	50	2,5	3,99	5,09	26,2	19,8	2,27	1,97	8,74	7,91	10,5	9,26	36,4	12,5	0,211	250	415
60	50	3	4,72	6,01	30,3	22,8	2,24	1,95	10,1	9,11	12,2	10,8	42,6	14,4	0,210	212	349
60	50	4	6,08	7,75	37,3	28,0	2,19	1,90	12,4	11,2	15,4	13,6	53,9	17,8	0,206	164	266
60	50	5	7,34	9,36	42,9	32,1	2,14	1,85	14,3	12,8	18,1	16,0	63,7	20,6	0,203	136	217
60	50	6	8,50	10,8	47,3	35,3	2,09	1,81	15,8	14,1	20,4	18,0	72,0	22,8	0,199	118	184

Tabla 43 - Perfiles rectangular

- *Tubo rectangular 40x60 (e = 5)mm*



Cuyas características son:

$$A = 83600 \text{ mm}^2$$

$$I = 353000 \text{ mm}^4$$

i = Radio de giro

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{353000}{83600}} = 2,05487 \text{ mm}$$

λ = Relación de esbeltez

$$\lambda = \frac{L_e}{i} = \frac{530}{2,2153} = 257,934$$

λ_{Lim} = Esbeltez límite

$$\lambda_{Lim} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_F}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 210000}{275}} = 122,7745$$

Comprobación de columna larga

$$¿ \lambda > \lambda_{Lim} ?$$

$$\lambda = 257,934 > \lambda_{Lim} = 122,7745 \rightarrow \text{Es columna larga}$$

Como se ha demostrado que la suposición inicial de columna larga es correcta el perfil elegido por medio del criterio de pandeo de EULER es correcto, por lo tanto el perfil definitivo para el elemento DB es:

- *Tubo rectangular 40x60 (e = 5)mm*



10.2.4.2. ESTUDIO ESTÁTICO POR SOLIDWORKS

Las herramientas de estudio estático proporcionadas por SolidWorks se usaran el los elementos DEF, CFHIG y HJKM en cada una de las 3 posiciones elegidas.

El proceso de estudio de estos elementos se divide en las siguientes partes:

- Condiciones del estudio
- Análisis de resultados
- Modificaciones en el diseño

Estas distintas fases del proceso se aplicaran en este orden, el último apartado de modificaciones se realizara solo si en el análisis de resultados se observa que no se cumplen las características requeridas.

10.2.4.2.1. CONDICIONES DEL ESTUDIO

En este apartado se definen las condiciones que está sometido cada elemento en cada estudio para que los resultados obtenidos se correspondan con las condiciones que se encontrarían sometidos en una posición estática cada elemento de la pala.

Para cada elemento en cada posición se han aplicado sus respectivas características correspondientes a ese estudio, ángulos y cargas, estas se encuentran definidas en las tablas 40, 41 y 42.

Como los modelos utilizados son los mismos que para el análisis nodal el material y el espesor inicial ya se encuentran definidos:

- Material: S275JR
- Espesor: 8 mm

Las condiciones del estudio que requiere SolidWorks son:

- Conjunto de superficies
- Conexiones
- Sujeciones
- Cargas externas
- Mallado

Todas estas condiciones se encuentran en el navegador de simulation de Solidworks.

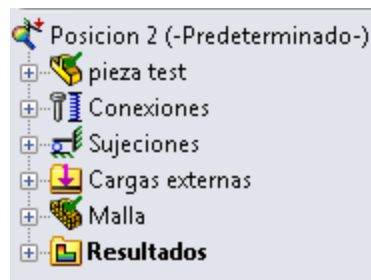


Figura 109 - Condiciones estudio

Como el proceso de aplicar las condiciones del estudio es el mismo para todos los elementos y posiciones atendiendo a los estudios característicos de cada posición como elemento, se va a explicar el proceso con los pasos seguidos para un elemento en una determinada posición, el proceso sería el mismo para cada elemento en cada una de las posiciones analizadas.

A modo de ejemplo del proceso elegido se utiliza la posición 4 del elemento HJKM.

10.2.4.2.1. 1. CONJUNTO DE SUPERFICIES

En este apartado al tratarse de superficies hay que definir el material, que ya se realizó en el apartado 10.1 y el espesor de cada superficie. Como espesor estándar para el estudio se ha escogido un espesor de 8 mm para todas las superficies de todos los elementos en todas las posiciones analizadas menos para el cuerpo principal del elemento DEF en el cual se ha utilizado el valor de 20 mm.

Para ello se ha editado la definición de cada uno de los conjuntos de superficies, figura 110, que forman la pieza, los pasos seguidos para definir el espesor de una superficie se pueden ver en las figuras 111 y 112.

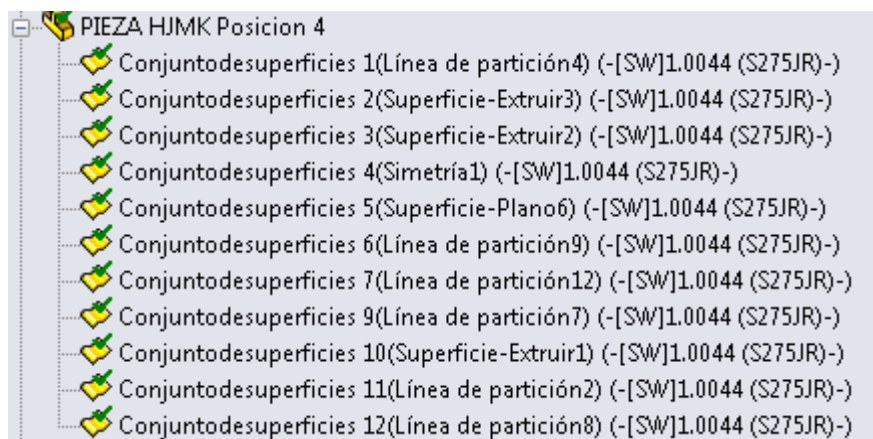


Figura 110 - Conjunto de superficies

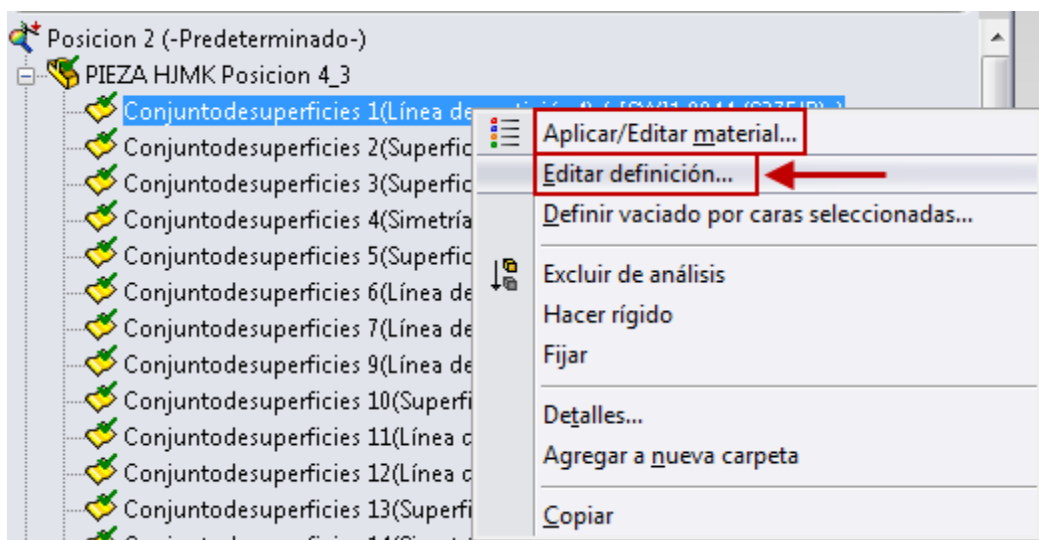


Figura 111 - Editar definición superficie

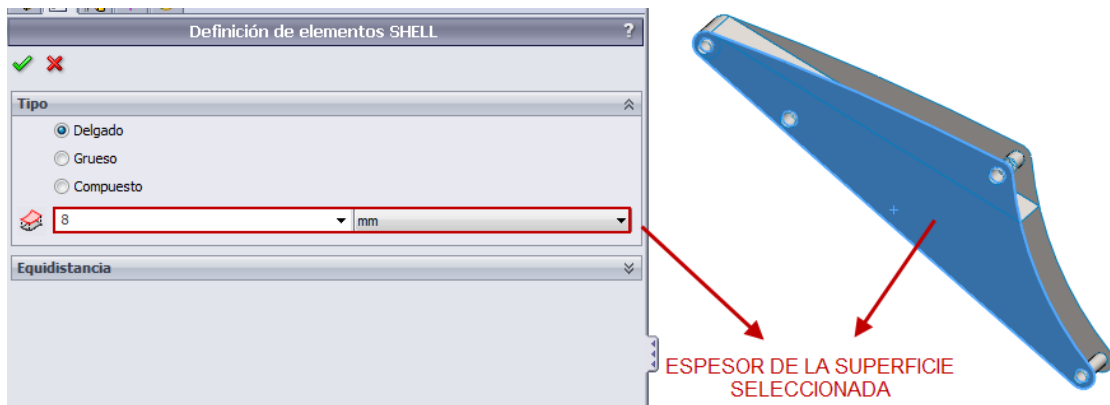


Figura 112 - Definir espesor de una superficie

10.2.4.2.1. 2. CONEXIONES

En este apartado se dan dos tipos de conexiones conjuntos de contacto y contacto entre superficies.

10.2.4.2.1. 3. CONJUNTOS DE CONTACTO

Los conjuntos de contacto se utilizarán para unir dos superficies paralelas en contacto que se encuentran unidas y se comportarían como una, por lo que el tipo de unión elegida serían unión rígida, este tipo de conexión se utilizaría para poner chapas de refuerzo en determinadas zonas, la utilización de estas se decidirá una vez analizado los resultados del modernizado inicial.

10.2.4.2.1. 4. CONTACTO ENTRE SUPERFICIES

Esta conexión la genera automáticamente SolidWorks en las líneas de partición entre superficies, como definir esta están explicadas en el punto 10.1.

Estas uniones las define como unión rígida puesto que las diferentes superficies en contacto tienen que permanecer unidas, por eso se realizó en estudio nodal.

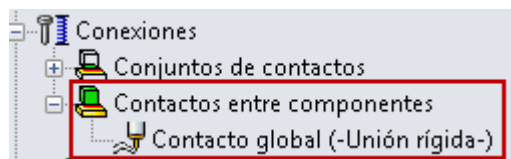


Figura 113 - Contacto entre componentes

10.2.4.2.1. 5. SUJECIONES

Las sujeciones se han utilizado para impedir el movimiento de la estructura a lo largo del eje Z, puesto que el movimiento de la pala solo se produce en el plano XY, así se evitaban desplazamientos en el eje Z y la aparición de posibles tensiones debido a esto produciendo que los resultados obtenidos no fueran ciertos.

Esto se realizó mediante la colocación de rodillos deslizantes en las caras exteriores de la pieza como se ve en la figura 114 y 115.

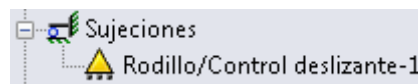


Figura 114 - Sujeciones

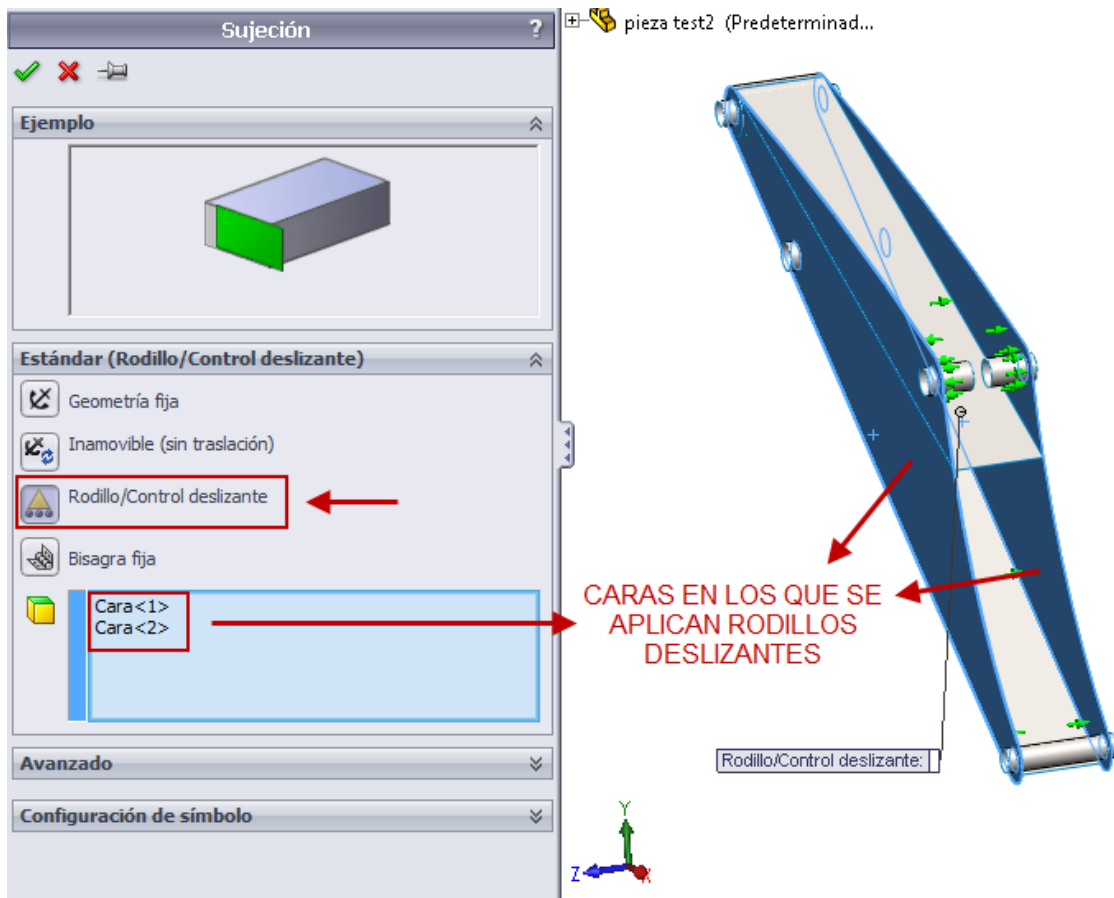


Figura 115 - Sujeción Rodillos deslizantes

10.2.4.2.1. 6. CARGAS EXTERNAS

En este apartado para cada nudo de la estructura, más concretamente en la superficie cilíndrica donde irán los pasadores, se sitúan las cargas correspondientes a la posición y nudo analizado de cada elemento en los ejes X e Y.

Para aplicar las reacciones en cada nudo en SolidWorks se realiza en cargas externas el cual permite aplicar fuerzas, que es lo que se ha utilizado para situar las reacciones en cada nudo.

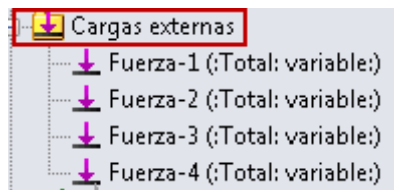


Figura 116 - Cargas externas



Figura 117 - Cargas externas - Fuerzas

Esta opción permite elegir sobre que caras de las superficies quieres aplicar la carga, la forma de su distribución y permite introducir el valor de estas como la dirección y sentido utilizando un plano como referencia.

Para nuestro estudio estático las cargas estas distribuidas a lo largo de las superficies cilíndricas donde irán los pasadores, es decir en cada nudo, la distribución será total a lo largo de toda la superficie y se ha utilizado el plano medio que corta la pieza como referencia para poder poner el valor y su sentido correcto, respecto a los ejes globales, de las reacciones en cada eje en función de la posición analizada.

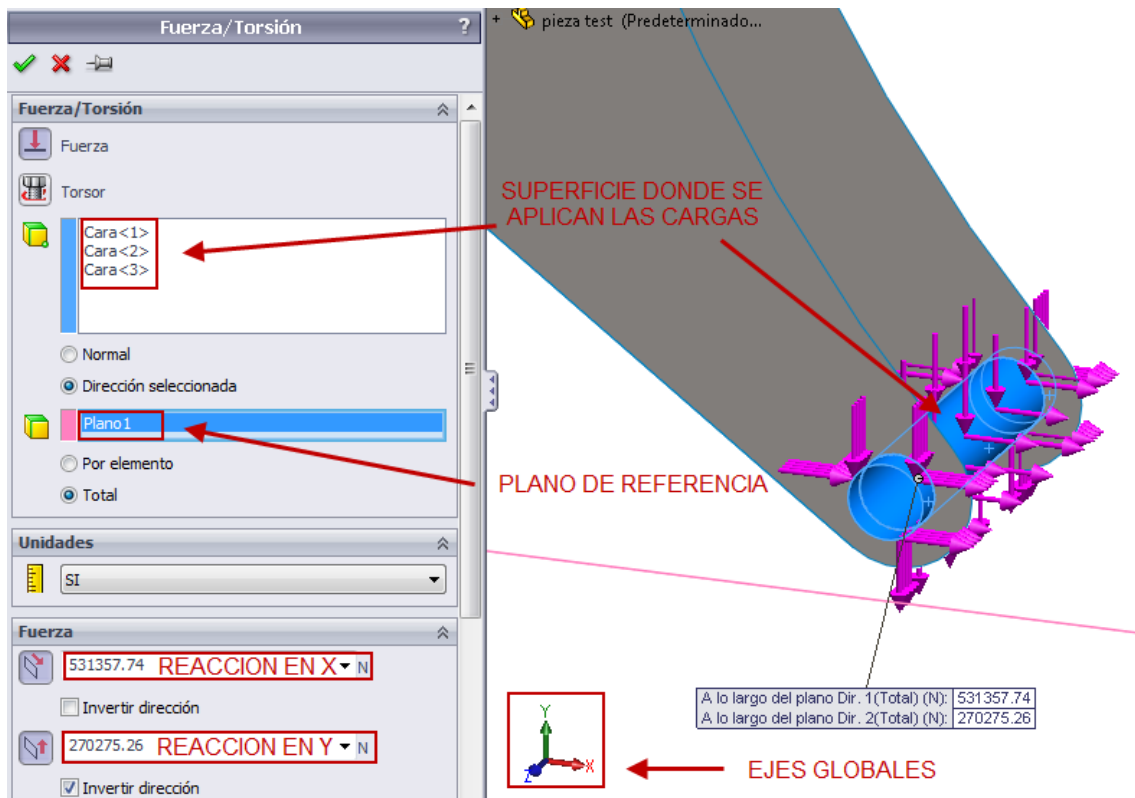


Figura 118 - Fuerzas pasadores

En el caso utilizado como ejemplo, una vez aplicado en cada nudo sus respectivas fuerzas usando el criterio de signo global, y sus valores correspondientes a la posición analizada la distribución de fuerzas se puede ver en la siguiente figura.

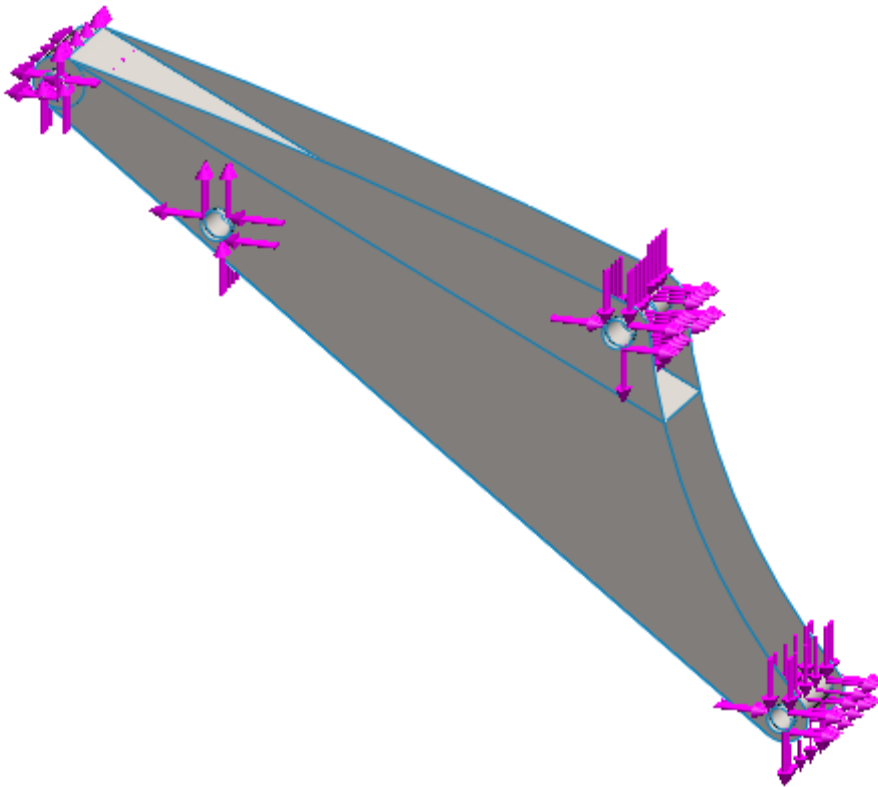


Figura 119 - Fuerzas Elemento HJK posición 4

10.2.4.2.1. 7. MALLADO

Para analizar la estructura por medio de elementos finitos es necesario realizarlo por medio de un mallado de elementos SHELL.

En este caso al tratarse de un Conjunto de superficies para esta geometría el software genera automáticamente una malla con elementos de vaciado.

El software permite generar uno de los siguientes tipos de elementos, según las opciones de mallado activas del estudio:

- **Malla con calidad de borrador.** El mallador automático genera elementos de vaciado triangulares lineales.
- **Malla de alta calidad.** El mallador automático genera elementos de vaciado triangulares parabólicos.

De los dos tipos de elementos que permite el software el elegido es la Malla de alta calidad para obtener el análisis por elementos finitos más completo posible, debido a que hay superficies curvas en los modelos.

Un elemento de vaciado triangular lineal se define mediante tres nodos angulares y tres aristas rectas. Un elemento de vaciado triangular parabólico se define mediante tres nodos angulares, tres nodos centrales y tres aristas parabólicas. Para los estudios que utilizan planchas metálicas, el espesor de los vaciados se extrae automáticamente de la geometría del modelo.

Los elementos de vaciado son elementos en 2D capaces de resistir cargas de plegado y membrana.

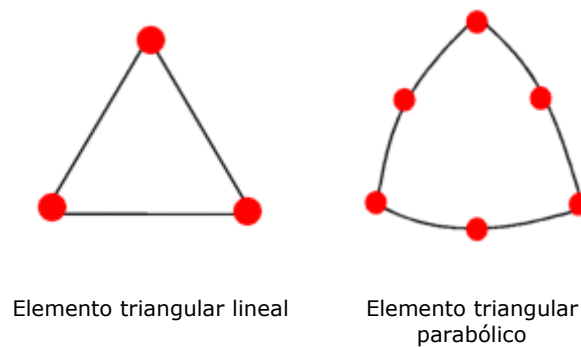


Figura 120 Elementos triangulares

Para estudios estructurales, cada nodo en elementos de vaciado tiene seis grados de libertad, tres traslaciones y tres rotaciones. Los grados de libertad de traslación son movimientos en las direcciones globales X, Y y Z. Los grados de libertad de rotación son rotaciones alrededor de los ejes globales X, Y y Z.

El mallado que utiliza SolidWorks para hacer el análisis por elementos finitos, se va a definir lo más fino posible a lo largo de todas las superficies que forman la pieza para así conseguir los resultados más exactos posibles.

Para crear el mallado se utiliza la opción crear malla que proporciona SolidWorks en el menú del navegador del estudio estático.



Figura 121 - Malla

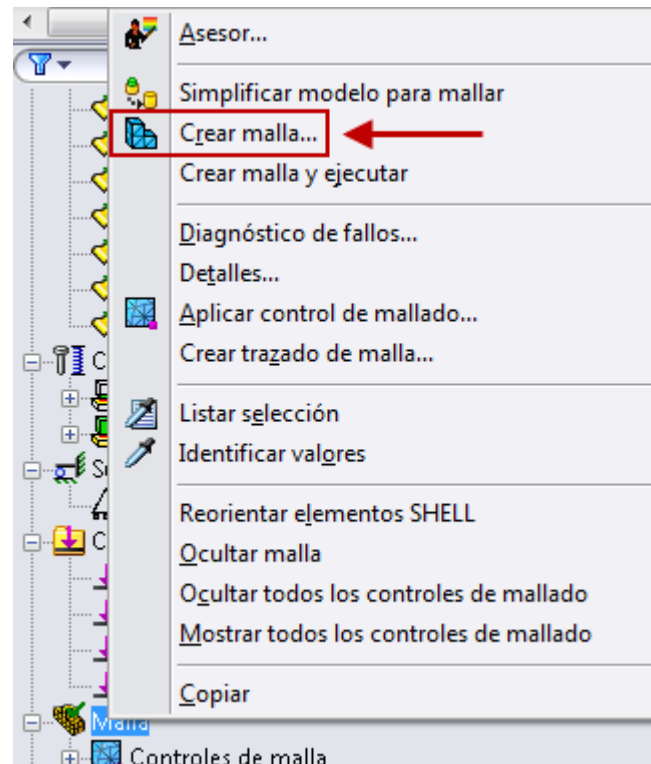


Figura 122 – Crear malla

En las diferentes opciones de mallado proporcionadas se ha utilizado la densidad de mallado mas fino y además de estos se ha aumentado el número de mínimo de elementos que se utilizan en los círculos a 16, para ello se ha utilizado los parámetros de mallado, esto se ha realizado debido a que las cargas están aplicadas en los tubos donde irán los pasadores de esta manera los resultados obtenidos en la unión de los tubos con las placas laterales serán valores aun más reales. En esta zona es muy importante tener un mallado fino para ver bien como se distribuyen las tensiones desde los tubos de los pasadores a las placas laterales que son los elementos principales que sustentan cada elemento.

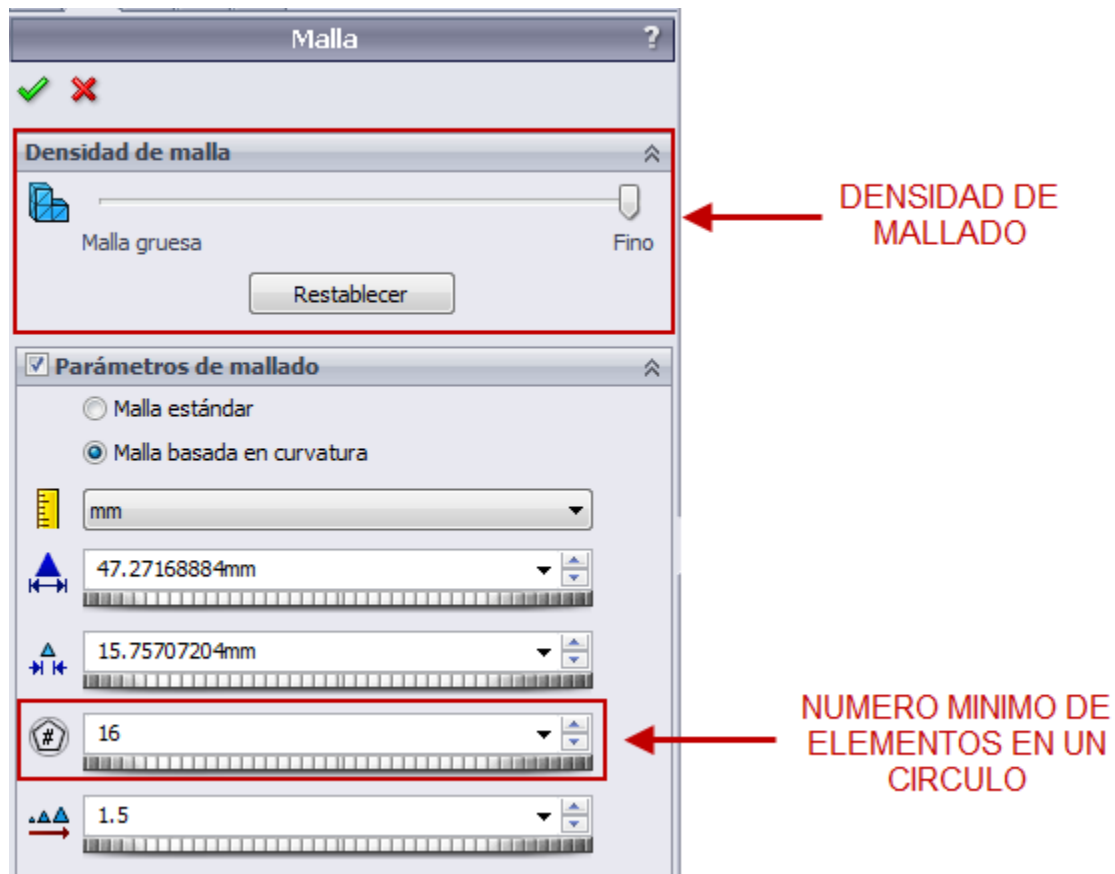


Figura 123 - Parámetros de mallado

A demás de esto para tener un mallado aun más fino a lo largo de toda la superficie de los tubos donde se han aplicado las cargas como también en la unión de estos con las placas laterales, se han utilizado las opciones de control de mallado seleccionando las aristas de contacto entre los tubos y las superficies laterales aplicando en estas un mallado de densidad fino.

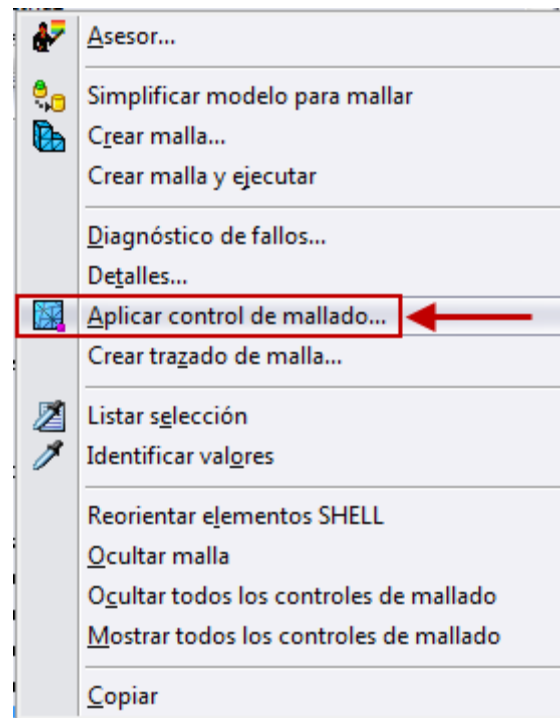


Figura 124 - Control de mallado

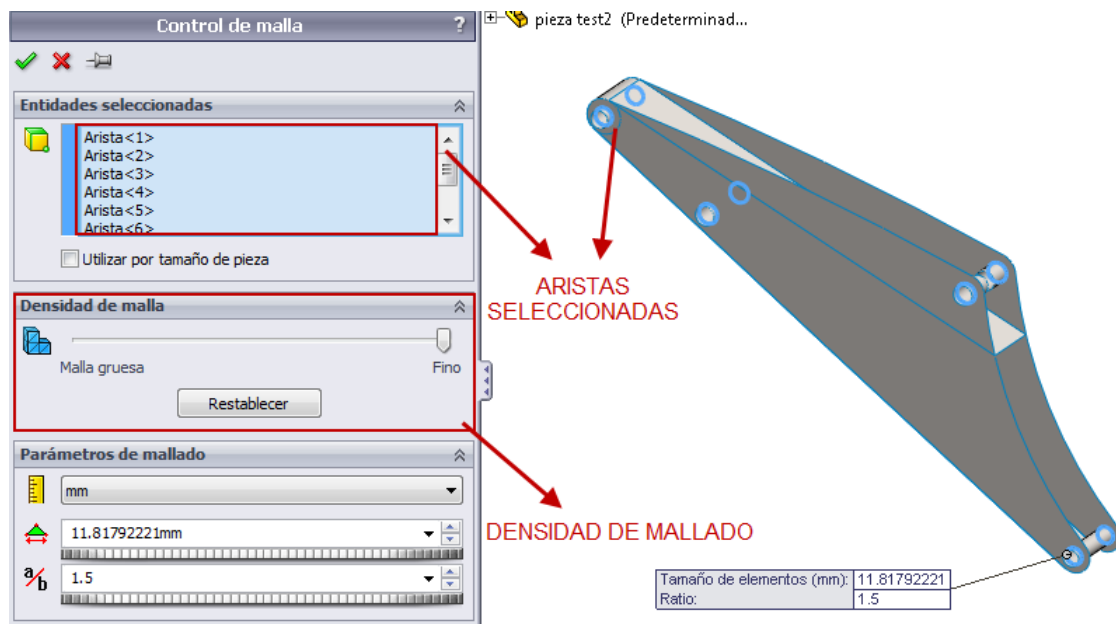


Figura 125 - Condiciones del control de mallado

Una vez creado el mallado hay que comprobar si hay que reorientar las mallas de los diferentes elementos para que en posteriores estudios haya continuidad en las tensiones mostradas.

Para cambiar la orientación de la malla de un determinada superficie hay que seleccionar la cara de la superficie y dentro de malla en el navegador hay que utilizar la opción reorientar elementos SHELL.

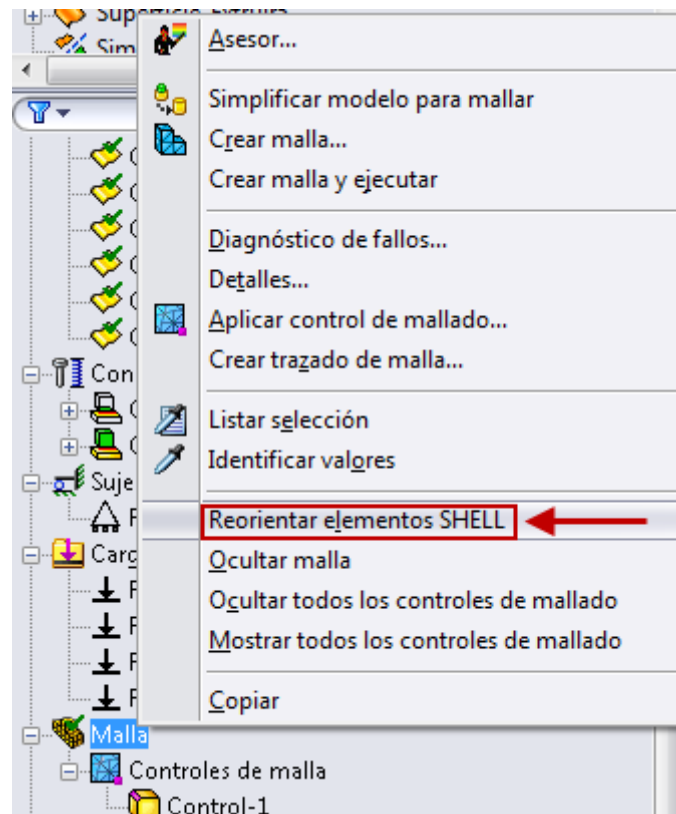


Figura 126 - Reorientar elementos SHELL

Tras reorientar las superficies del mallado el mallado obtenido para cada elemento como las características de este, atendiendo a las características del modelado es:

- **ELEMENTO DEF**

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	8.49339 mm
Tamaño mín. de elemento	8.49339 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	12655
Número total de elementos	6185

Figura 127 - Características mallado Elemento DEF



Figura 128 - Mallado Elemento DEF

- **ELEMENTO CFHIG**

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Control de malla	Definida
Tamaño máx. de elemento	48.9369 mm
Tamaño mín. de elemento	16.3121 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	27176
Número total de elementos	13516

Figura 129 - Características mallado Elemento CFHIG

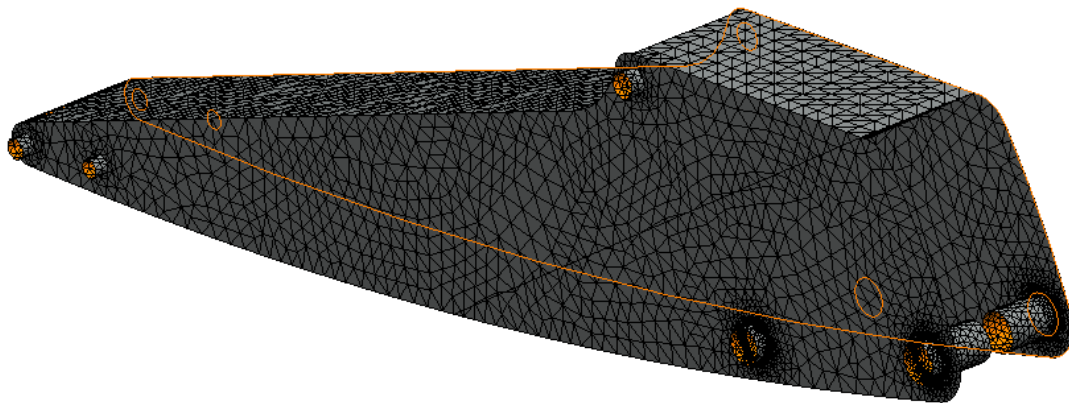


Figura 130 - Mallado Elemento CFHIG

- **ELEMENTO HJMK**

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	9.54789 mm
Tamaño mín. de elemento	3.1826 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	16104
Número total de elementos	7682

Figura 131 - Características mallado Elemento HJMK

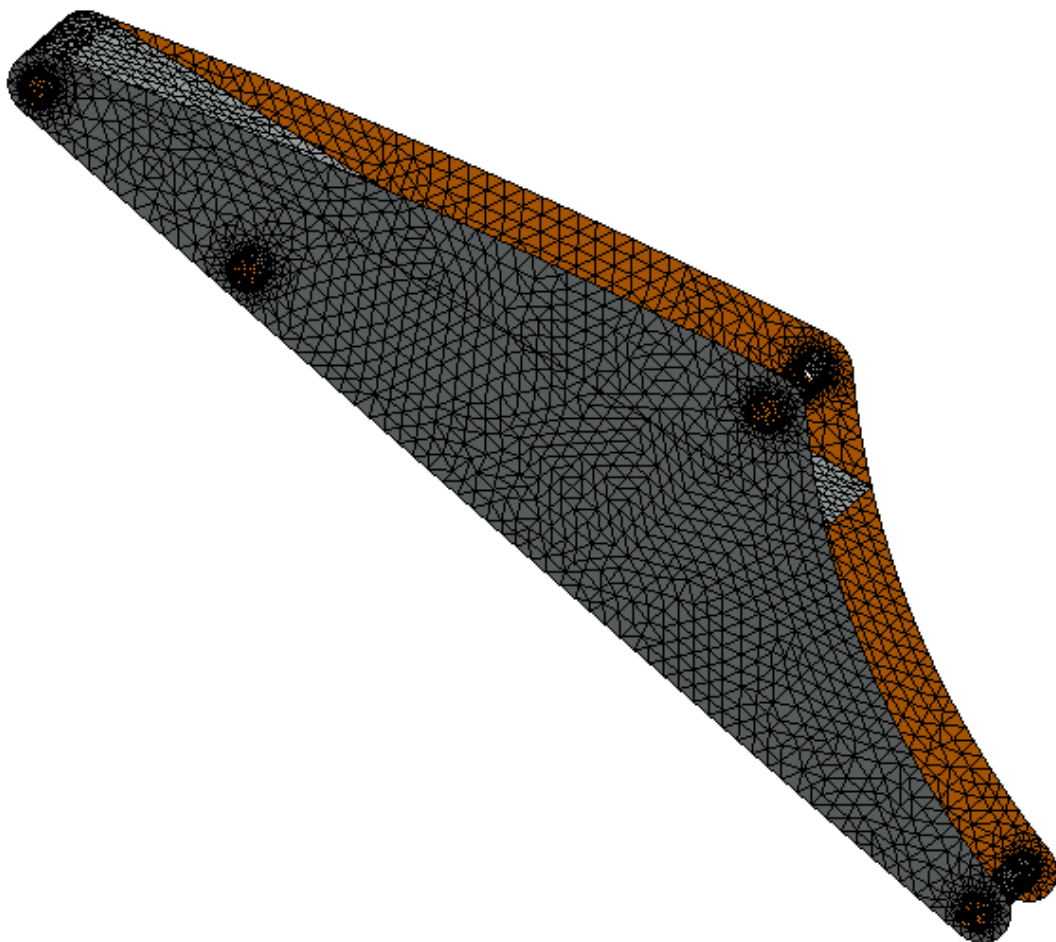


Figura 132 - Mallado Elemento HJMK

10.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado una vez ejecutados las diferentes simulaciones para cada uno de los elementos en las posiciones analizadas lo primero que se ha realizado es determinar que posición de las tres analizadas es la posición mas desfavorable.

Para determinar las posiciones mas desfavorables se han comparado los diferentes mapas de tensiones de las tres posiciones analizadas para cada elemento y se ha observado que las posiciones mas desfavorables son:

- Elemento DEF → Posición 6
- Elemento CFHIG → Posición 4
- Elemento HJMK → Posición 4

A continuación se ha analizado los diagramas de tensiones de las posiciones mas desfavorables para los tres elementos, para realizar el análisis se ha seguido los siguientes criterios:

- *Coeficiente de seguridad* → $C_s = 3$
- $\sigma_{VON MISES} = \frac{\sigma_{Fluencia}}{C_s} = \frac{275}{3} = 91,67 \text{ MPA}$
- *Desplazamiento* → $\mu_{MAX} = \frac{Longitud total}{500}$

Para poder realizar estas comprobaciones en diagramas de esfuerzos que muestra SolidWorks se le ha definido como valor máximo de la escala de tensiones de $\sigma_{VON MISES}$ 91,67 MPA de esta forma se ha comprobado las zonas donde las tensiones son más elevadas.

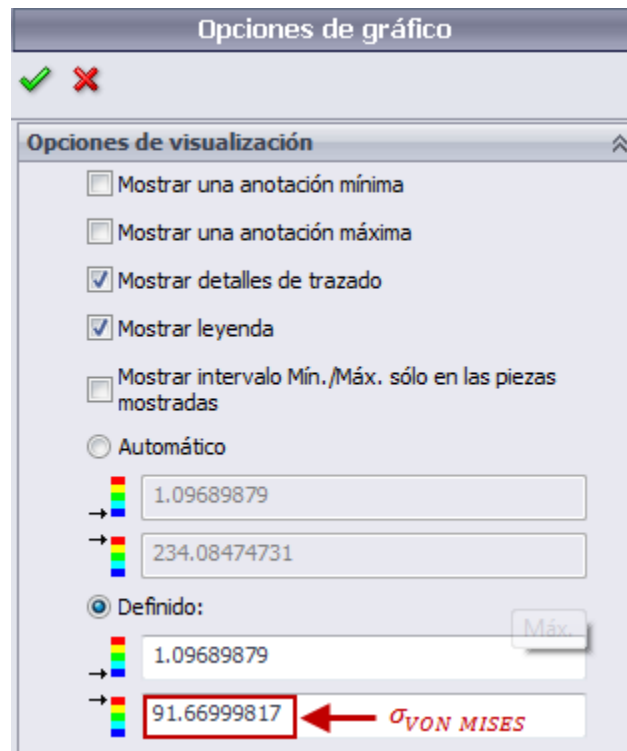


Figura 133 – Opciones de gráfico

Los análisis de los 3 elementos en sus posiciones mas desfavorables son:

- **ELEMENTO DEF**

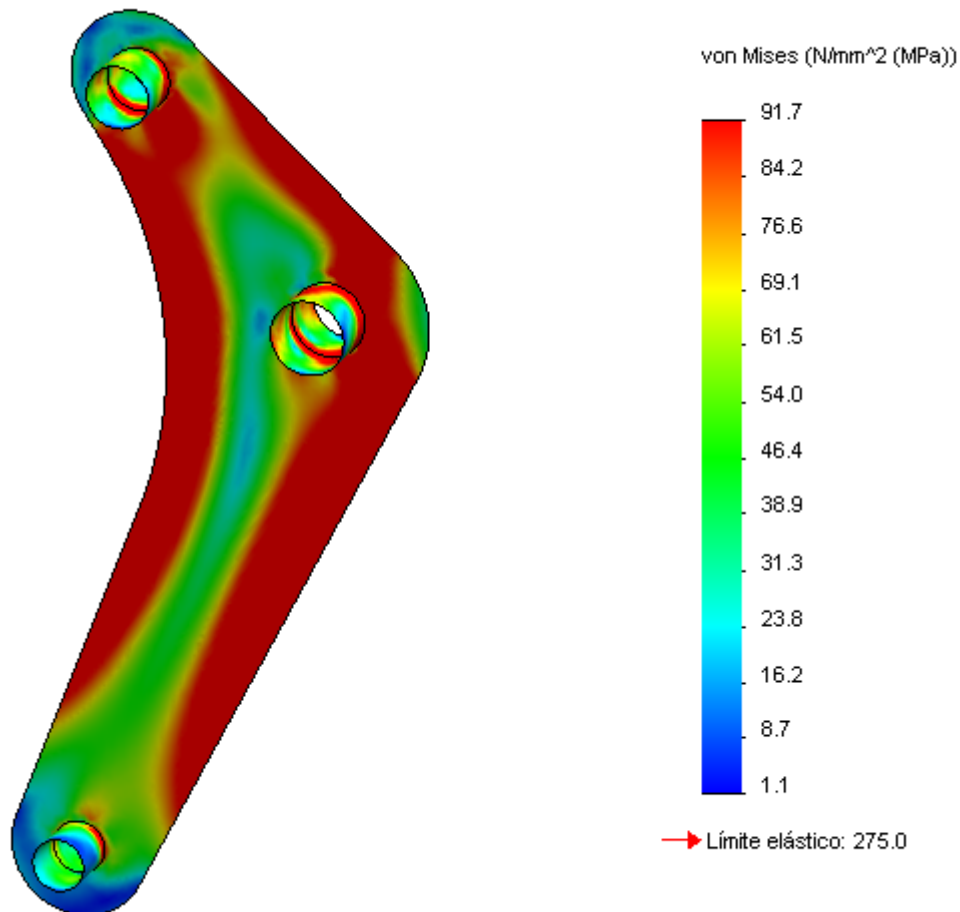


Figura 134 - Mapa de tensiones Elemento DEF

Como se observa en el diafragma de tensiones de este elemento lo valores de tensiones mas elevado y que superan el límite impuesto por el coeficiente de seguridad se encuentran en las zonas exteriores de superficie central disminuyendo a lo largo que se acercan a la zona central.

Otra zona donde las tensiones son elevadas superando el limite son en los puntos de conexión entre la pieza centrar y los elementos de sujeción de los pasadores.

- **ELEMENTO CFHIG**

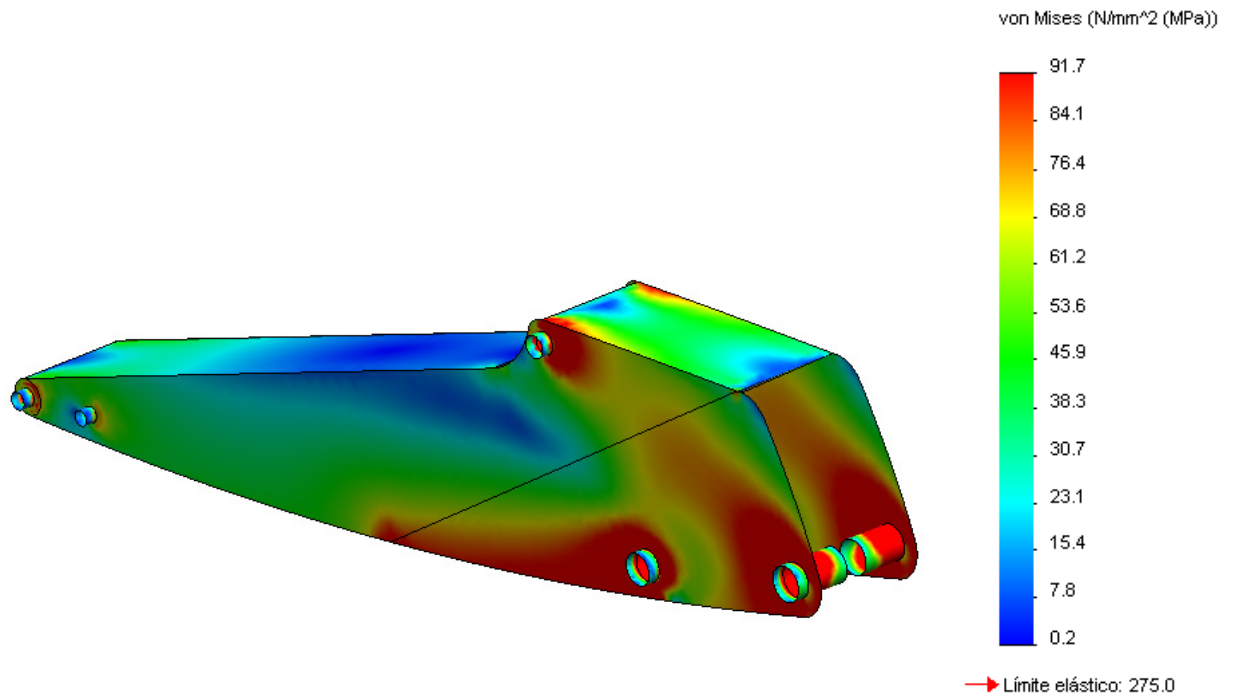


Figura 135 - Mapa de tensiones Elemento CFHIG

Para este elemento las zonas con mayores tensiones son las zonas de las superficies laterales que están cerca de los elementos de sujeción de los pasadores G, H e Y.

Otra zona donde las tensiones superan el límite son los puntos de conexión entre la pieza central y los elementos de sujeción de los pasadores, esto se produce en todos los elementos de sujeción.

- ELEMENTO HJMK

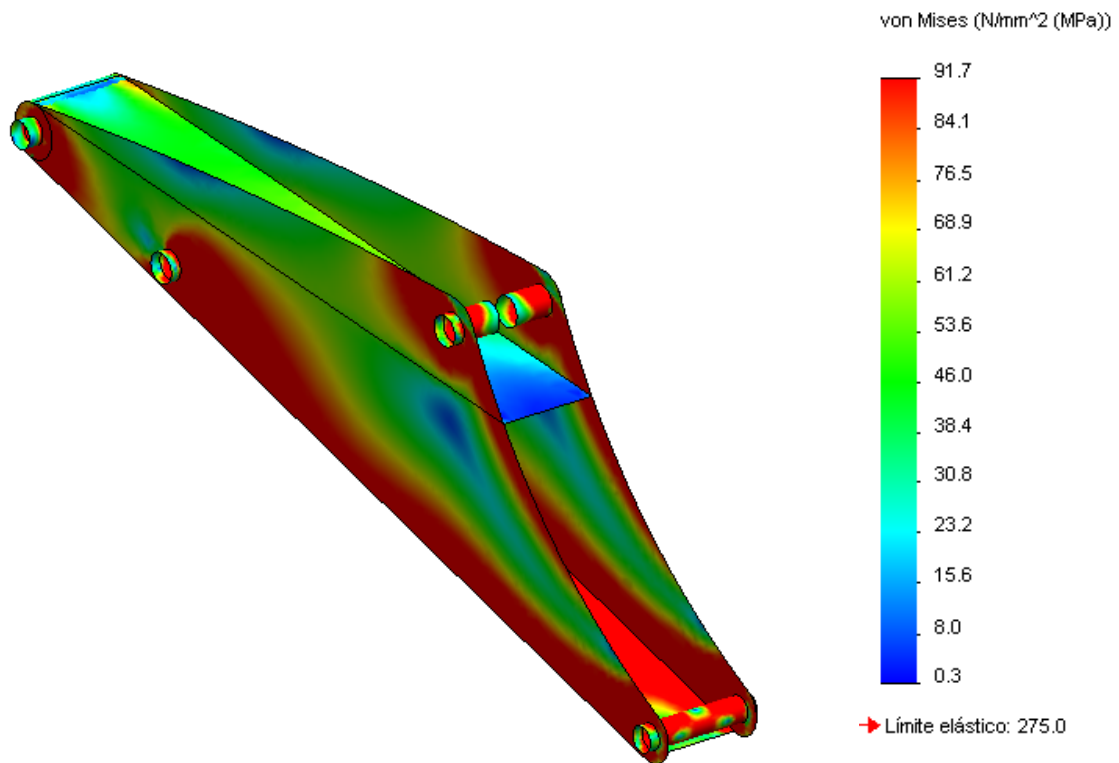


Figura 136 – Mapa de tensiones Elemento HJMK

En este elemento las zonas con mayores tensiones superando los límites son las zonas de las superficies laterales que están cerca de los elementos de sujeción de todos los pasadores y la zona inferior de las superficies laterales como la superficie inferior del elemento.

Otra zona donde las tensiones superan el límite son los puntos de conexión entre la pieza central y los elementos de sujeción de los pasadores, esto se produce en todos los elementos de sujeción.

10.3.1. MEJORAS EN EL DISEÑO

En este apartado se han realizado modificaciones en cada uno de los diseños iniciales del modelizado atendiendo a los mapas de tensiones obtenidos en los estudios realizados para que cumplan las condiciones de diseño:

$$\text{➤ } \sigma_{VON MISES} = \frac{\sigma_{Fluencia}}{C_s} = \frac{275}{3} = 91,67 \text{ MPA}$$

$$\text{➤ } \mu_{MAX} = \frac{Longitud\ total}{500}$$

Otra condición que se han añadido al proceso de mejora son que el espesor máximo de los elementos de sujeción de los pasadores sea de 25 mm, en caso que se requiera un aumento de este.

Las mejoras que se van a introducir en función de cada elemento y zona son aumento de espesor o añadir superficies adicionales de refuerzo a las zonas con mayores tensiones, como referencia para ver que espesores podrían ser necesarios se han utilizado el estudio por aplastamiento que se ha realizado en el apartado 9.1 para conocer el espesor necesario para las orejetas.

Los espesores definitivos se han definido mediante los espesores calculados para aplastamiento variando estos a lo largo de diferentes simulaciones de forma que el espesor definitivo sea el mas pequeño posible que cumpla los requisitos establecidos, para tener el mayor ahorro posible de material con el consiguiente ahorro económico.

A continuación se van a analizar las mejoras introducidas en cada elemento como los resultados finales obtenidos del estudio estático:

ELEMENTO DEF

La primera mejora que se ha realizado en este elemento ha sido la introducción de una superficie de refuerzo a lo largo del perímetro de la superficie principal para reducir las tensiones en estas zonas las cuales eran las más elevadas, el espesor definitivo tanto de este elemento será de 22,5 mm.

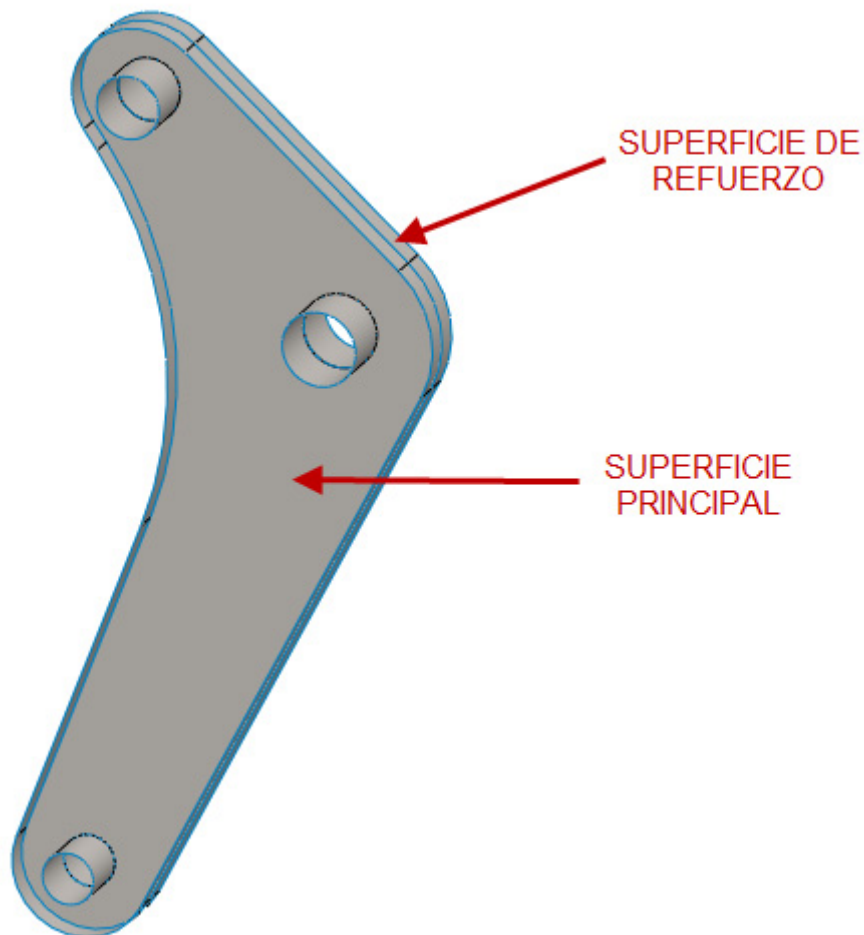


Figura 137 - Modelo final elemento DEF

Otra mejora que se ha introducido es el aumento de los espesores de los elementos de sujeción de los pasadores.

Estas mejoras se han verificado realizando el estudio de las 3 posiciones mas solicitadas verificando que para cada una de ellas se cumplen los requisitos solicitados:

Requisitos

- $\sigma_{VON MISES} = \frac{\sigma_{Fluencia}}{C_s} = \frac{275}{3} = 91,67 \text{ MPA}$
- $\mu_{MAX} = \frac{Longitud\ total}{500} = \frac{540+255}{500} = 1,59 \text{ mm}$

Para los resultados obtenidos para las 3 posiciones realizadas, que se muestran en la tabla 44, se puede comprobar que se cumplen los requisitos para todas las posiciones analizadas.

ELEMENTO CFHIG			
POSICION	σ VON MISES (MPA)	μ Desplazamiento (mm)	ϵ Deformación unitaria
2	52,2	0,157	0,0002323
4	80,9	0,3351	0,0003736
6	87,9	0,2702	0,0004113

Tabla 44 - Resultados Elemento CFHIG

Con lo cual el diseño definitivo con los espesores para cada superficie es:

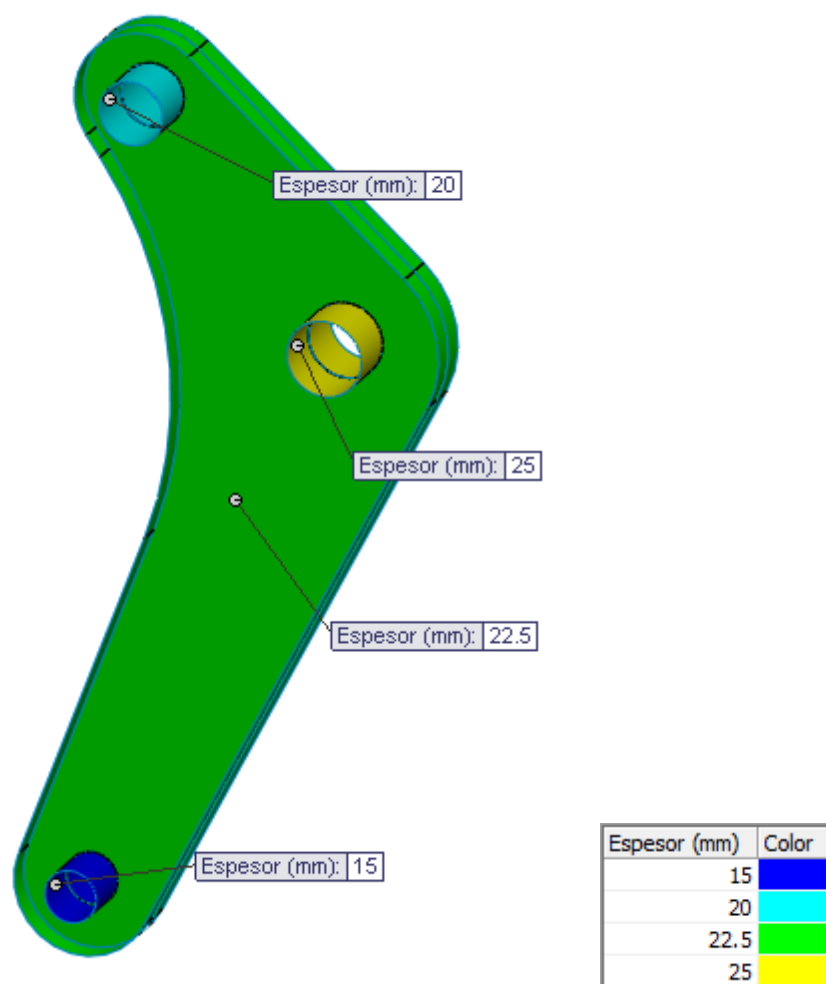


Figura 138 - Espesores DEF

El mallado del elemento DEF atendiendo a los criterios definidos en el apartado 10.2.4.2.1. 7. sus características son:

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	9.54789 mm
Tamaño mín. de elemento	3.1826 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	15932
Número total de elementos	7596

Tabla 45 - Características malla DEF



Figura 139- Malla DEF

Los mapas de tensiones de tensiones, como deformaciones y desplazamientos obtenidos para el elemento DEF en la posición mas desfavorable son:

- MAPA DE TENSIONES

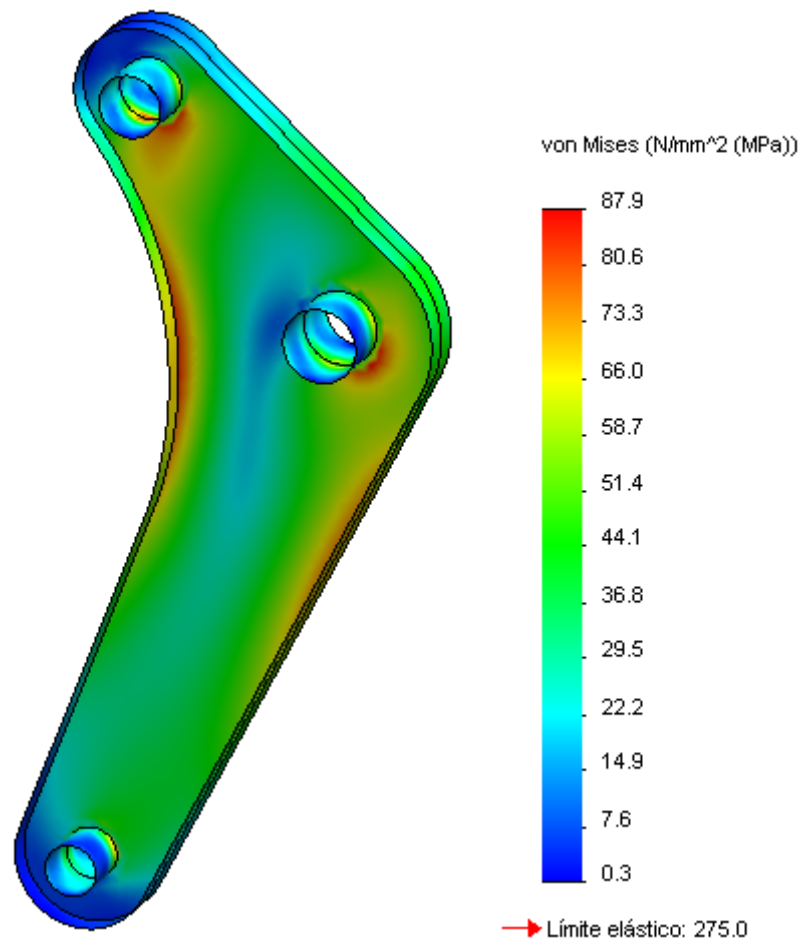


Figura 140- Mapa de tensiones elemento DEF

- MAPA DE DESPLAZAMIENTOS

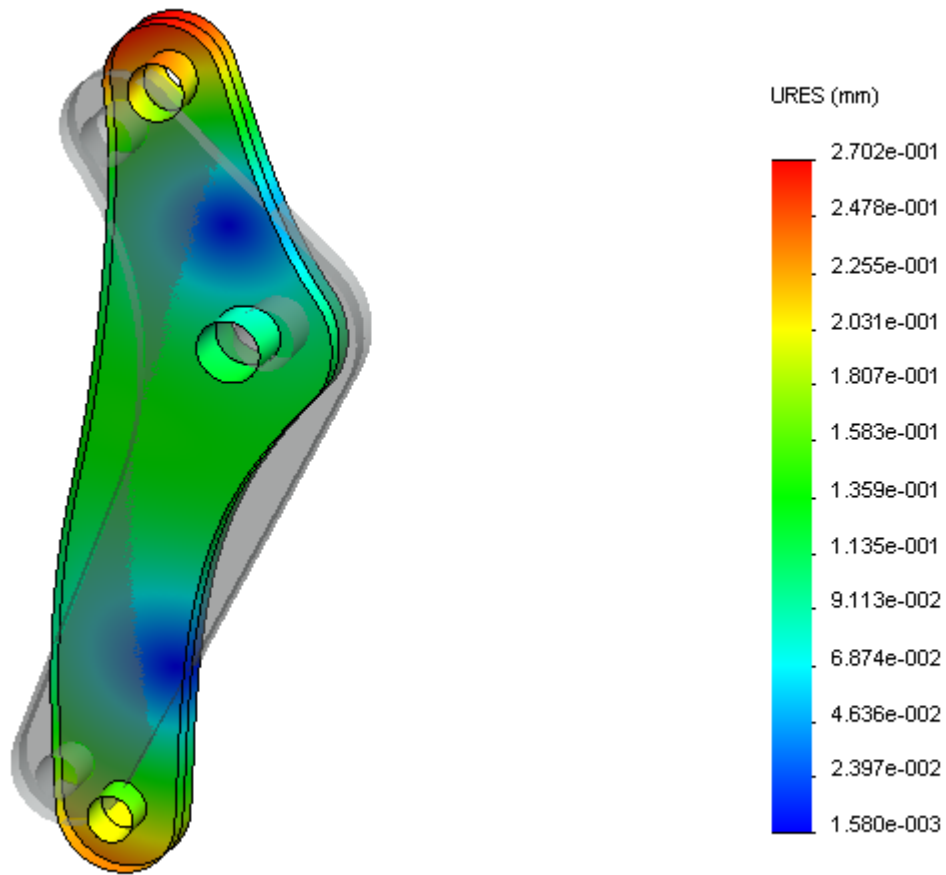


Figura 141 - Desplazamientos elemento DEF

ELEMENTO CFHIG

Una de las mejoras que se ha realizado en este elemento es aumentar el espesor de las superficies que sujetan los pasadores hasta el máximo 25 mm.

La otra mejora ha sido añadir superficies de refuerzo a las zonas donde la tensión en las superficies laterales eran más elevadas, estas zonas coinciden en las conexiones entre los elementos de sujeción y las chapas laterales.

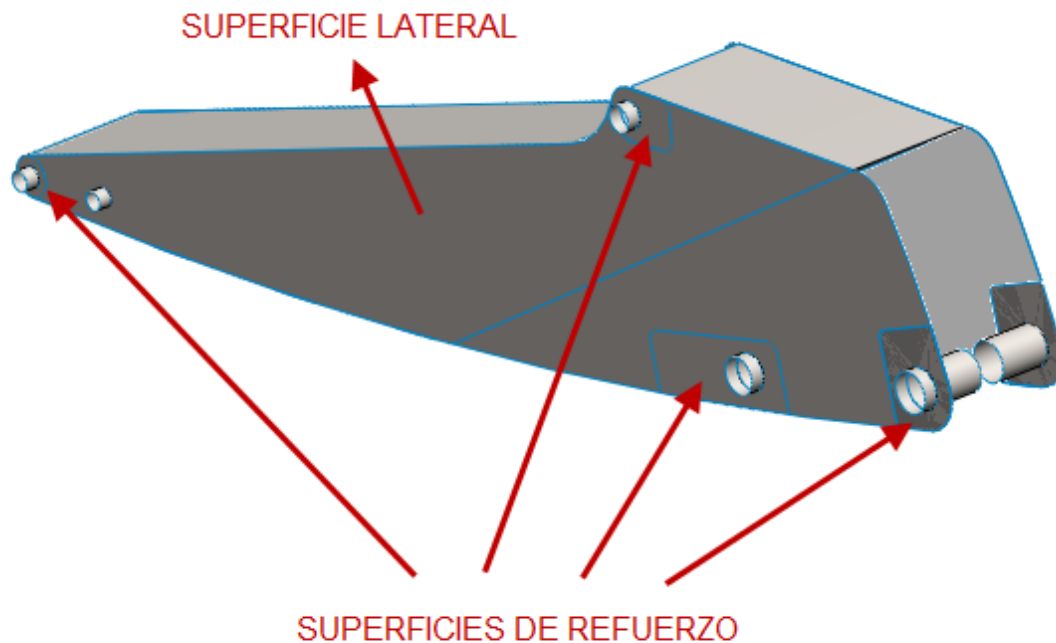


Figura 142 - Superficies de refuerzo CFHIG

Como espesor orientativo para los conjuntos de superficie lateral más la superficie de refuerzo correspondiente a cada pasador se ha utilizado los espesores calculados para las orejetas, ajustando estos al mínimo posible por medio de las simulaciones. Estas superficies de refuerzo se han utilizado en las dos superficies laterales.

Para el espesor de referencia de la superficie de refuerzo que se encuentra en la zona de cada eje, se ha utilizado el espesor de la orejeta correspondiente a cada determinado eje teniendo en cuenta las superficies laterales.

Estas mejoras se han verificado como en el caso anterior realizando el estudio de las 3 posiciones mas solicitadas verificando que para cada una de ellas se cumplen los requisitos solicitados:

Requisitos

- $\sigma_{VON MISES} = \frac{\sigma_{Fluencia}}{C_s} = \frac{275}{3} = 91,67 \text{ MPA}$
- $\mu_{MAX} = \frac{Longitud total}{500} = \frac{250+2210+605}{500} = 6,13 \text{ mm}$

Para los resultados obtenidos para las 3 posiciones realizadas que se muestran en la tabla 46 se puede comprobar que cumple los requisitos para todas las posiciones analizadas, para alguna posiciones se ha tenido que modificar espesores que para las otras posiciones no serían necesarias estas modificaciones, la modificaciones también se han realizado en el resto de posiciones por lo cual el modelo final cumple los requisitos para todas las posiciones que han sido analizadas.

ELEMENTO CFHIG			
POSICION	σ VON MISES (MPa)	μ Desplazamiento (mm)	ϵ Deformación unitaria
2	88,1 (196,5)	1,807	0,0004048
4	91,3 (197)	0,5641	0,0006954
6	91,3 (184,1)	0,4104	0,0006501

Tabla 46 – Resultado Elementos CFHIG

Tanto en la tabla de resultados como en los mapas de tensiones obtenidos se observa que el diseño final cumple con los requisitos de diseño, pero esto no se produce en los elementos de sujeción de los pasadores donde se producen unas tensiones mayores a las requeridas, son los valores que aparecen en paréntesis en las tablas.

Estas tensiones tan elevadas en estas zonas se han considerado aceptables en el diseño final debido a dos razones:

1. Debido a la longitud del elemento de sujeción y a que la carga que soportara el pasador estas distribuida a lo largo de este, las tensiones que se producen en los elementos de sujeción son debidas a flexión las cuales desaparecerán cuando este colocado el pasador debido a su gran rigidez.

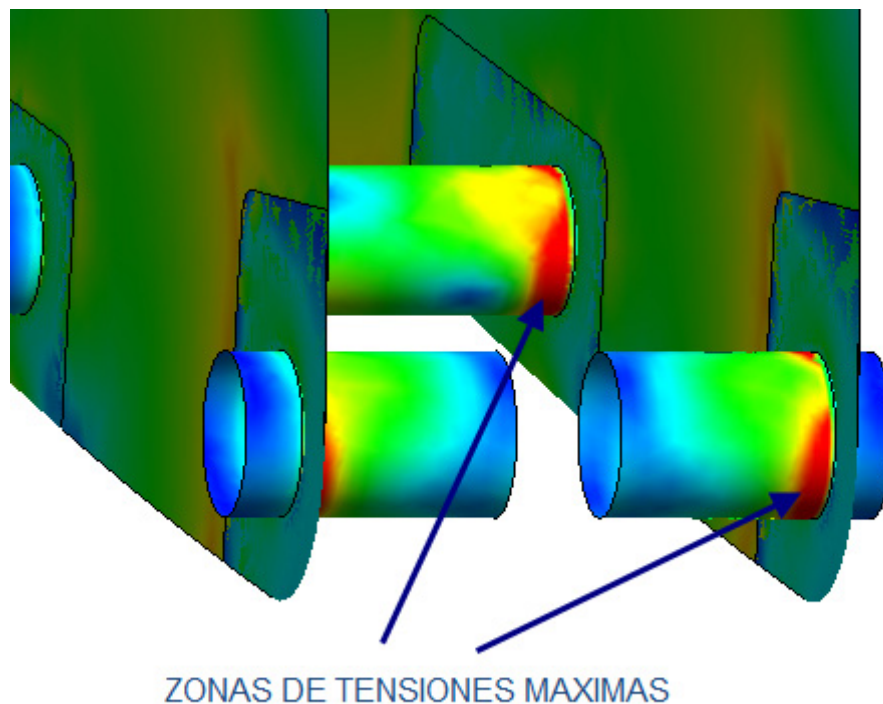


Figura 143 - Zonas de tensión máxima

2. La otra razón es que debido a la gran rigidez de los pasadores todas las tensiones que se producen a lo largo de los pasadores se transmitirán a las superficies laterales donde se encuentran las conexiones entre estos. En estas zonas como se puede ver en el mapa de tensiones si se cumplen los requisitos de diseño especificados.

Con lo cual el diseño definitivo con los espesores para cada superficie es:

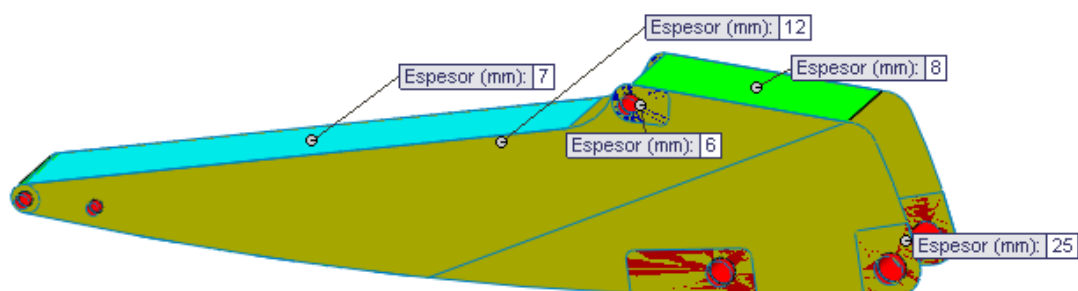


Figura 144 - Espesores CFHIG

Espesor (mm)	Color
6	Blue
7	Cyan
8	Green
12	Yellow
25	Red

Tabla 47 - Tabla de espesores CFHIG

El mallado del elemento CFHIG atendiendo a los criterios definidos en el apartado 10.2.4.2.1. 7. sus características son:

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Control de malla	Definida
Tamaño máx. de elemento	48.9369 mm
Tamaño mín. de elemento	16.3121 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	31776
Número total de elementos	15896

Tabla 48 - Características malla CFHIG

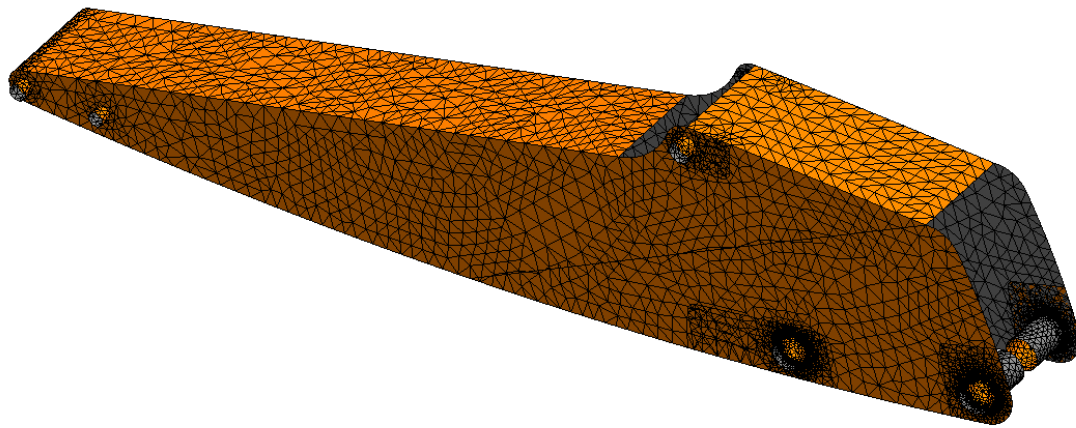


Figura 145 – Malla CFHIG

Los mapas de tensiones de tensiones, como deformaciones y desplazamientos obtenidos para el elemento CFHIG en la posición mas desfavorable que es la posición 4 son:

- MAPA DE TENSIONES

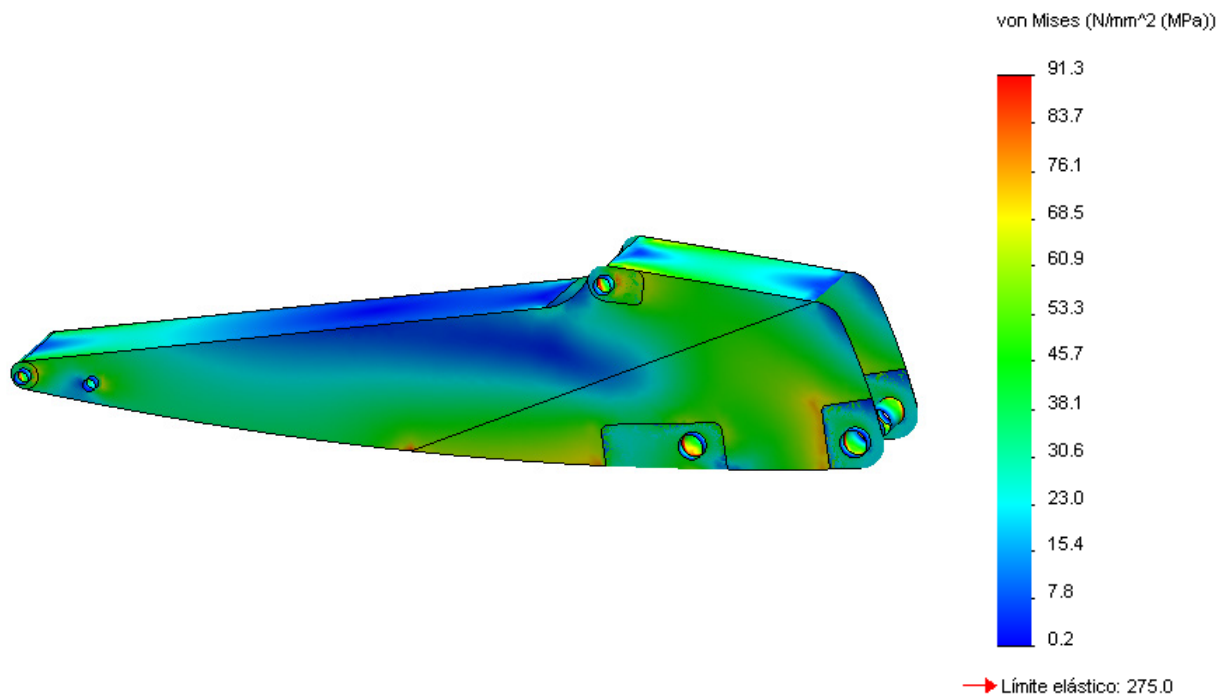


Figura 146 - Mapa de tensiones elemento CFHIG

- DESPLAZAMIENTOS

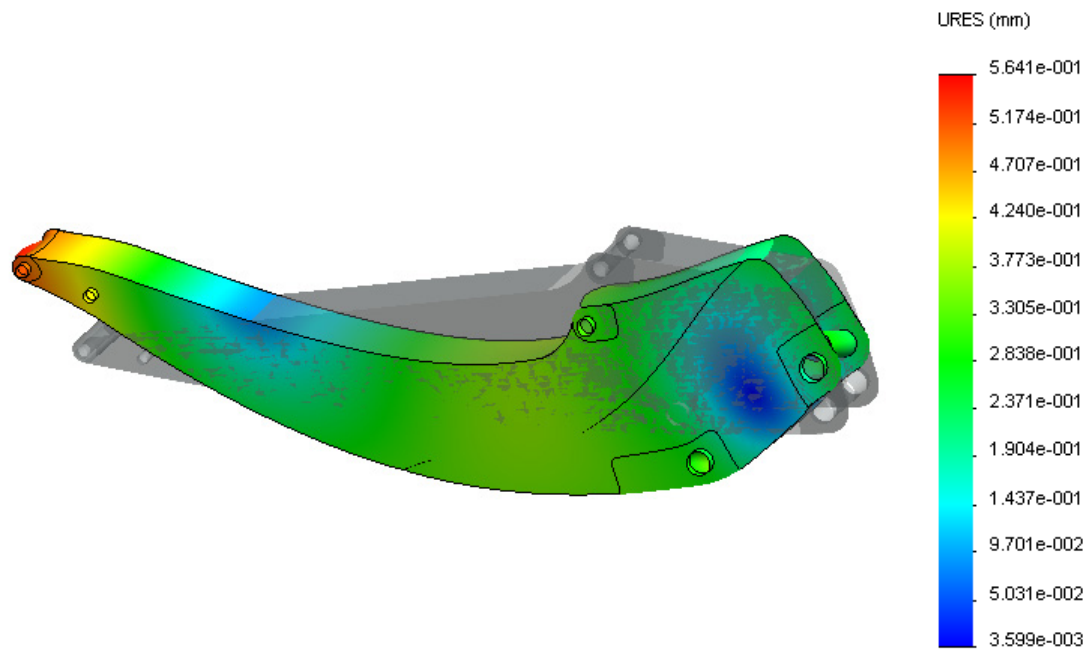


Figura 147 - Desplazamientos elemento CFHIG

ELEMENTO HJKM

La primera mejora que se ha realizado en este elemento es aumentar el espesor de las superficies que sujetan lo pasadores hasta el máximo 25 mm.

La segunda mejora que ha realizado es añadir superficies de refuerzo a las zonas donde la tensión en las superficies laterales eran más elevadas, estas zonas coinciden en las conexiones entre los elementos de sujeción y las chapas laterales.

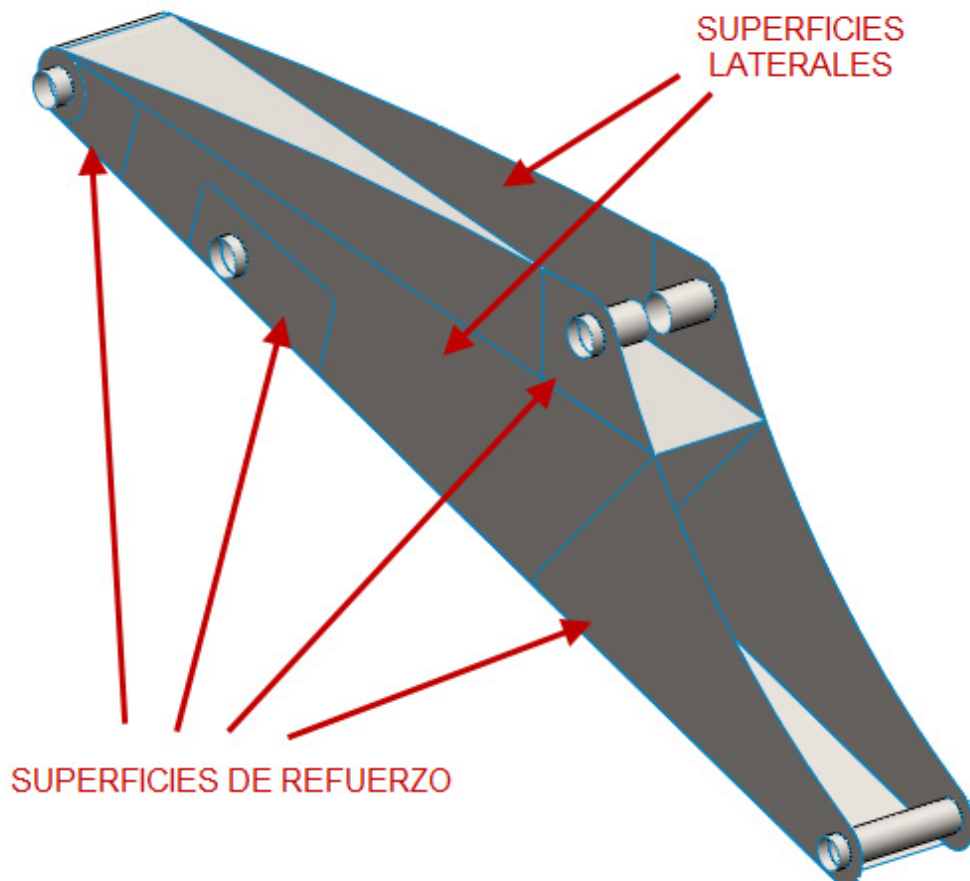


Figura 148 - Superficies de refuerzo HJKM

Al igual que se utilizado en el elemento HJMK se ha utilizado como espesor orientativo para los conjuntos superficie lateral mas el superficie de refuerzo correspondiente a cada pasador se ha utilizado los espesores calculados para las orejetas, ajustando estos al mínimo posible por medio de las simulaciones. Estas superficies de refuerzo se han utilizado en las dos superficies laterales.

Una vez realizadas las mejoras se han verificado mediante el estudio de las 3 posiciones mas solicitadas verificando que para cada una de ellas se cumplen los requisitos solicitados:

Requisitos

- $\sigma_{VON MISES} = \frac{\sigma_{Fluencia}}{C_s} = \frac{275}{3} = 91,67 \text{ MPA}$
- $\mu_{MAX} = \frac{Longitud total}{500} = \frac{692+2428}{500} = 6,24 \text{ mm}$

ELEMENTO HJMK			
POSICION	σ VON MISES (MPA)	μ Desplazamiento (mm)	ϵ Deformación unitaria
2	91,3 (111,1)	4,439	0,0002323
4	91,3 (112,9)	5,709	0,0006062
6	89,3 (91,3)	2,872	0,0005199

Tabla 49 - Resultado Elementos HJMK

Tras analiza los resultados obtenidos tanto en la tabla 49 como en los mapas de tensiones obtenidos se observa que el diseño final cumple con los requisitos de diseño, al igual que ocurría en el elemento CFHIG, esto no se produce en los elementos de sujeción de los pasadores donde se producen unas tensiones mayores a las requeridas, son los valores que aparecen en paréntesis en las tablas.

Como ocurría en el elemento CFHIG estas tensiones tan elevadas en estas zonas se han considerado aceptables en el diseño final debido a las dos razones ya explicadas anterior mente, la flexión en los elementos de sujeción como a que las tensiones irán a las superficies laterales.

Con lo cual el diseño definitivo con los espesores para cada superficie es:

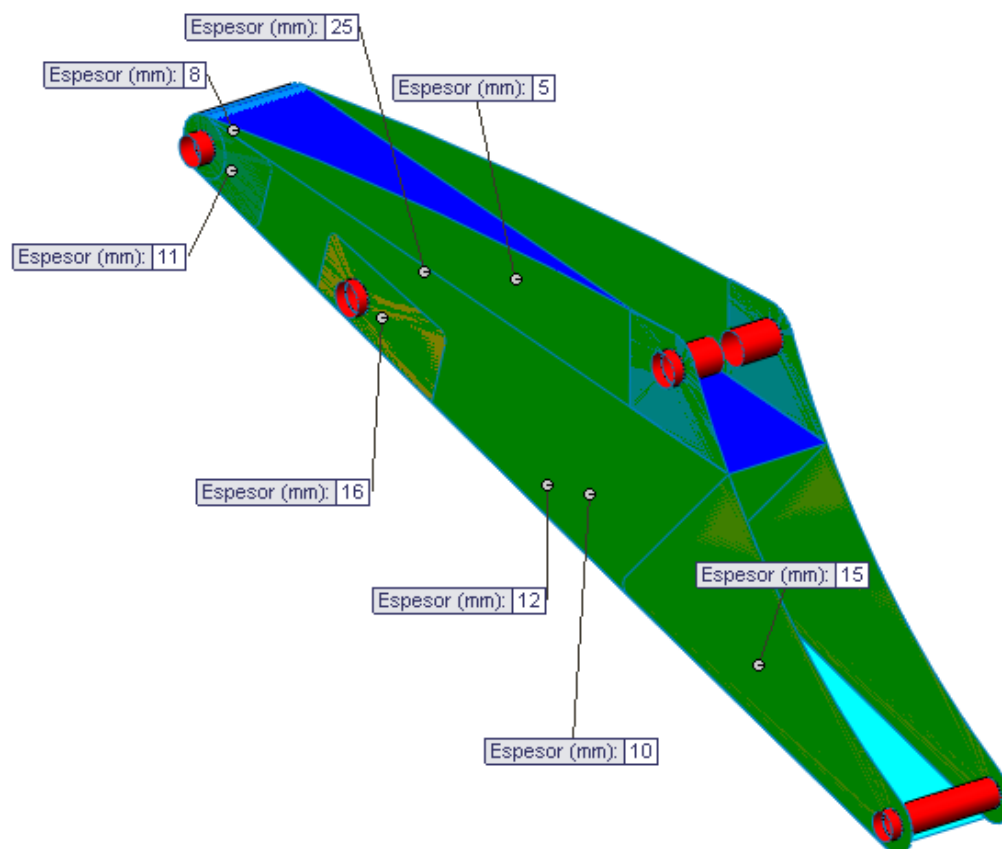


Figura 149 - Espesores HJMK

Espesor (mm)	Color
5	Blue
8	Light Blue
10	Cyan
11	Light Green
12	Green
15	Yellow-Green
16	Yellow
25	Red

Figura 150 - Tabla de espesores HJMK

El mallado del elemento HJMK entendiendo a los criterios definidos en el apartado 10.2.4.2.1. 7. sus características son:

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Control de malla	Definida
Tamaño máx. de elemento	55.8306 mm
Tamaño mín. de elemento	18.61 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	20011
Número total de elementos	9951

Figura 151 - Características malla HJMK

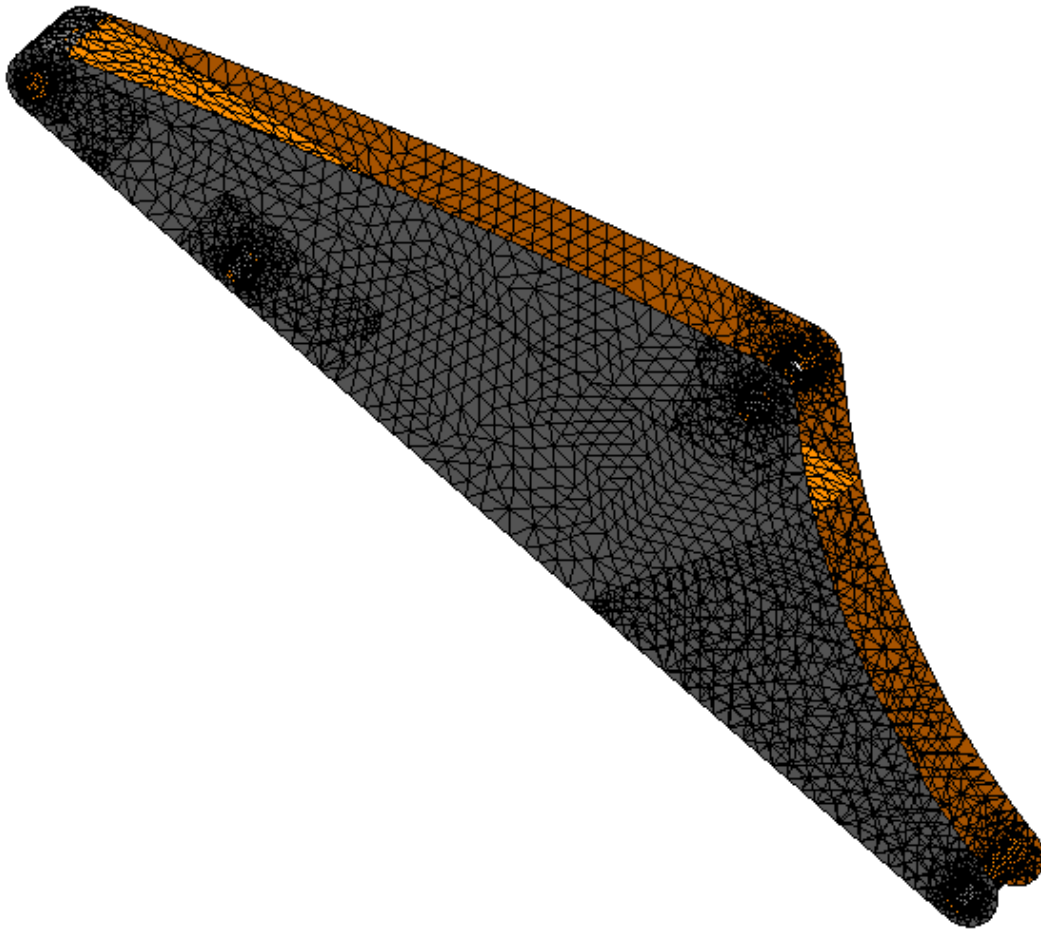


Figura 152 - Malla HJMK

Los mapas de tensiones de tensiones, como deformaciones y desplazamientos obtenidos para el elemento HJKM en la posición mas desfavorable que es la posición 4 son:

- MAPA DE TENSIONES

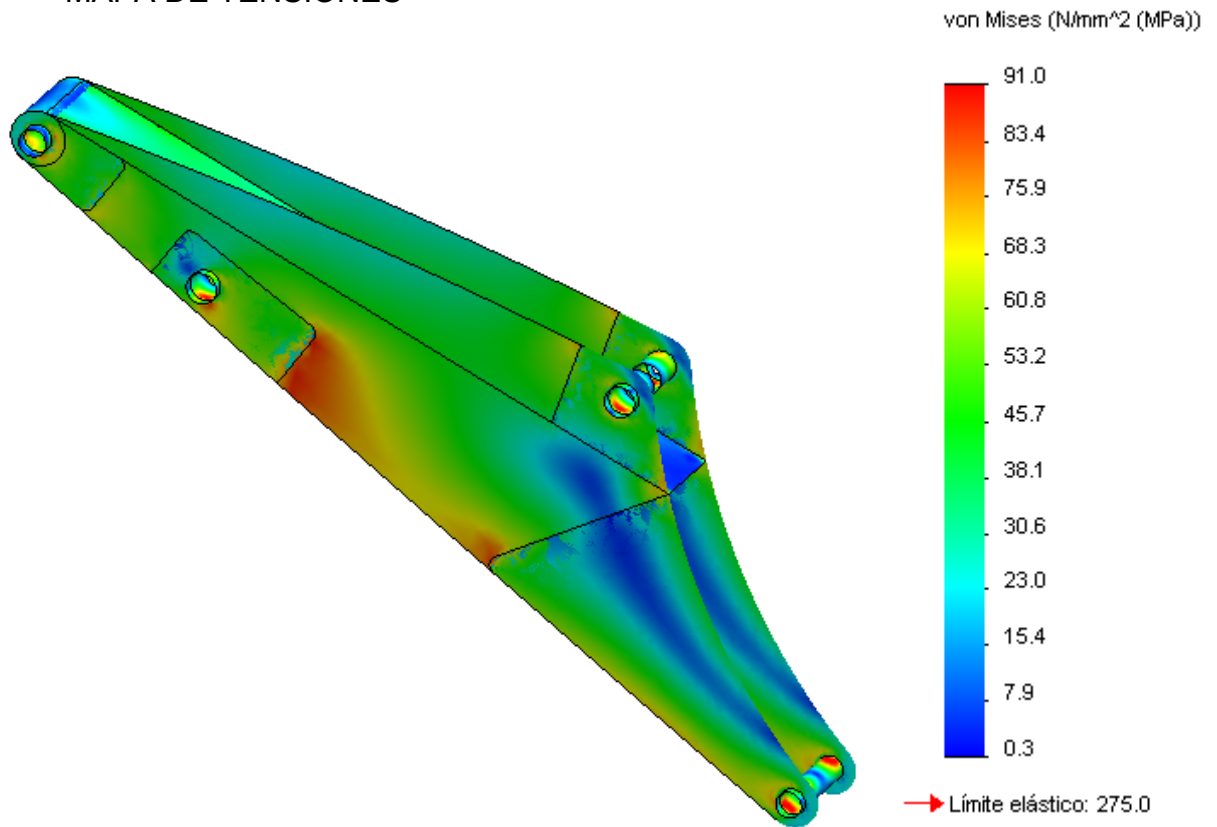


Figura 153 - Mapa de tensiones elemento HJKM

- DESPLAZAMIENTOS

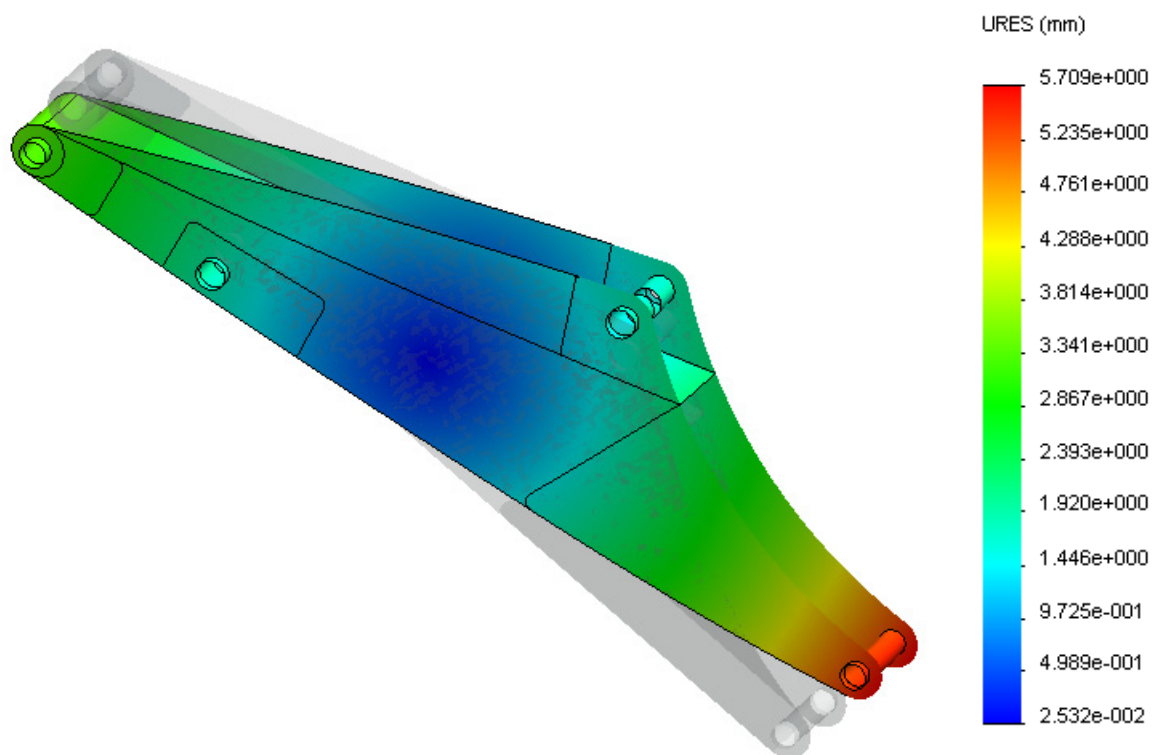


Figura 154 - Desplazamientos elemento HJKM

11. VERIFICACION ENSAMBLAJE

Una vez completado el diseño definitivo de todos los elementos de la retroexcavadora se ha realizado el ensamblaje de los diferentes elementos para mostrar como quedaría el montaje final de la retroexcavadora analizada.

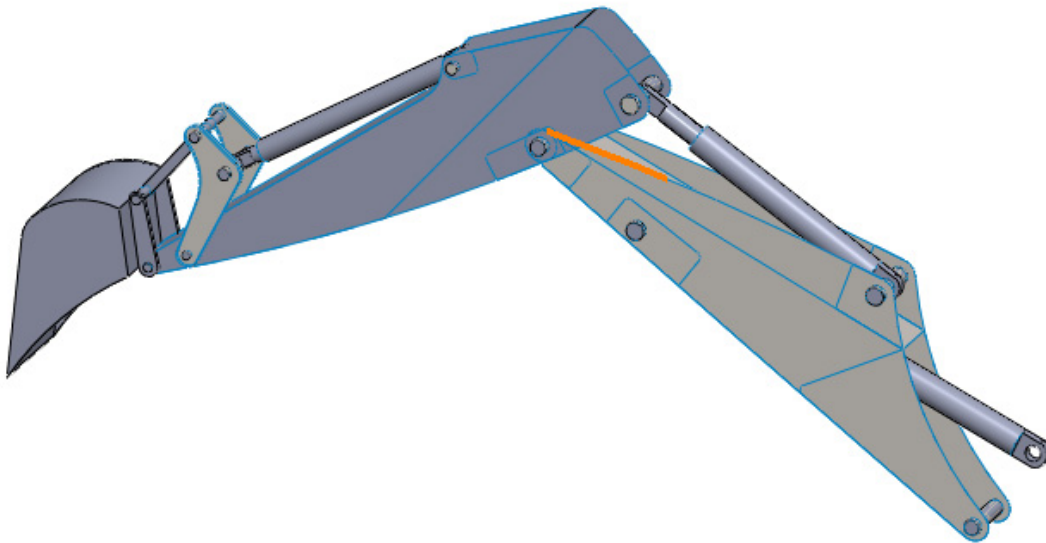


Figura 155 - Ensamblaje

En las siguientes imágenes se muestran diferentes posiciones de la retroexcavadora como detalle de diferentes zonas como por ejemplo la unión con el cazo también se ha realizado la explosión de los diferentes elementos analizados que componen la retroexcavadora.

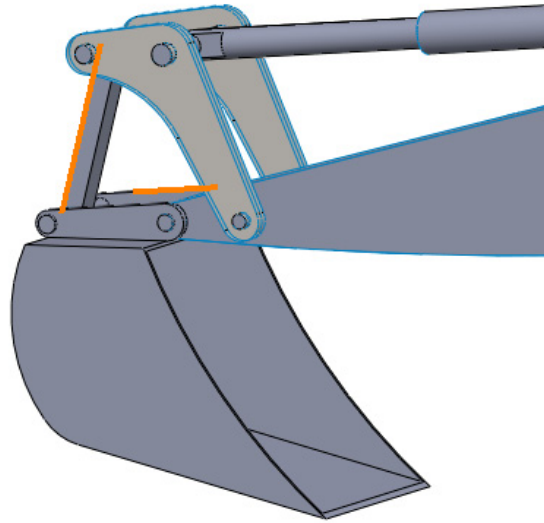


Figura 156 - Unión cazo

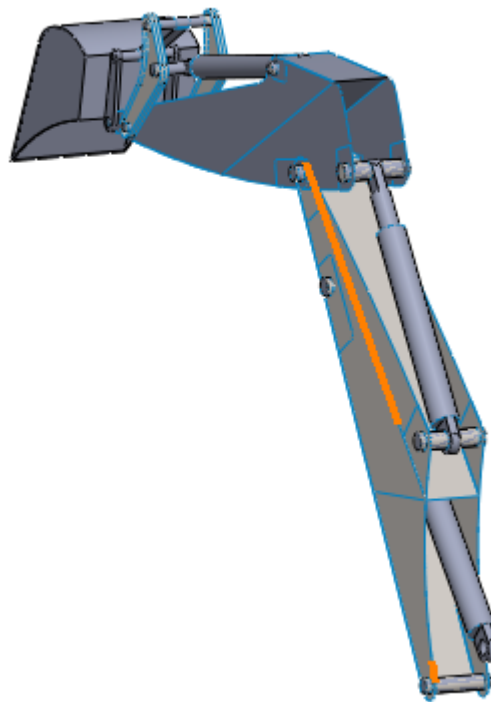


Figura 157 - Posición de ejemplo 1

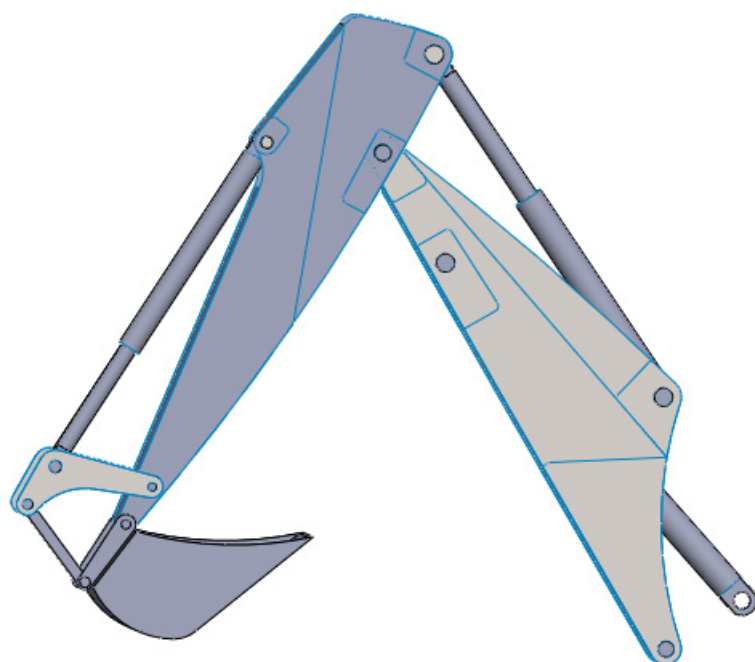


Figura 158 - Posición de ejemplo 2

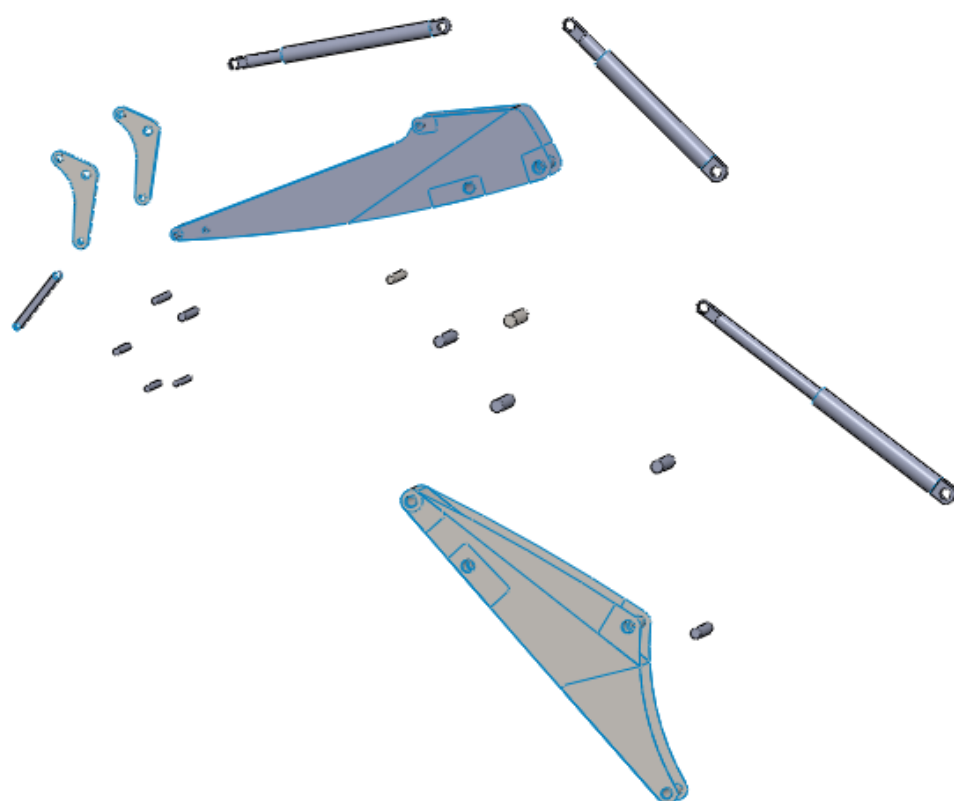


Figura 159 - Vista explosionada

12. CONCLUSIONES

Tras evaluar todo el proceso de diseño de la para trasera de la retroexcavadora se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- La utilización de bloques de los croquis de las diferentes partes móviles de la pala han permitido comprender mejor los movimientos que realiza esta por la geometría de sus partes facilitando el análisis de las posiciones de trabajo que puede aportar la pala.
- Las tablas Excel realizadas permiten reducir el tiempo de realización de los cálculos manuales si el número de las posiciones que se van a analizar es elevado, puesto que con medir ciertos ángulos definidos previamente se calculan los valores de las reacciones automáticamente.
- El estudio por medio de barras de SolidWorks permite calcular de forma rápida y sencilla los valores de los esfuerzos en cada elemento de la estructura, comprobando los esfuerzos axiales de los elementos que trabajan a tracción - compresión lo cual ha permitido comprobar los datos calculados teóricamente.
- El proceso de cálculo de esfuerzos por medio de barras de SolidWorks es mucho más eficaz que el estudio analítico por medio de Excel por el ahorro de tiempo que ello conlleva, a demás de esto se tiene mayor certeza que los datos obtenidos sean correctos, aun que hay que tener en cuenta los redondeos que aplica SolidWorks en estudio de barras.
- Mediante la modelización y estudio estático realizado con SolidWorks se ha podido realizar el diseño de las diferentes partes que componen la pala de una forma más eficaz y rápida al no tratarse de perfiles comerciales sino de chapas soldadas.



También ha permitido realizar cambios en el diseño para conseguir los requisitos necesarios de la forma más eficaz y utilizando la menor cantidad de material posible mediante la ejecución de diferentes simulaciones.

Tras completar el proceso de análisis el software ha demostrado que es una herramienta muy útil en el diseño de elementos estructurales puesto que permite realizar diseños, análisis de estos, modificaciones en los diseños iniciales con gran facilidad lo que permite un gran ahorro de recursos y por lo tanto económico.

13. BIBLIOGRAFÍA

13.1. PÁGINAS WEB Y CATÁLOGOS

13.1.1. EMPRESAS FABRICANTES DE RETROEXCABADORAS

- CASE <http://www.casece.com>
- CATERPILLAR <http://espana.cat.com/>
- JCB <http://www.jcb.com/>
- KOMATSU <http://www.komatsu.com/>
- NEW HOLLAND <http://europe.construction.newholland.com/?zone=3>

13.1.2. EMPRESAS FABRICANTES DE CILINDROS

- GUAL <http://www.glual.es/>
- REXROTH http://www.boschrexroth.es/country_units/europe/spain/es/index.jsp
- HEB <http://www.heb-zyl.com>

13.1.3. PERFILES COMERCIALES

- ACEROSBERGARA <http://www.acerosbergara.com/>
- PERFILES ARAGON <http://www.perfilesaragon.com/>
- CONDENSEA <http://www.condesa.com>

13.2. MANUALES Y LIBROS

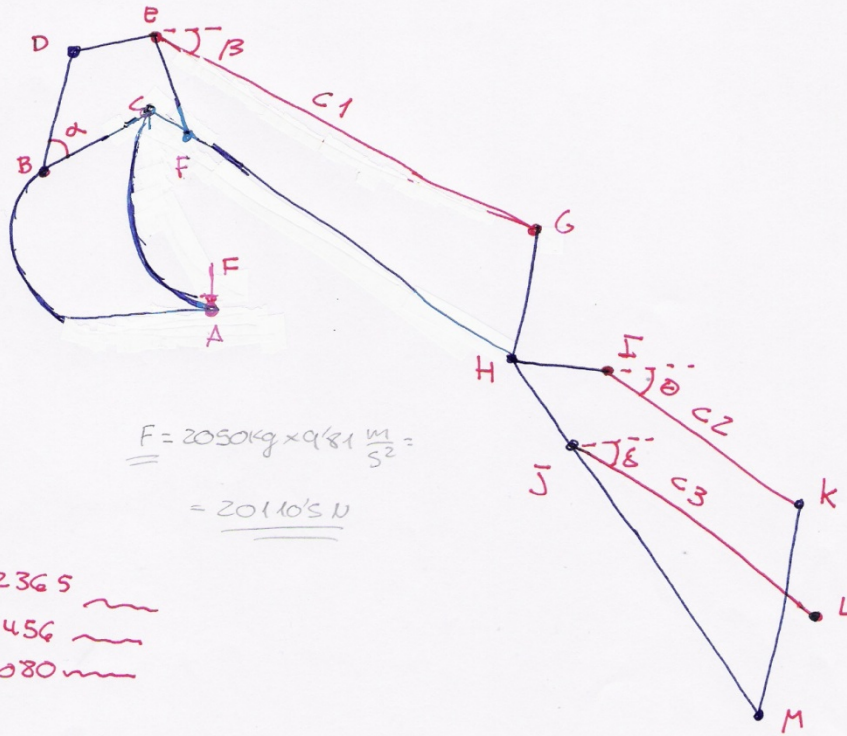
- APUNTES DE DISEÑO DE MAQUINAS
- AYUDA SOLID WORKS 2011

ANEXO I: CÁLCULO DE REACCIONES

MANUAL

RESOLUCION POSICION 4 CON NUMEROS

POSICION: totalmente extendido cargo recogido



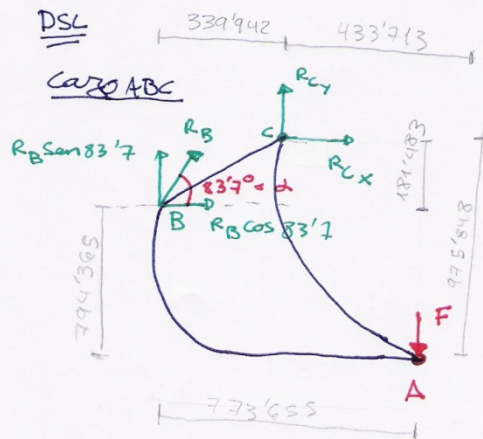
$$F = 2050 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} =$$

$$= 20110.5 \text{ N}$$

$$C_1 = 2365$$

$$C_2 = 2456$$

$$C_3 = 3080$$



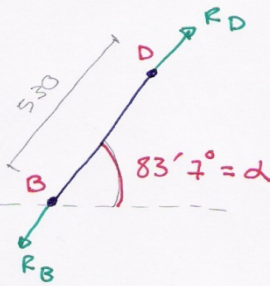
$$\sum F_x = 0 \quad R_B \cos 83.7^\circ + R_{Cx} = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0 \quad R_B \sin 83.7^\circ + R_{Cy} = F \quad (2)$$

$$\sum M_C = 0 \quad F \cdot 433.713 + R_B \sin 83.7^\circ \cdot 339.942 =$$

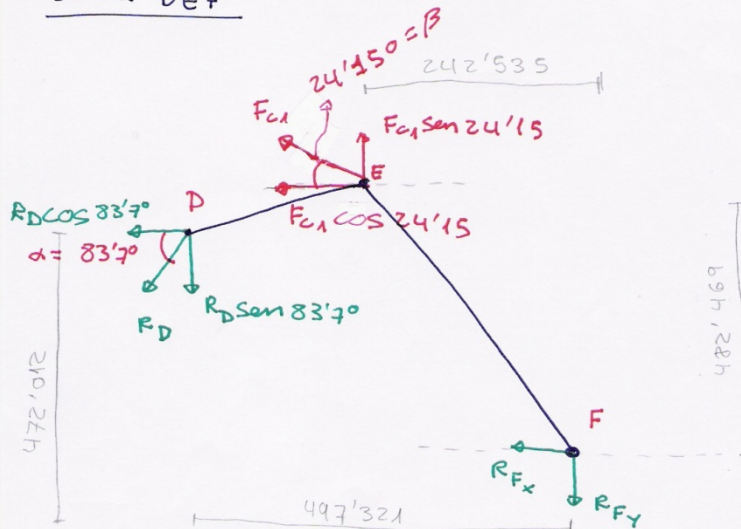
$$R_B \cos 83.7^\circ \cdot 181.483 \quad (3)$$

Barra DB



$$R_B = R_D \quad (4)$$

Barra DEF



$$\sum F_x = 0$$

$$R_D \cos 83'7 + F_{C1} \cos 24'15 + R_{Fx} = 0 \quad (5)$$

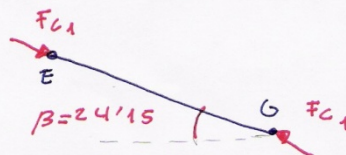
$$\sum F_y = 0$$

$$R_D \sin 83'7 + R_{Fy} = F_{C1} \sin 24'15 \quad (6)$$

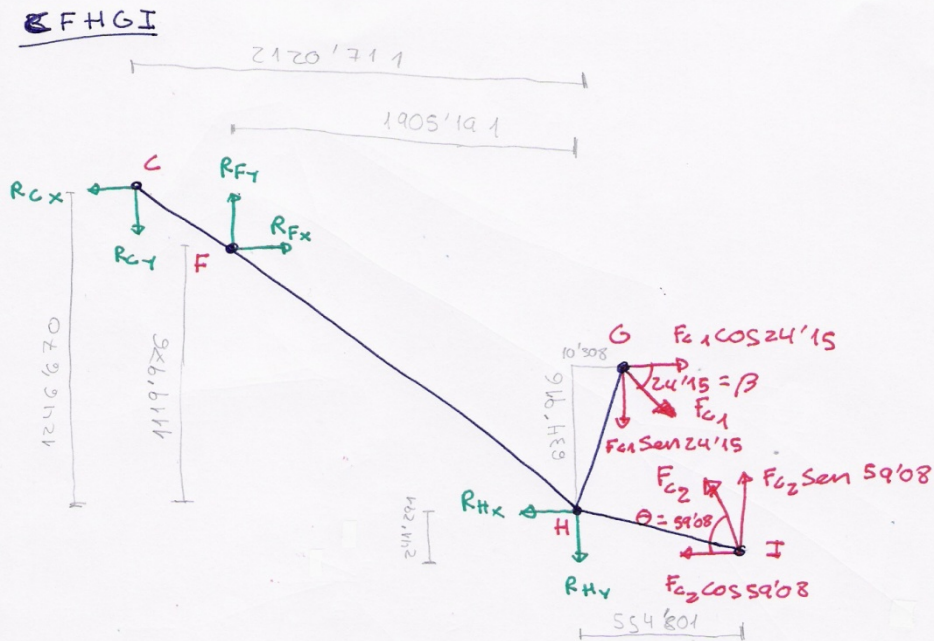
$$\sum M_F = 0$$

$$F_{C1} \sin 24'15 \cdot 2.42'535 = F_{C1} \cos 24'15 \cdot 4.82'469 + R_D \cos 83'7 \cdot 4.72'012 + R_D \sin 83'7 \cdot 4.97'321 \quad (7)$$

Cilindro 1



N-2

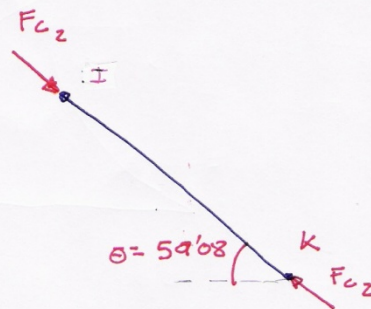


$$\sum F_x = 0 \quad R_{cx} + R_{hx} + F_{c2} \cos 59'08 = R_{fx} + F_{c1} \cos 24'15 \quad (8)$$

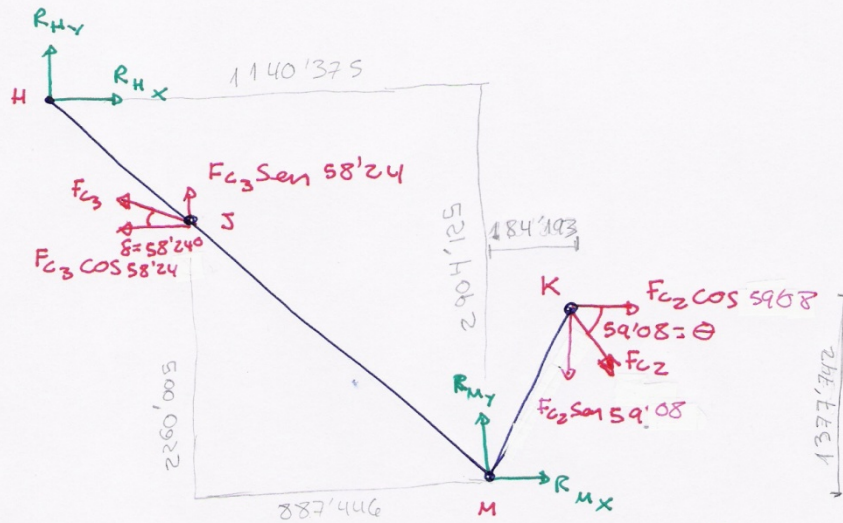
$$\sum F_y = 0 \quad R_{cy} + R_{hy} + F_{c1} \sin 24'15 = R_{fy} + F_{c2} \sin 59'08 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \sum M_H = 0 \quad & R_{cy} \cdot 2120'711 + R_{cx} \cdot 1246'670 + F_{c2} \sin 59'08 \cdot 554'801 = \\ & = R_{fy} \cdot 1905'191 + R_{fx} \cdot 1119'976 + F_{c1} \sin 24'15 \cdot 10'308 \\ & + F_{c1} \cos 24'15 \cdot 634'916 + F_{c2} \cos 59'08 \cdot 241'291 \quad (10) \end{aligned}$$

Cilindros



HJKM

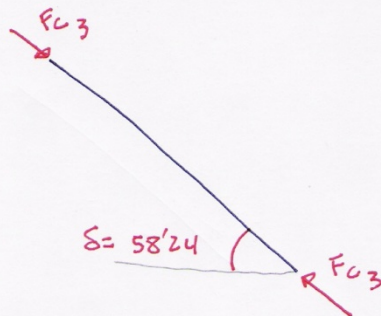


$$\sum F_x = 0 \quad R_{Hx} + F_{C2} \cos 59'08'' + R_{Mx} = F_{C3} \cos 58'24'' \quad (11)$$

$$\sum F_y = 0 \quad R_{Hy} + F_{C3} \sin 58'24'' + R_{My} = F_{C2} \sin 59'08'' \quad (12)$$

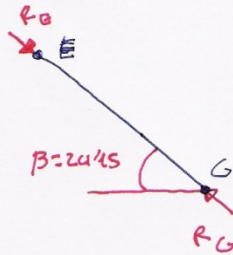
$$\begin{aligned} \sum M_M = 0 \quad & R_{Hy} \cdot 1140'375 + R_{Hx} \cdot 2904'125 + F_{C2} \cos 59'08'' \cdot 1377'742 + \\ & + F_{C2} \sin 59'08'' \cdot 184'193 = F_{C3} \cos 58'24'' \cdot 2260'005 + \\ & + F_{C3} \sin 58'24'' \cdot 887'446 \quad (13) \end{aligned}$$

Cilindro 3



N-4

Cilindro 1

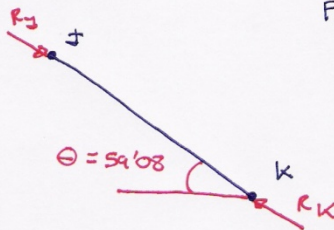


$$F_{G1} = R_E = R_G = 43928'21903 \text{ N}$$

$$R_{Ex} = F_{G1} \cos \beta = R_{Gx} = 40083'4367 \text{ N}$$

$$R_{Ey} = F_{G1} \sin \beta = R_{Gy} = 17972'1828 \text{ N}$$

Cilindro 2

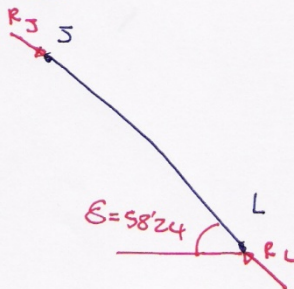


$$F_{L2} = R_J = R_K = -96380'64 \text{ N}$$

$$R_{Jx} = F_{L2} \cos \theta = R_{Kx} = -49520'3 \text{ N}$$

$$R_{Jy} = F_{L2} \sin \theta = R_{Ky} = -82683'56 \text{ N}$$

Cilindro 3



$$F_{L3} = R_J = R_L = -130707'3989 \text{ N}$$

$$R_{Jx} = F_{L3} \cos \delta = R_{Lx} = -68799'45105 \text{ N}$$

$$R_{Jy} = F_{L3} \sin \delta = R_{Ly} = -11135'3214 \text{ N}$$



RESOLUCION DE REACCIONES

ABC

$$\textcircled{3} F \cdot 433'713 + R_B \text{ Sen } 83'7 \cdot 339'942 = R_B \cos 83'7 \cdot 181'483$$

$$R_B = \frac{20110'5 \cdot 433'713}{(\cos 83'7 \cdot 181'483) - (\text{Sen } 83'7 \cdot 339'942)} = -27430'48429 \text{ N}$$

$$\textcircled{1} R_B \cos 83'7 + R_{Cx} = 0$$

$$R_{Cx} = -R_{Bx} = -R_B \cos 83'7 = 3010'0653 \text{ N}$$

$$\textcircled{2} R_B \text{ Sen } 83'7 + R_{Cy} = F$$

$$R_{Cy} = 20110'5 - R_{By} = 20110'5 - R_B \text{ Sen } 83'7 =$$

$$= 47375'83 \text{ N}$$

$$|R_C| = \sqrt{R_{Cx}^2 + R_{Cy}^2} = 47420'3 \text{ N}$$

DB

$$\textcircled{4} R_D = R_B = -27430'48429 \text{ N}$$

$$R_{Dx} = R_{Bx} = R_B \cos 83'7 = -3010'064 \text{ N}$$

$$R_{Dy} = R_{By} = R_B \text{ Sen } 83'7 = -27264'822 \text{ N}$$

DEF

$$\textcircled{7} F_{C1} \text{ Sen } 24'15 \cdot 242'535 = F_{C1} \cos 24'15 \cdot 482'469 + R_{Dx} \cos 83'7 + 472'012 + R_{Dy} \text{ Sen } 83'7 \cdot 497'321$$

$$F_{C1} = \frac{(R_{Dx} \cos 83'7 \cdot 472'012) + (R_{Dy} \text{ Sen } 83'7 \cdot 497'321)}{(\text{Sen } 24'15 \cdot 242'535) - (\cos 24'15 \cdot 482'469)} = 43928'21903 \text{ N}$$

$$F_{C1x} = R_{Ex} = F_{C1} \cos 24'15 = 40083'4367 \text{ N}$$

$$F_{C1y} = R_{Ey} = F_{C1} \text{ Sen } 24'15 = 17972'1828 \text{ N}$$

$$\textcircled{6} R_{Dy} \text{ Sen } 83'7 + R_{Fy} = F_{C1} \text{ Sen } 24'15$$

$$R_{Fy} = F_{C1} \text{ Sen } 24'15 - R_{Dy} \text{ Sen } 83'7 = 45237'04657 \text{ N}$$

$$\textcircled{5} R_{Dx} \cos 83'7 + F_{C1} \cos 24'15 + R_{Fx} = 0$$

$$R_{Fx} = -R_{Dx} \cos 83'7 - F_{C1} \cos 24'15 = -37073'446 \text{ N}$$

$$|R_F| = \sqrt{R_{Fx}^2 + R_{Fy}^2} = 58487'8686 \text{ N}$$



CFHGI

$$\begin{aligned} (16) \quad R_{Cy} \cdot 2120'711 + R_{Cx} \cdot 1246'670 + \underbrace{F_{C2} \text{ Sen } 59'08}_{R_{Iy}} \cdot 554'801 &= \\ = R_{Fy} \cdot 1905'191 + R_{Fx} \cdot 1119'976 + \underbrace{F_{C1} \text{ Sen } 24'15}_{R_{Ey}} \cdot 10'308 \\ + \underbrace{F_{C1} \text{ Cos } 24'15}_{R_{Ex}} \cdot 634'916 + \underbrace{F_{C2} \text{ Cos } 59'08}_{R_{Ix}} \cdot 241'291 \end{aligned}$$

$$\boxed{F_{C2} = \frac{R_{Fy} \cdot 1905'191 + R_{Fx} \cdot 1119'976 + F_{C1} \text{ Cos } 24'15 \cdot 634'916 + F_{C1} \text{ Sen } 24'15 \cdot 10'308}{(\text{Sen } 59'08 \cdot 554'801) - (\text{Cos } 59'08 \cdot 241'291)}}$$

$$\boxed{-R_{Cy} \cdot 2120'711 - R_{Cx} \cdot 1246'670 = -96380'64 \text{ N}}$$

$$R_I = F_{C2} = -96380'64 \text{ N}$$

$$\boxed{R_{Ix} = F_{C2} \text{ Cos } 59'08 = -49524'3 \text{ N}}$$

$$\boxed{R_{Iy} = F_{C2} \text{ Sen } 59'08 = -82683'56 \text{ N}}$$

$$(8) \quad R_{Cx} + R_{Hx} + \underbrace{F_{C2} \text{ Cos } 59'08}_{R_{Ix}} = R_{Fx} + \underbrace{F_{C1} \text{ Cos } 24'15}_{R_{Ex}}$$

$$\boxed{R_{Hx} = R_{Fx} + F_{C1} \text{ Cos } 24'15 - R_{Cx} - F_{C2} \text{ Cos } 59'08 = 49524'2995 \text{ N}}$$

$$(9) \quad R_{Cy} + R_{Hy} + \underbrace{F_{C1} \text{ Sen } 24'15}_{R_{Ey}} = R_{Fy} + \underbrace{F_{C2} \text{ Sen } 59'08}_{R_{Iy}}$$

$$\boxed{R_{Hy} = R_{Fy} + F_{C2} \text{ Sen } 59'08 - R_{Cy} - F_{C1} \text{ Sen } 24'15 = -102794'0622 \text{ N}}$$

$$\boxed{|R_H| = \sqrt{49524'2995^2 + (-102794'0622)^2} = 114102'0397 \text{ N}}$$

N-7



HJKM

$$\textcircled{13} \quad R_{Hy} \cdot 1140'375 + R_{Hx} \cdot 2904'125 + \underbrace{F_{C2} \cos 59'08}_{R_{Jx}} \cdot 1377'742 + \\ + \underbrace{F_{C2} \sin 59'08}_{R_{Jy}} \cdot 184'193 = \underbrace{F_{C3} \cos 58'24}_{R_{Jx}} \cdot 2260'005 - \underbrace{F_{C3} \sin 58'24}_{R_{Jy}} \cdot 887'446$$

$$\boxed{F_{C3}} = \frac{R_{Hy} \cdot 1140'375 + R_{Hx} \cdot 2904'125 + F_{C2} \cos 59'08 \cdot 1377'742 + F_{C2} \sin 59'08 \cdot 184'193}{(\cos 58'24 \cdot 2260'005 - \sin 58'24 \cdot 887'446)}$$

$$= -130707'3989 \text{ N}$$

$$\boxed{F_{C3}} = \boxed{R_J} = -130707'3989 \text{ N}$$

$$\boxed{R_{Jx}} = F_{C3} \cos 58'24 = -68799'4505 \text{ N}$$

$$\boxed{R_{Jy}} = F_{C3} \sin 58'24 = -111135'3214 \text{ N}$$

$$\textcircled{11} \quad R_{Hx} + \underbrace{F_{C2} \cos 59'08}_{R_{Jx}} + R_{Mx} = \underbrace{F_{C3} \cos 58'24}_{R_{Jx}}$$

$$\boxed{R_{Mx}} = F_{C3} \cos 58'24 - R_{Hx} - F_{C2} \cos 59'08 = -68799'45097 \text{ N}$$

$$\textcircled{12} \quad R_{Hy} + \underbrace{F_{C3} \sin 58'24}_{R_{Jy}} + R_{My} = \underbrace{F_{C2} \sin 59'08}_{R_{Jy}}$$

$$\boxed{R_{My}} = F_{C2} \sin 59'08 - R_{Hy} - F_{C3} \sin 58'24 = 131'245'821 \text{ N}$$

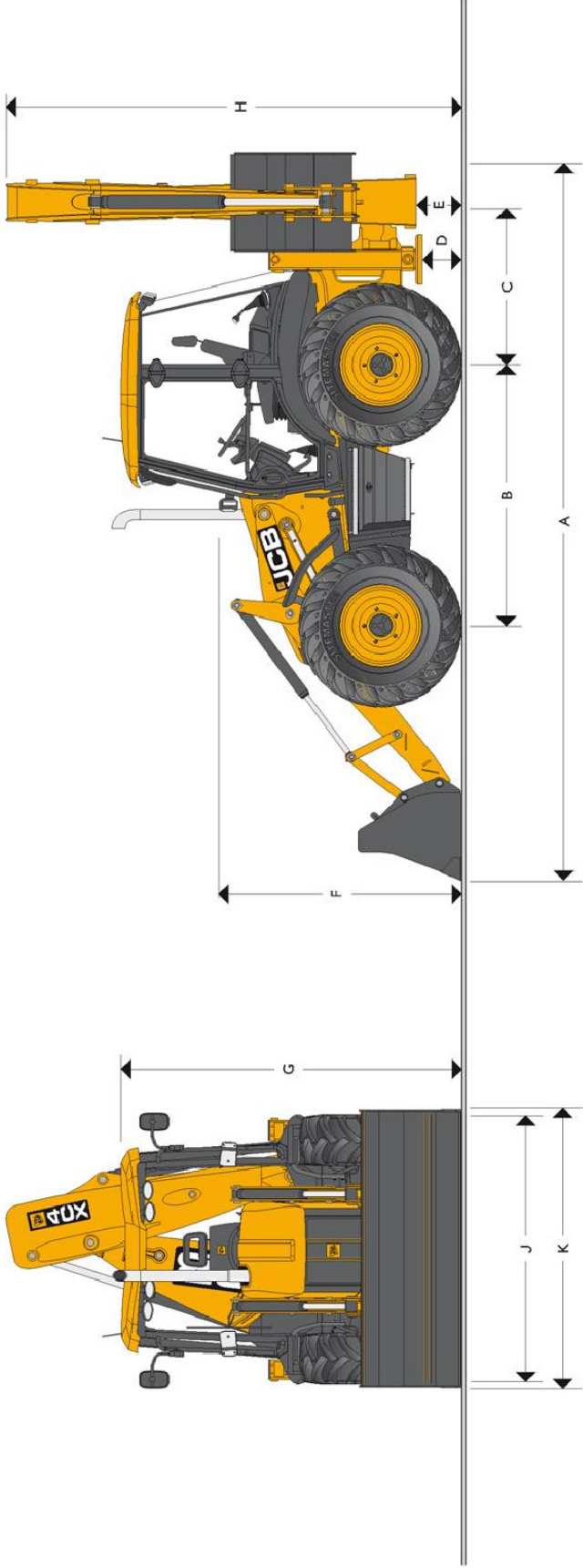
$$\boxed{R_M} = \sqrt{R_{Mx}^2 + R_{My}^2} = 148185'1207 \text{ N}$$

ANEXOII: CATALOGO RETROEXCAVADORA JCB 4CX



RETROCARGADORA MIXTA|4CX

POTENCIA: 74,2kW (100hp) PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN: 4,67 m. CAPACIDAD CUCHARA: 1,0 m³



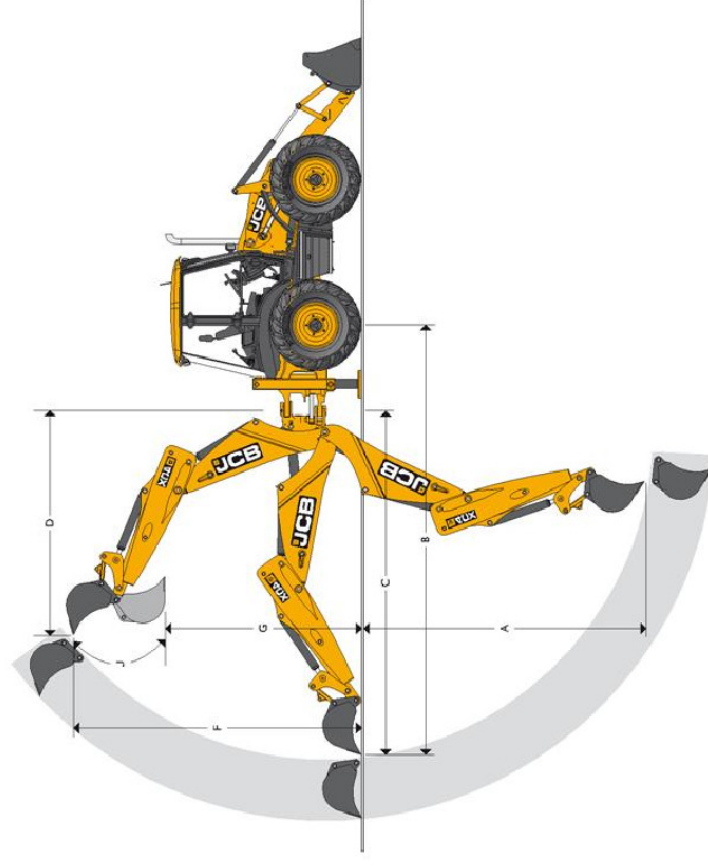
DIMENSIONES ESTATICAS

Modelo	4CX	Modelo	4CX
A Longitud	5,91	H Altura total	m
B Batalla	2,22	J Anchura del bastidor	3,54
C Voladizo trasero	1,36	K Anchura cuchara usos generales/almeja	2,33
D Altura libre	0,34		2,35
E Despeje a kingpost	0,5		
F Altura al volante	1,88		
G Altura de cabina	2,84		



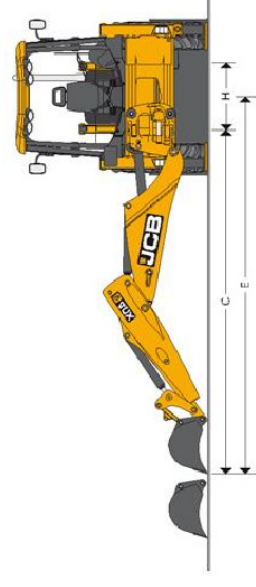
DIMENSIONES DE LA RETRO

Modelo	4CX	4CX Super
	m	m
A Profundidad de excavación SAE	Ext	5,53
	Ret	4,32
	Ext	5,50
Superficie plana de 66cm SAE	Ret	4,29
	Ext	5,88
Profundidad máxima de excavación	Ret	4,67
	Ext	7,88
B Alcance desde el suelo al centro de la rueda trasera	Ret	6,74
	Ext	6,54
C Alcance desde el suelo al centro de giro	Ret	5,40
	Ext	3,75
D Alcance desde altura total al centro de giro	Ret	2,82
	Ext	7,16
E Alcance lateral al centro de la máquina	Ret	6,02
	Ext	6,26
F Altura operativa SAE	Ret	5,45
	Ext	4,73
G Altura máxima de descarga	Ret	3,84
	Ext	4,28
H Altura de descarga SAE	Ret	3,39
	Ext	1,16 + 1,05
H Desplazamiento total del kingpost		1,16
J Rotación del cazo	Velocidad	201°



PRESTACIONES DE LA RETRO

	4CX	4CX Super
	Balancin normal	Balancin extensible
	Kg	Kg
Fuerza de arranque del cazo	Velocidad	5431
	Potencia	6324
Fuerza de arranque balancin	Ext	2729
	Ret	3903
Capacidad de carga extendido total	Ext	1082
	Ret	1885



ANEXO III: CATALOGO CILINDROS





PANDEO

Los cálculos para pandeo son realizados utilizando las siguientes fórmulas:

1. Cálculo según Euler

$$F = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{S \cdot L_k^2} \quad \text{si } \lambda > \lambda_g$$

2. Cálculo según Tetmajer

$$F = \frac{d^2 \cdot \pi(315 - \lambda)}{4 \cdot S} \quad \text{si } \lambda \leq \lambda_g$$

Explicación:

E = Módulo de elasticidad en N/mm² - 2,1x10⁵ para acero

I = Momento de inercia en mm⁴ para una sección circular

$$= \frac{d^4 \cdot \pi}{64} = 0,0491 \cdot d^4$$

S = 3,5 (Coeficiente de seguridad)

L_k = Longitud libre de pandeo en mm (dependiendo del tipo de fijación, ver figuras 1,2,3 de la página 44).

d = Ø del vástago en mm

λ = Grado de esbeltez

$$= \frac{4 \cdot L_k}{d} \quad \lambda_g = \pi \sqrt{\frac{E}{\delta_{0,2}}}$$

δ_{0,2} = Límite elástico del material del vástago.

Ejemplo:

Se busca un cilindro de la serie KP ejecución S con rótula en ambos extremos para una fuerza de empuje F de 1040 kN (106080 kp) a una presión de funcionamiento de 225 bar. La longitud de carrera debe ser 950 mm.

Una primera estimación de la longitud libre de pandeo L_k proporciona:

L_k = L = 2x longitud de carrera = 1900 mm (ver página 44 fig. 2)

El gráfico (página 44) nos muestra que un Ø del vástago de 180 mm es suficiente.

Basándose en la zona requerida A_{1 req}, La tabla de elección de la página 45 indica un Ø del pistón de 250 mm.

A_{1 req} = F/p = 106080 kp/225 bar

A_{1 req} = 471,5 cm² (condición: A_{1 req} < A₁)

La longitud libre de pandeo puede ser determinada de las tablas de dimensiones de la página 63 (tipo de fijación S) y página 67 (cabeza de rótula 220 KZ 046) de la siguiente manera:

L_k = L, es decir, la distancia entre las rótulas con el vástago extendido.

L_k = XO + carrera + carrera + CH

L_k = 825 + 950 + 950 + 260 = 2985 mm.

El gráfico de la página 44 indica que el Ø del vástago seleccionado de 180 mm es suficiente para la fuerza del empuje requerido.

BUCKLING

Calculations for buckling are carried out using the following formulas:

1 - Calculation according to Euler

$$F = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{S \cdot L_k^2} \quad \text{if } \lambda > \lambda_g$$

2 - Calculation according to Tetmajer

$$F = \frac{d^2 \cdot \pi(315 - \lambda)}{4 \cdot S} \quad \text{if } \lambda \leq \lambda_g$$

Explanation:

E = Modulus of elasticity in N/mm² - 2,1 x 10⁵ for steel

I = Moment of inertia in mm⁴ for circular cross-sectional area

$$= \frac{d^4 \cdot \pi}{64} = 0,0491 \cdot d^4$$

S = 3,5 (safety factor)

L_k = Free buckling length in mm (depending on mounting type, see sketches 1,2,3, on page 44).

d = Piston rod Ø in mm

λ = Slenderness ratio

$$= \frac{4 \cdot L_k}{d} \quad \lambda_g = \pi \sqrt{\frac{E}{\delta_{0,2}}}$$

δ_{0,2} = Yield strength of the piston rod material

Example:

Cylinder of serie KP... is to be calculated with plain bearings on both ends for a pushing force F of 1040 kN (106080 Kp) at an operating pressure of 225 bar.

The stroke length is to be 950 mm. A first estimation of the free buckling length L_k provides:

L_k = L = 2 x stroke length = 1900 mm (see page 44 fig. 2)

The diagram (page 44) shows that a piston rod Ø of 180 mm is sufficient.

On the basis of the required area A_{1 req}, the selection table on page 45 indicates an associated piston Ø of 250 mm.

A_{1 req} = F/p = 106080 kp/225 bar

A_{1 req} = 471,5 cm² (condition: A_{1 req} < A₁)

The actual free buckling length can now be determined from the dimension tables on page 63 (mounting type S) and page 67

(self-aligning clevis 220 KZ 046) as follows.

L_k = L, i.e. the distance between the bearings with the piston rod being extended.

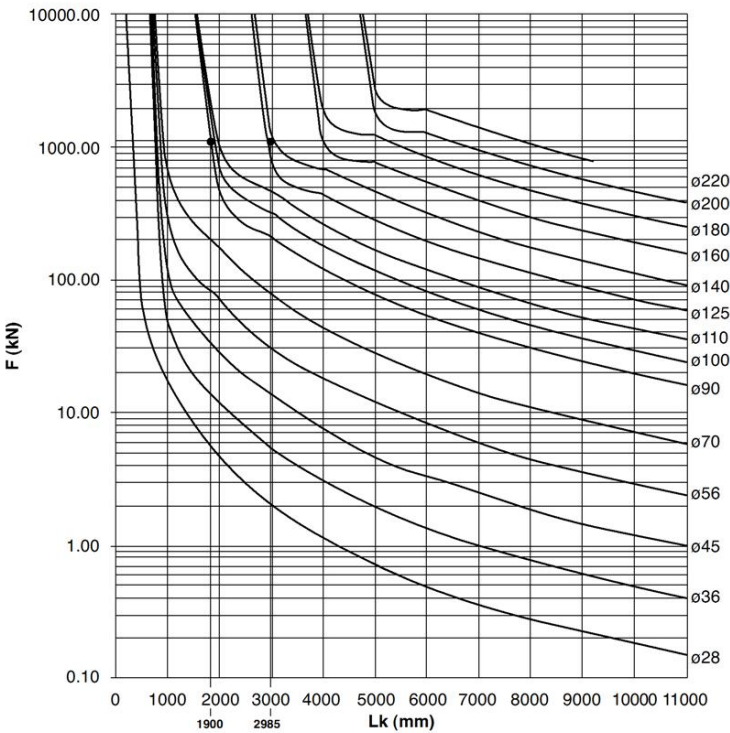
L_k = XO + stroke length + stroke length + CH

L_k = 825 + 950 + 950 + 260 = 2985 mm.

The diagram on page 44 shows that the selected piston rod Ø of 180 mm is sufficient and that the required pushing force can be provided.



Buckling, diagram	Knickung, Diagramm	Flambage, diagramme	Pandeo, gráfico
Dimensioning diagram: Piston rod Ø: 28 to 220 mm Safety factor = 3,5 Piston rod without radial loading	Auslegungsdiagramm: Kolbenstangen-Ø: 28 bis 220 mm. Sicherheitsfaktor = 3,5 Kolbenstange ohne Querkraftbelastung	Diagramme de dimensionnement: Ø de la tige: 28 à 220 mm Coefficient de sécurité = 3,5 Tige sans charge radiale	Gráfico de dimensiones Ø del vástago: 28 a 220 mm Coeficiente de seguridad = 3,5 Vástago sin cargas radiales

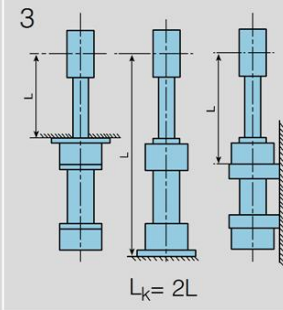
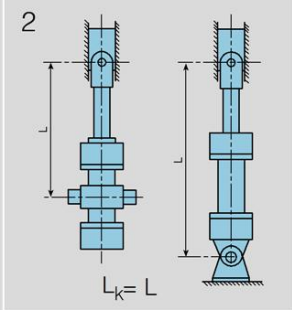
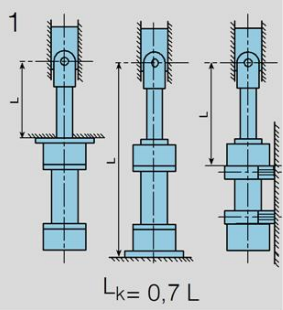


Influence of the mounting type
on the buckling length:

Einfluß der Befestigungsart
auf die Knicklänge:

Influence du mode de fixation
sur la longueur de flambage:

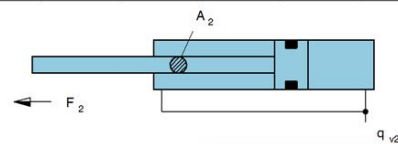
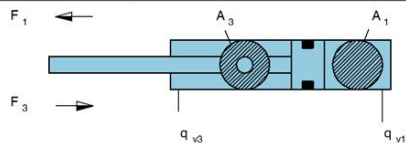
Influencia del tipo de fijación
sobre la longitud de pandeo:



Areas, forces, flow
Flächen, Kräfte, Volumenstrom
Sections, forces, débit

SECCIÓN, FUERZA, CAUDAL

Bore	Rod	Área ratio	Bore	Areas Rod	Annulus	Force at 350 bar ¹⁻			Flow at 0,1 m/s ²⁻		
Kolben	Kolbenstange	Flächenverhältnis	Kolben	Flächen Stange	Ring.	Push	Regen.	Pull	Out	Regen.	In
Alesage	Tige	Rapport de section	Alesage	Sections Tige	Annulaire	Poussée	Diff.	Traction	Sortie	Diff.	Entrée
Pistón	Vástago	Relación secciones	Pistón	Sección Vástago	Anular	Fuerza a 350 bar ¹⁻			Caudal a 0,1 m/s ²⁻		
AL Ø mm	MM Ø mm	Ø A1/A3	A ₁ cm ²	A ₂ cm ²	A ₃ cm ²	Empuje F ₁ kN	Diferencial F ₂ kN	Tracción F ₃ kN	Salida q _{v1} l/min	Diferencial q _{v2} l/min	Entrada q _{v3} l/min
40	28	1,96	12,57	6,16	6,41	43,13	21,13	21,99	7,54	3,69	3,85
50	36	2,08	19,63	10,18	9,45	67,35	34,93	32,43	11,78	6,11	5,67
63	45	2,04	31,17	15,90	15,27	106,95	54,55	52,37	18,70	9,54	9,16
80	56	1,96	50,27	24,63	25,64	172,49	84,51	87,93	30,16	14,78	15,38
100	70	1,96	78,54	38,48	40,06	269,59	132,03	137,46	47,12	23,09	24,03
125	90	2,08	122,72	63,62	59,10	421,09	218,30	202,72	73,63	38,17	35,46
140	100	2,04	153,94	78,54	75,40	528,22	269,50	258,62	92,36	47,12	45,24
160	110	1,90	201,06	95,03	106,03	689,91	326,08	363,68	120,64	57,02	63,62
180	125	1,93	254,47	122,72	131,75	873,18	421,09	451,90	152,68	73,63	79,05
200	140	1,96	314,16	153,94	160,22	1078,00	528,22	549,56	188,50	92,36	96,13
220	160	2,12	380,13	201,06	179,07	1304,36	689,91	614,21	228,08	120,64	107,44
250	180	2,08	490,87	254,47	236,40	1684,35	873,18	810,87	294,52	152,68	141,84
280	200	2,04	615,75	314,16	301,59	2112,86	1078,00	1034,46	369,45	188,50	180,96
320	220	1,90	804,25	380,13	424,12	2759,68	1304,36	1454,71	482,55	228,08	254,47



Notes:

1- Theoretical force (without consideration of efficiency).
2- Stroke velocity.
1MPa = 10 bar
1kN = 102 kp

Bemerkungen:

1- Theoretische Kraft (ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades).
2- Hubgeschwindigkeit.
1MPa = 10 bar
1kN = 102 kp

Remarques:

1- Force théorique (le rendement n'est pris en considération).
2- Vitesse de la tige.
1MPa = 10 bar
1kN = 102 kp

Notas:

1- Fuerza teórica (el rendimiento no está considerado).
2- Velocidad del vástago.
1MPa = 10 bar
1kN = 102 kp

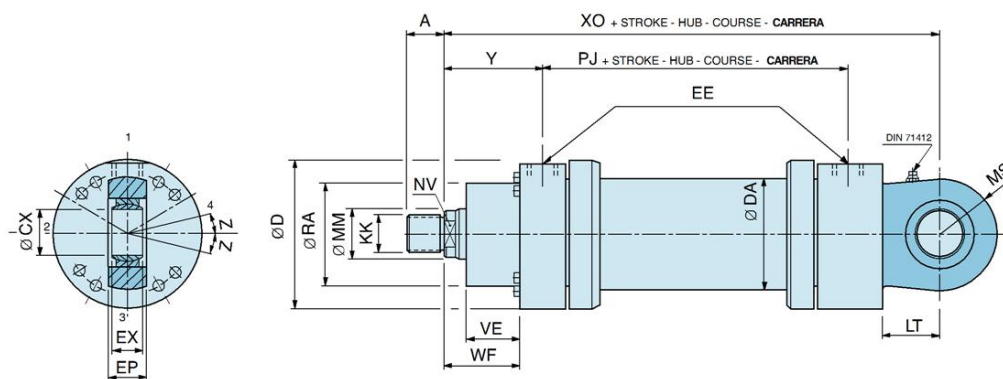
GLUAL
HIDRAULICA

KP
ISO 3320
DIN 24334

S
ISO MP 5

Spherical eye mounting
Gelenkauge am Zylinderboden
Tenon à rotule sur le fond
CHARNELA CON RÓTULA

Nominal pressure
Nenndruck
Pression nominale
Presión nominal **350 bar**



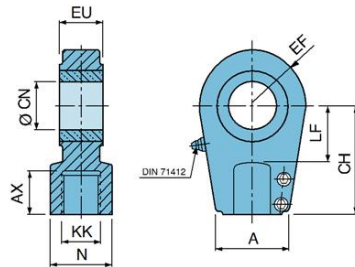
Location of cushioning-screws, side 2 * Lage der Dämpfungsschrauben, Seite 2 * Position des vis de réglage d'amortissement, face 2 * Posición regulador amortiguación, lado 2

	40	50	63	80	100	125	140	160	180	200	220	250	280	320
MM	28	36	45	56	70	90	100	110	125	140	160	180	200	220
A	1 22	28	35	45	58	65	80	100	110	120	120	130	—	—
2	35	45	55	75	95	110	120	140	150	160	160	190	200	220
3	28	36	45	56	63	75	85	90	95	105	105	112	125	160
RA _{in}	52	70	88	98	120	150	170	200	230	250	275	320	335	350
CX	30 _{-0.010}	35 _{-0.012}	40 _{-0.012}	50 _{-0.012}	60 _{-0.015}	70 _{-0.015}	80 _{-0.015}	90 _{-0.020}	100 _{-0.020}	110 _{-0.020}	110 _{-0.020}	120 _{-0.020}	140 _{-0.025}	160 _{-0.025}
DA	55	65	78	100	125	165	180	203	236	254	295	324	368	406
D	92	108	140	148	186	235	258	292	325	350	375	440	460	490
EE	G 1/2"G	1/2"G	3/4"G	3/4"G	1"G	1 1/4"G	1 1/4"G	1 1/2"G	1 1/2"G	1 1/2"G	1 1/2"G	1 1/2"G	1 1/2"G	1 1/2"G
M	M22x1,5	M22x1,5	M27x2	M27x2	M33x2	M42x2	M42x2	M48x2	M48x2	M48x2	M48x2	M48x2	M48x2	M48x2
EP-0,4	28	30	35	40	50	55	60	65	70	80	80	90	100	110
EX	22 _{-0.12}	25 _{-0.12}	28 _{-0.12}	35 _{-0.12}	44 _{-0.15}	49 _{-0.15}	55 _{-0.15}	60 _{-0.20}	70 _{-0.20}	70 _{-0.20}	70 _{-0.20}	85 _{-0.20}	90 _{-0.25}	105 _{-0.25}
KK	1 M22x1,5	M28x1,5	M35x1,5	M45x1,5	M58x1,5	M65x1,5	M80x2	M100x2	M110x2	M120x3	M120x3	M130x3	—	—
2	M24x2	M30x2	M39x3	M50x3	M64x3	M80x3	M90x3	M100x3	M110x4	M120x4	M120x4	M150x4	M160x4	M180x4
3	M20x1,5	M27x2	M33x2	M42x2	M48x2	M56x2	M64x3	M72x3	M80x3	M90x3	M90x3	M100x3	M125x4	M160x4
LT	35	45	50	55	65	75	80	90	105	115	115	140	170	200
MS	36	42	52	65	70	82	95	113	125	142,5	142,5	180	200	250
NV	22	30	36	46	60	75	85	95	110	120	140	160	180	200
PJ	120	120	133	146	171	205	219	240	264	278	326	336	366	391
VE	45	47	43	53	55	68	75	90	100	110	125	135	150	165
WF	63	65	65	75	80	100	110	130	145	155	165	175	190	205
XO	268	280	330	355	390	495	530	600	665	710	760	825	895	965
Y	91	90	117	124	119	170	186	210	241	262	262	272	282	287
Z	6°	6°	7°	6°	6°	6°	6°	5°	7°	6°	6°	6°	7°	8°

GLUAL
HIDRAULICA

Mounting parts for hydraulic cylinders
Befestigungsteile für Hydraulik-Zylinder
Pièces de fixation pour vérins hydrauliques
ACCESORIOS PARA CILINDROS HIDRÁULICOS

KP
ISO 8133

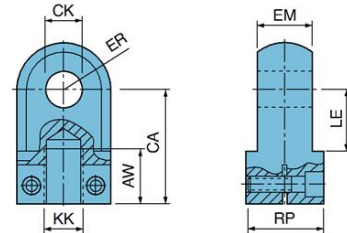


Plain Rod Eye
Schwenkköpfe

Chape mâle
Arrastrador macho

Part. No.	KK	A	AX	CH	CN H11	EF	EU -0,4	LF	N
40 KM 140	M16 x 1,5	41	17	50	25	30	23	25	25
50 KM 140	M22 x 1,5	46	23	60	30	34	28	30	32
63 KM 140	M28 x 1,5	58	29	70	35	42	30	38	40
80 KM 140	M35 x 1,5	66	36	85	40	50	35	45	49
100 KM 140	M45 x 1,5	88	46	105	50	63	40	55	61
125 KM 140	M58 x 1,5	90	59	130	60	70	50	65	75
140 KM 140	M65 x 1,5	100	66	150	70	82	55	75	86
160 KM 140	M80 x 2	125	81	170	80	95	60	80	102
180 KM 140	M100 x 2	146	101	210	90	113	65	90	124
200 KM 140	M110 x 2	166	111	235	100	125	70	105	138
220 KM 140	M120 x 3	190	125	265	110	142,5	80	115	152
280 KM 140	M130 x 3	217	135	310	120	180	90	140	172

ISO 8133

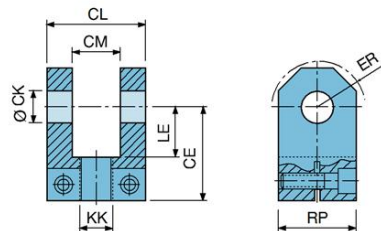


Plain Rod Eye
Schwenkköpfe

Chape mâle
Arrastrador macho

Part. No.	KK	AW	CA J513	CK H19	EM h13	ER	LE	RP
40 KI 1142	M14 x 1,5	19	38	14	20	17	20	30
50 KI 1142	M16 x 1,5	23	54	20	30	24	33	35
63 KI 1142	M20 x 1,5	29	60	20	30	24	33	40
80 KI 1142	M27 x 2	37	75	28	40	31	40	50
100 KI 1142	M33 x 2	46	99	36	50	41	55	60
125 KI 1142	M42 x 2	57	113	45	60	48	58	80
160 KI 1142	M48 x 2	64	126	56	70	58	64	90
140 KZ 050	M56 x 2	76	150	70	75	64	74	100
200 KI 1142	M64 x 3	86	168	70	80	73	84	110
180 KZ 050	M72 x 3	86	180	90	85	85	90	120
200 KZ 050	M80 x 3	96	195	100	90	95	100	125

ISO 8133

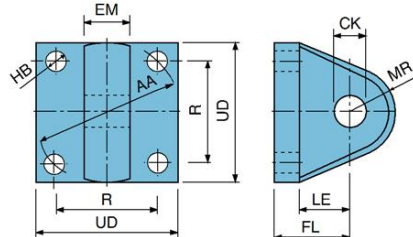


Rod Clevis
Schwenkköpfe

Chape femelle
Horquilla

Part. No.	KK	CE J513	CK H9	CL h13	CM A16	ER	LE	RP
40 KI 1141	M14 x 1,5	38	14	42	20	17	20	30
50 KI 1141	M16 x 1,5	54	20	62	30	29	33	50
63 KI 1141	M20 x 1,5	60	20	62	30	29	33	50
80 KI 1141	M27 x 2	75	28	83	40	34	40	62
100 KI 1141	M33 x 2	99	36	103	50	50	55	85
125 KI 1141	M42 x 2	113	45	123	60	53	58	90
160 KI 1141	M48 x 2	126	56	143	70	59	64	112
140 KZ 049	M56 x 2	150	70	150	75	64	74	128
200 KI 1141	M64 x 3	168	70	163	80	78	84	140
180 KZ 049	M72 x 3	180	90	169	85	85	90	170
200 KZ 049	M80 x 3	195	100	180	90	95	100	190

ISO 8133

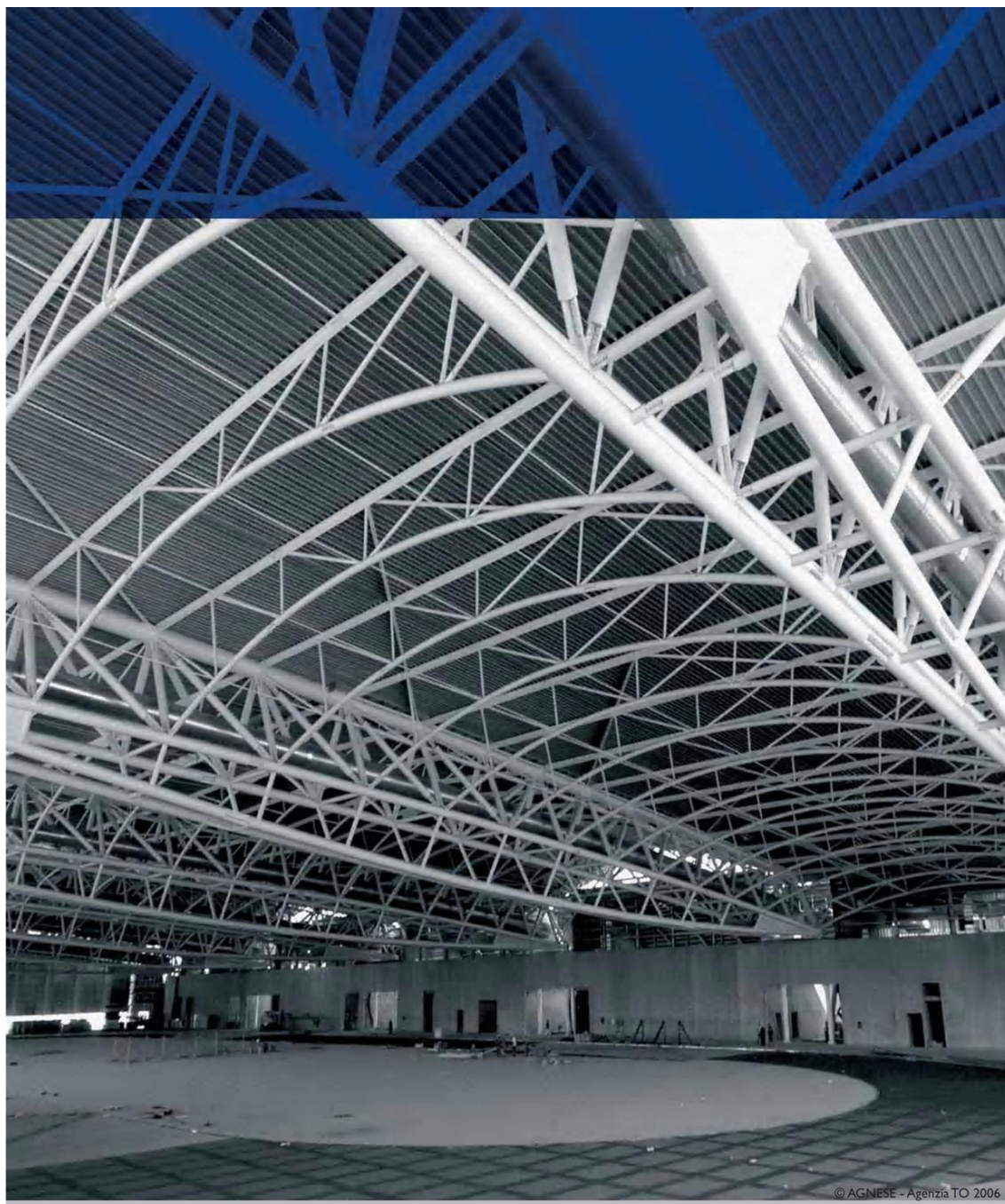


Eye Bracket
Schwenkauge-Montageplatte

Support mâle
Charnela macho

Part. No.	AA	CK H9	EM h13	FL J514	HB H13	LE	MR	R J514	UD
40 KI 1143	59	14	20	29	9	20	17	41,7	65
50 KI 1143	74	20	30	48	13,5	33	25	52,3	75
63 KI 1143	91	20	30	48	13,5	33	28	64,3	90
80 KI 1143	117	28	40	59	17,5	40	33	82,7	115
100 KI 1143	137	36	50	79	17,5	55	45	96,9	130
125 KI 1143	178	45	60	87	24	58	52	125,9	165
160 KI 1143	219	56	70	103	30	64	59	154,9	205
140 KZ 051	230	70	75	116	33	74	64	162,6	220
200 KI 1143	269	70	80	132	33	84	75	190,2	240
180 KZ 051	270	90	85	140	35	90	85	190,9	260
200 KZ 051	280	100	90	150	35	100	90	197,9	280

ANEXO IV: CATALOGO PERFILES



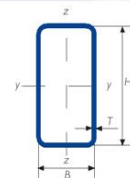
© AGNESE - Agenzia TO 2006



CONDESA
GRUPO

Tubo Estructural

Gama de producto: FRÍO



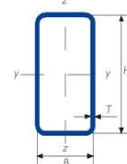
Gama perfil tubular en frío - rectangular

DIMENSION ESPECÍFICA DE LADOS		ESPESOR ESPECÍFICO	MASA LINEAL	ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	MOMENTO DE INERCIA		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELÁSTICO		MÓDULO PLÁSTICO		MOMENTO DE INERCIA DE TORSIÓN	MÓDULO DE TORSIÓN	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	ÁREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	I_{xx}	I_{yy}	i_{xx}	i_{yy}	W_{elxx}	W_{elyy}	W_{plxx}	W_{plyy}	I_t	C_t	A_s	m	A_{se}
60	40	2.5	3.60	4.59	22.1	11.7	2.19	1.60	7.36	5.87	9.06	6.84	25.1	9.72	0.191	278	417
60	40	3	4.25	5.41	25.4	13.4	2.17	1.58	8.46	6.72	10.5	7.94	29.3	11.2	0.190	236	351
60	40	4	5.45	6.95	31.0	16.3	2.11	1.53	10.3	8.14	13.2	9.89	36.7	13.7	0.186	183	268
60	40	5	6.56	8.36	35.3	18.4	2.06	1.48	11.8	9.21	15.4	11.5	42.8	15.6	0.183	152	219
60	40	6	7.56	9.63	38.5	19.9	2.00	1.44	12.8	9.97	17.2	12.8	47.8	17.1	0.179	132	186
60	40	6.3	7.57	9.65	36.2	19.0	1.94	1.40	12.1	9.48	16.6	12.5	47.3	16.8	0.173	132	179
60	45	1.5	2.36	3.00	15.7	10.1	2.28	1.83	5.22	4.48	6.21	5.11	19.4	7.20	0.205	424	682
60	45	2	3.09	3.94	20.1	12.9	2.26	1.81	6.70	5.73	8.05	6.61	25.2	9.23	0.203	324	516
60	45	2.5	3.80	4.84	24.1	15.4	2.23	1.79	8.05	6.87	9.77	8.02	30.6	11.1	0.201	263	416
60	45	3	4.48	5.71	27.8	17.8	2.21	1.76	9.27	7.89	11.4	9.33	35.8	12.8	0.200	223	350
60	48	2	3.18	4.06	21.1	15.0	2.28	1.92	7.03	6.24	8.40	7.21	28.0	9.91	0.209	314	515
60	50	1.5	2.47	3.15	17.0	12.8	2.32	2.02	5.65	5.13	6.65	5.88	22.9	8.06	0.215	404	682
60	50	2	3.25	4.14	21.8	16.5	2.29	1.99	7.26	6.58	8.63	7.62	29.9	10.4	0.213	308	515
60	50	2.5	3.99	5.09	26.2	19.8	2.27	1.97	8.74	7.91	10.5	9.26	36.4	12.5	0.211	250	415
60	50	3	4.72	6.01	30.3	22.8	2.24	1.95	10.1	9.11	12.2	10.8	42.6	14.4	0.210	212	349
60	50	4	6.08	7.75	37.3	28.0	2.19	1.90	12.4	11.2	15.4	13.6	53.9	17.8	0.206	164	266
60	50	5	7.34	9.36	42.9	32.1	2.14	1.85	14.3	12.8	18.1	16.0	63.7	20.6	0.203	136	217
60	50	6	8.50	10.8	47.3	35.3	2.09	1.81	15.8	14.1	20.4	18.0	72.0	22.8	0.199	118	184
65	25	1.5	2.00	2.55	12.9	2.88	2.25	1.06	3.97	2.30	5.08	2.58	7.83	4.12	0.175	499	685
65	25	2	2.62	3.34	16.4	3.60	2.22	1.04	5.06	2.88	6.54	3.31	10.0	5.19	0.173	382	519
65	25	2.5	3.21	4.09	19.6	4.23	2.19	1.02	6.02	3.39	7.89	3.96	12.0	6.12	0.171	312	419
65	25	3	3.77	4.81	22.3	4.76	2.16	0.995	6.87	3.81	9.13	4.55	13.7	6.93	0.170	265	353
65	35	1.5	2.24	2.85	15.9	6.12	2.36	1.47	4.91	3.50	6.03	3.93	14.2	5.98	0.195	447	683
65	35	2	2.93	3.74	20.4	7.78	2.34	1.44	6.28	4.44	7.80	5.07	18.4	7.62	0.193	341	517
65	35	2.5	3.60	4.59	24.4	9.26	2.31	1.42	7.52	5.29	9.45	6.13	22.3	9.10	0.191	278	417
65	35	3	4.25	5.41	28.1	10.6	2.28	1.40	8.65	6.04	11.0	7.11	25.9	10.4	0.190	236	351
65	35	4	5.45	6.95	34.3	12.7	2.22	1.35	10.5	7.27	13.7	8.83	32.2	12.7	0.186	183	268
65	55	2	3.56	4.54	28.3	21.9	2.50	2.20	8.72	7.98	10.3	9.21	39.2	12.5	0.233	281	514
70	20	1.5	2.00	2.55	13.9	1.87	2.33	0.856	3.96	1.87	5.22	2.10	5.64	3.45	0.175	499	685
70	20	2	2.62	3.34	17.6	2.32	2.30	0.834	5.03	2.32	6.72	2.68	7.14	4.30	0.173	382	519
70	20	2.5	3.21	4.09	20.9	2.69	2.26	0.812	5.98	2.69	8.10	3.19	8.44	5.03	0.171	312	419
70	20	3	3.77	4.81	23.8	3.00	2.23	0.790	6.81	3.00	9.37	3.65	9.56	5.63	0.170	265	353
70	25	1.5	2.12	2.70	15.6	3.08	2.40	1.07	4.46	2.47	5.73	2.76	8.60	4.45	0.185	471	684
70	25	2	2.78	3.54	19.9	3.87	2.37	1.05	5.69	3.10	7.40	3.54	11.0	5.61	0.183	360	518
70	25	2.5	3.41	4.34	23.8	4.55	2.34	1.02	6.79	3.64	8.94	4.24	13.2	6.63	0.181	294	418
70	25	3	4.01	5.11	27.2	5.13	2.31	1.00	7.77	4.10	10.4	4.88	15.1	7.51	0.180	249	352
70	27	2	2.84	3.62	20.8	4.61	2.40	1.13	5.95	3.42	7.67	3.89	12.7	6.14	0.187	352	517
70	27	2.5	3.48	4.44	24.9	5.44	2.37	1.11	7.12	4.03	9.28	4.68	15.3	7.27	0.185	287	418
70	27	3	4.10	5.23	28.6	6.16	2.34	1.09	8.16	4.56	10.8	5.40	17.6	8.27	0.184	244	351
70	30	1.5	2.24	2.85	17.4	4.63	2.47	1.27	4.97	3.09	6.25	3.45	12.0	5.45	0.195	447	683
70	30	2	2.93	3.74	22.2	5.86	2.44	1.25	6.35	3.91	8.08	4.45	15.4	6.93	0.193	341	517
70	30	2.5	3.60	4.59	26.6	6.95	2.41	1.23	7.61	4.63	9.79	5.36	18.6	8.24	0.191	278	417
70	30	3	4.25	5.41	30.6	7.90	2.38	1.21	8.74	5.26	11.4	6.20	21.5	9.41	0.190	236	351
70	30	4	5.45	6.95	37.2	9.42	2.31	1.16	10.6	6.28	14.2	7.66	26.5	11.3	0.186	183	268

Posibilidad de fabricar otras medidas y en otros aceros. Bajo consulta.



Gama de producto: FRÍO



Gama perfil tubular en frío - rectangular

DIMENSION ESPECIFICA DE LADOS		ESPEJOR ESPECIFICO	MASA LINEAL	ÁREA DE LA SECCION TRANSVERSAL		MOMENTO DE INERCI		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELÁSTICO		MÓDULO PLÁSTICO		MOMENTO DE INERCI DE TORSION	MÓDULO DE TORSION	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	ÁREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	I _{xx}	I _{yy}	i _{xx}	i _{yy}	W _{elxx}	W _{elyy}	W _{plxx}	W _{plyy}	I _t	C _t	A _s	m	A _{sv}	
mm	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m		m ²	
80	30	5	7.34	9.36	61.0	12.1	2.55	1.14	15.3	8.05	21.0	10.1	36.4	14.9	0.203	136	217	
80	30	6	8.50	10.8	66.9	12.9	2.48	1.09	16.7	8.63	23.6	11.2	40.0	16.1	0.199	118	184	
80	30	6.3	8.56	10.9	62.8	12.4	2.40	1.07	15.7	8.27	22.9	11.0	39.2	15.7	0.193	117	177	
80	40	1.5	2.71	3.45	29.0	9.9	2.90	1.70	7.25	4.97	8.93	5.53	23.8	8.57	0.235	369	680	
80	40	2	3.56	4.54	37.4	12.7	2.87	1.67	9.34	6.36	11.6	7.17	30.9	11.0	0.233	281	514	
80	40	2.5	4.39	5.59	45.1	15.3	2.84	1.65	11.3	7.63	14.1	8.72	37.6	13.2	0.231	228	414	
80	40	3	5.19	6.61	52.3	17.6	2.81	1.63	13.1	8.78	16.5	10.2	43.9	15.3	0.230	193	348	
80	40	4	6.71	8.55	64.8	21.5	2.75	1.59	16.2	10.7	20.9	12.8	55.2	18.8	0.226	149	265	
80	40	5	8.13	10.4	75.1	24.6	2.69	1.54	18.8	12.3	24.7	15.0	65.0	21.7	0.223	123	215	
80	40	6	9.45	12.0	83.3	27.0	2.63	1.50	20.8	13.5	28.0	16.9	73.0	24.0	0.219	106	182	
80	40	6.3	9.55	12.2	79.9	26.2	2.56	1.47	20.0	13.1	27.5	16.7	73.5	24.0	0.213	105	175	
80	40	1.5	2.71	3.45	29.0	9.94	2.90	1.70	7.25	4.97	8.93	5.53	23.8	8.57	0.235	369	680	
80	40	2	3.56	4.54	37.4	12.7	2.87	1.67	9.34	6.36	11.6	7.17	30.9	11.0	0.233	281	514	
80	40	2.5	4.39	5.59	45.1	15.3	2.84	1.65	11.3	7.63	14.1	8.72	37.6	13.2	0.231	228	414	
80	40	3	5.19	6.61	52.3	17.6	2.81	1.63	13.1	8.78	16.5	10.2	43.9	15.3	0.230	193	348	
80	40	4	6.71	8.55	64.8	21.5	2.75	1.59	16.2	10.7	20.9	12.8	55.2	18.8	0.226	149	265	
80	40	5	8.13	10.4	75.1	24.6	2.69	1.54	18.8	12.3	24.7	15.0	65.0	21.7	0.223	123	215	
80	40	6	9.45	12.0	83.3	27.0	2.63	1.50	20.8	13.5	28.0	16.9	73.0	24.0	0.219	106	182	
80	40	6.3	9.55	12.2	79.9	26.2	2.56	1.47	20.0	13.1	27.5	16.7	73.5	24.0	0.213	105	175	
80	45	1.5	2.83	3.60	31.3	12.9	2.95	1.89	7.82	5.74	9.52	6.41	29.1	9.73	0.245	354	680	
80	45	2	3.72	4.74	40.4	16.6	2.92	1.87	10.1	7.38	12.4	8.33	37.9	12.5	0.243	269	513	
80	45	2.5	4.58	5.84	48.9	20.0	2.89	1.85	12.2	8.88	15.1	10.1	46.2	15.1	0.241	218	413	
80	45	3	5.42	6.91	56.7	23.1	2.86	1.83	14.2	10.2	17.7	11.9	54.1	17.5	0.240	184	347	
80	45	4	7.02	8.95	70.6	28.4	2.81	1.78	17.6	12.6	22.4	15.0	68.5	21.7	0.236	142	264	
80	45	5	8.52	10.9	82.2	32.8	2.75	1.74	20.5	14.6	26.6	17.7	81.1	25.2	0.233	117	214	
80	45	6	9.92	12.6	91.6	36.2	2.69	1.69	22.9	16.1	30.2	20.0	91.9	28.1	0.229	101	182	
80	45	6.3	10.0	12.8	88.5	35.3	2.63	1.66	22.1	15.7	29.9	19.8	93.2	28.2	0.223	99.5	174	
80	50	1.5	2.95	3.8	33.6	16.4	2.99	2.09	8.40	6.54	10.1	7.33	34.7	10.9	0.255	340	679	
80	50	2	3.88	4.94	43.4	21.1	2.97	2.07	10.9	8.43	13.2	9.54	45.3	14.0	0.253	258	513	
80	50	2.5	4.78	6.09	52.6	25.4	2.94	2.04	13.2	10.2	16.1	11.6	55.4	17.0	0.251	209	413	
80	50	3	5.66	7.21	61.1	29.4	2.91	2.02	15.3	11.8	18.8	13.6	65.0	19.7	0.250	177	346	
80	50	4	7.34	9.35	76.4	36.5	2.86	1.98	19.1	14.6	24.0	17.2	82.7	24.6	0.246	136	263	
80	50	5	8.91	11.4	89.2	42.3	2.80	1.93	22.3	16.9	28.5	20.5	98.4	28.7	0.243	112	214	
80	50	6	10.4	13.2	99.8	47.0	2.75	1.88	24.9	18.8	32.5	23.2	112	32.1	0.239	96.3	181	
80	50	6.3	10.5	13.4	97.1	46.1	2.69	1.85	24.3	18.4	32.2	23.1	114	32.4	0.233	94.9	173	
80	60	1.5	3.18	4.05	38.2	24.7	3.07	2.47	9.56	8.22	11.3	9.28	46.8	13.2	0.275	314	678	
80	60	2	4.19	5.34	49.5	31.9	3.05	2.44	12.4	10.6	14.7	12.1	61.2	17.1	0.273	239	512	
80	60	2.5	5.17	6.59	60.1	38.6	3.02	2.42	15.0	12.9	18.0	14.8	75.1	20.7	0.271	193	412	
80	60	3	6.13	7.81	70.0	44.9	3.00	2.40	17.5	15.0	21.2	17.4	88.3	24.1	0.270	163	345	
80	60	4	7.97	10.1	87.9	56.1	2.94	2.35	22.0	18.7	27.0	22.1	113	30.3	0.266	126	262.4	
80	60	5	9.70	12.4	103	65.7	2.89	2.31	25.8	21.9	32.2	26.4	136	35.7	0.263	103	212.7	
80	60	6	11.3	14.4	116	73.6	2.84	2.26	29.1	24.5	36.9	30.2	156	40.2	0.259	88.3	180	
80	60	6.3	11.5	14.7	114	72.7	2.79	2.22	28.6	24.2	36.8	30.2	160	40.9	0.253	86.7	172	
90	20	1.5	2.47	3.15	27.1	2.38	2.93	0.870	6.01	2.38	8.1	2.66	7.64	4.48	0.215	404	682	

Posibilidad de fabricar otras medidas y en otros aceros. Bajo consulta.