

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

2016 / 2017

PROYECTO DE DISEÑO Y CÁLCULO DEL BRAZO ARTICULADO DE UNA PALA EXCAVADORA

4. ANEXO

DATOS DE LA ALUMNA O DEL ALUMNO

NOMBRE: ASIER
APELLIDOS: LÓPEZ GUINEA

Fdo.:
FECHA: 01/09/2017

DATOS DEL DIRECTOR O DE LA DIRECTORA

NOMBRE: ITZIAR
APELLIDOS: MARTIJA LÓPEZ
DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

Fdo.:
FECHA: 01/09/2017

Índice

2.1. Objeto del documento anexo	5
2.2. Diagramas cinemáticos de los actuadores hidráulicos	5
2.2.1. Primera secuencia del movimiento	5
2.2.1.1. Actuador hidráulico de la pluma	6
2.2.1.2. Actuador hidráulico del brazo	7
2.2.1.2. Actuador hidráulico de la cuchara	8
2.2.2. Segunda secuencia del movimiento	9
2.2.2.1. Actuador hidráulico de la pluma	10
2.2.2.2. Actuador hidráulico del brazo	11
2.2.2.3. Actuador hidráulico de la cuchara	12
2.2.3. Tercera secuencia del movimiento	13
2.2.3.1. Actuador hidráulico de la pluma	14
2.2.3.2. Actuador hidráulico del brazo	15
2.2.3.3. Actuador hidráulico de la cuchara	16
2.3. Datos de diseño proporcionados por CATIA	17
2.3.1. Elementos principales diseñados	17
2.3.1.1. Pluma	17
2.3.1.2. Brazo	18
2.3.1.3. Eslabón 1	19
2.3.1.4. Eslabón 2	20
2.3.1.5. Cuchara	21
2.3.2. Ensamblaje de los elementos principales diseñados	22
2.3.2.1. Ensamblaje posición mayor alcance a nivel del suelo	22
2.3.2.2. Ensamblaje posición máxima profundidad de excavación	23
2.3.2.3. Ensamblaje posición máxima altura de carga	24
2.4. Análisis MEF	25
2.4.1. Informe de los análisis realizados	27
2.4.1.1. Posición de mayor alcance a nivel del suelo	27
2.4.1.2. Posición de máxima profundidad de excavación	37
2.4.1.3. Posición de máxima altura de carga	47

2.5. Propiedades de los materiales empleados	57
2.5.1. Elementos principales	57
2.5.2. Bulones.....	58
2.5.3. Casquillos autolubricados	59
2.5.4. Elementos de unión.....	61
2.6. Dimensiones de los elementos normalizados utilizados	62
2.6.1. Casquillos autolubricados serie SB (fabricante Sanmetal S.A).....	62
2.6.3. Tornillo cabeza hexagonal, rosca parcial DIN 931 (fabricante Andalinox S.L)	63
2.6.4. Tuerca autoblocante con inserción no metálica DIN 985 (fabricante Andalinox S.L)	64

Índice de figuras

Figura 1. Posición inicial de la 1ª secuencia del movimiento.....	5
Figura 2. Posición final de la 1ª secuencia del movimiento	5
Figura 3. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la pluma en la 1ª secuencia del movimiento	6
Figura 4. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la pluma en la 1ª secuencia del movimiento	6
Figura 5. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro del brazo en la 1ª secuencia del movimiento	7
Figura 6. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro del brazo en la 1ª secuencia del movimiento	7
Figura 7. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la cuchara en la 1ª secuencia del movimiento	8
Figura 8. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la cuchara en la 1ª secuencia del movimiento	8
Figura 9. Posición inicial de la 2ª secuencia del movimiento.....	9
Figura 10. Posición final de la 2ª secuencia del movimiento	9
Figura 11. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la pluma en la 2ª secuencia del movimiento	10
Figura 12. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la pluma en la 2ª secuencia del movimiento	10
Figura 13. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro del brazo en la 2ª secuencia del movimiento	11
Figura 14. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro del brazo en la 2ª secuencia del movimiento	11
Figura 15. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la cuchara en la 2ª secuencia del movimiento	12
Figura 16. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la cuchara en la 2ª secuencia del movimiento	12
Figura 17. Posición inicial de la 3ª secuencia del movimiento.....	13
Figura 18. Posición final de la 3ª secuencia del movimiento	13
Figura 19. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la pluma en la 3ª secuencia del movimiento	14
Figura 20. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la pluma en la 3ª secuencia del movimiento	14
Figura 21. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro del brazo en la 3ª secuencia del movimiento	15
Figura 22. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro del brazo en la 3ª secuencia del movimiento	15
Figura 23. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la cuchara en la 3ª secuencia del movimiento	16

Figura 24. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la cuchara en la 3ª secuencia del movimiento	16
Figura 25. Propiedades del material S235 empleadas por CATIA	25
Figura 26. Tetraedro parabólico (TE10) de 10 nodos.....	25
Figura 27. Mallado de la pluma.....	26

2.1. Objeto del documento anexo

El objeto de este documento es añadir la información adicional necesaria para poder desarrollar correctamente el proyecto. En este documento quedaran reflejados los datos proporcionados por los programas de cálculos empleados y que tendrán gran importancia en el desarrollo del proyecto.

2.2. Diagramas cinemáticos de los actuadores hidráulicos

2.2.1. Primera secuencia del movimiento

El brazo articulado realiza un movimiento hasta alcanzar la posición de mayor alcance a nivel del suelo.

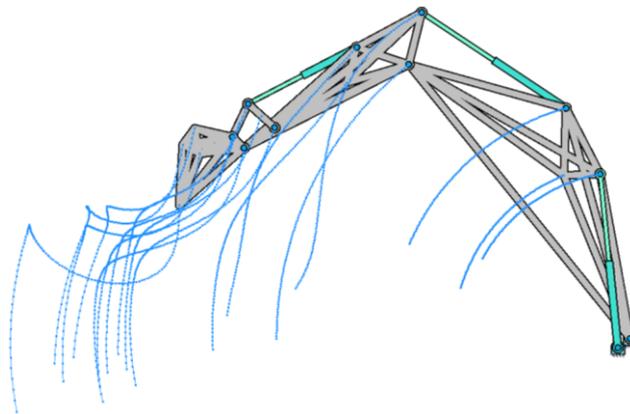


Figura 1. Posición inicial de la 1ª secuencia del movimiento

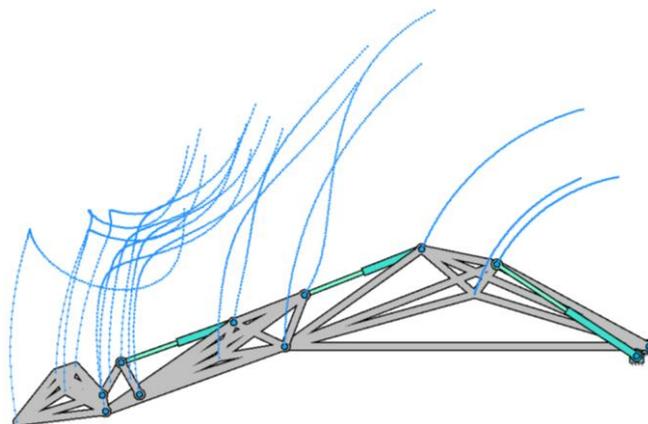


Figura 2. Posición final de la 1ª secuencia del movimiento

Para realizar la primera secuencia del movimiento el brazo articulado invierte un tiempo total de 8 segundos.

2.2.1.1. Actuador hidráulico de la pluma

Position	
Initial	2.86145
<input type="radio"/> Final	2.64637
<input checked="" type="radio"/> Incr.	Turn -0.21508

Longitud total del cilindro en el inicio del movimiento $\approx 2.861,5$ mm

Longitud total del cilindro al final del movimiento $\approx 2.646,4$ mm

Desplazamiento del pistón $\approx -215,1$ mm

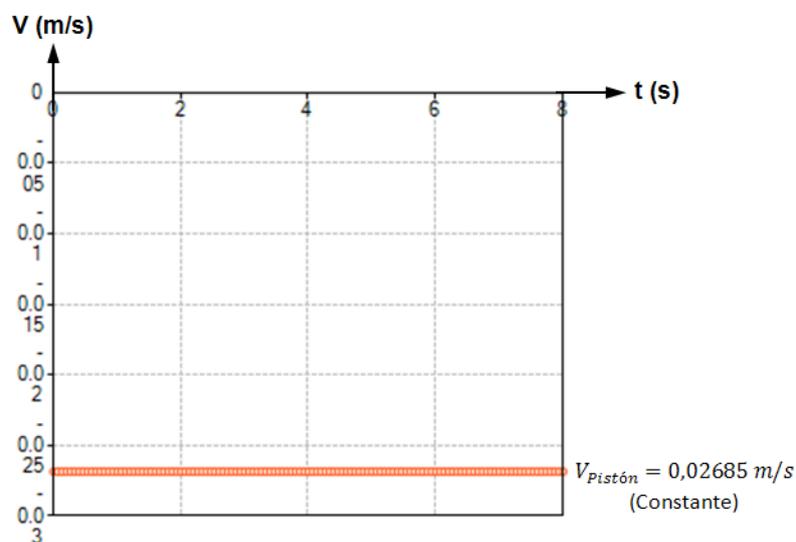


Figura 3. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la pluma en la 1ª secuencia del movimiento

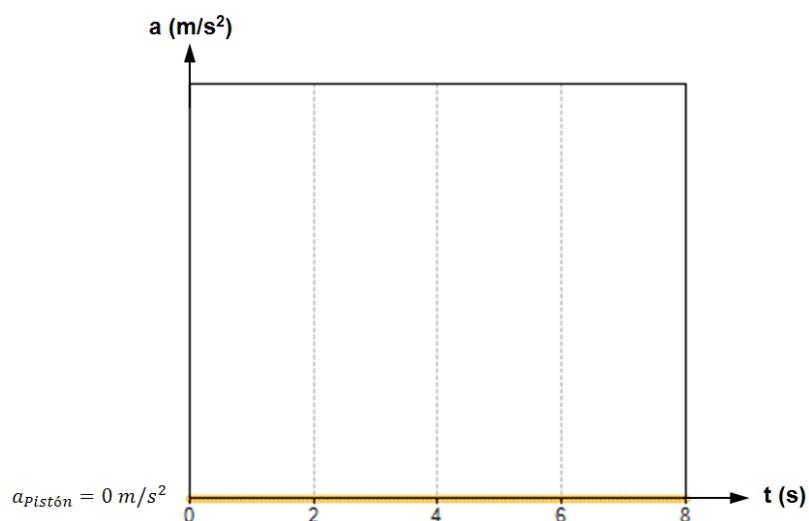


Figura 4. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la pluma en la 1ª secuencia del movimiento

2.2.1.2. Actuador hidráulico del brazo

Position	
Initial	2.82809
<input type="radio"/> Final	1.98994
<input checked="" type="radio"/> Incr.	Turn -0.83814

Longitud total del cilindro en el inicio del movimiento $\approx 2.828,1$ mm

Longitud total del cilindro al final del movimiento ≈ 1.990 mm

Desplazamiento del pistón $\approx -838,1$ mm

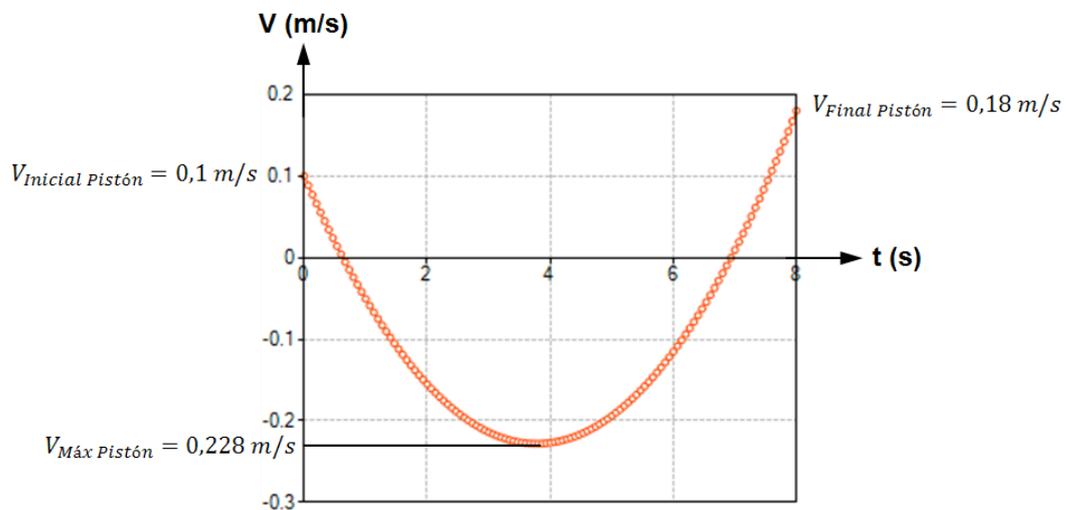


Figura 5. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro del brazo en la 1ª secuencia del movimiento

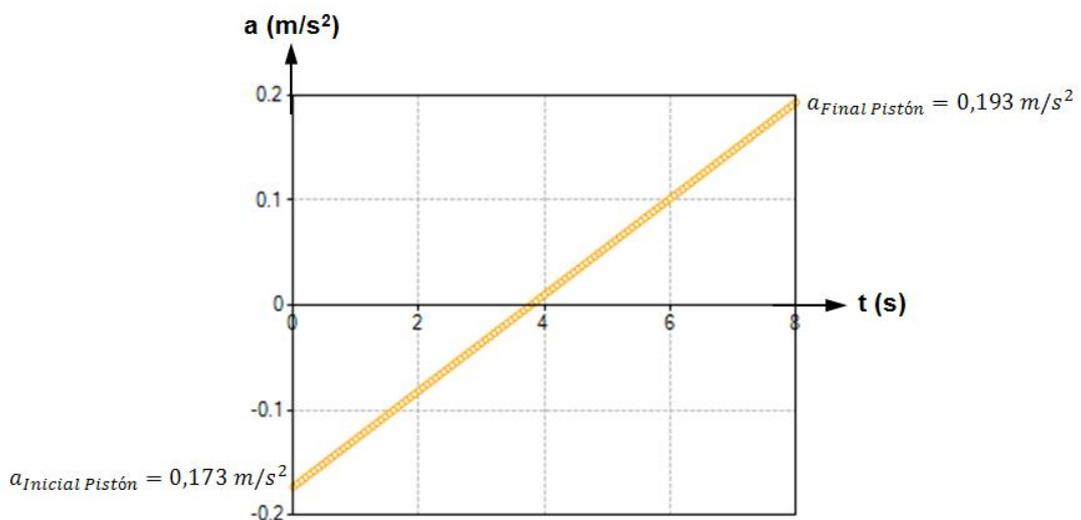


Figura 6. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro del brazo en la 1ª secuencia del movimiento

2.2.1.2. Actuador hidráulico de la cuchara

Position	
Initial	1.99761
<input type="radio"/> Final	1.88688
<input checked="" type="radio"/> Incr.	Turn -0.11072

Longitud total del cilindro en el inicio del movimiento $\approx 1.997,6$ mm

Longitud total del cilindro al final del movimiento $\approx 1.886,9$ mm

Desplazamiento del pistón $\approx -110,7$ mm

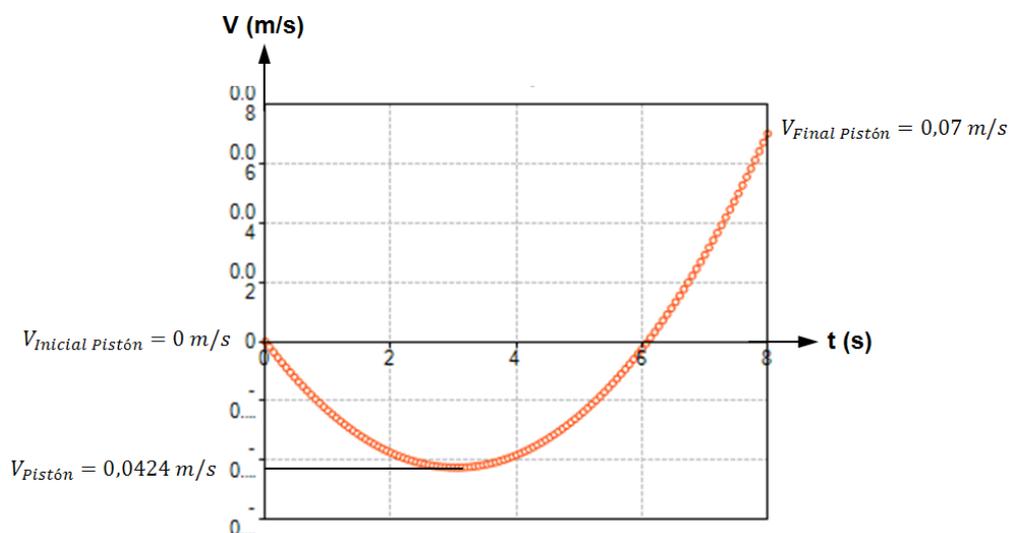


Figura 7. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la cuchara en la 1ª secuencia del movimiento

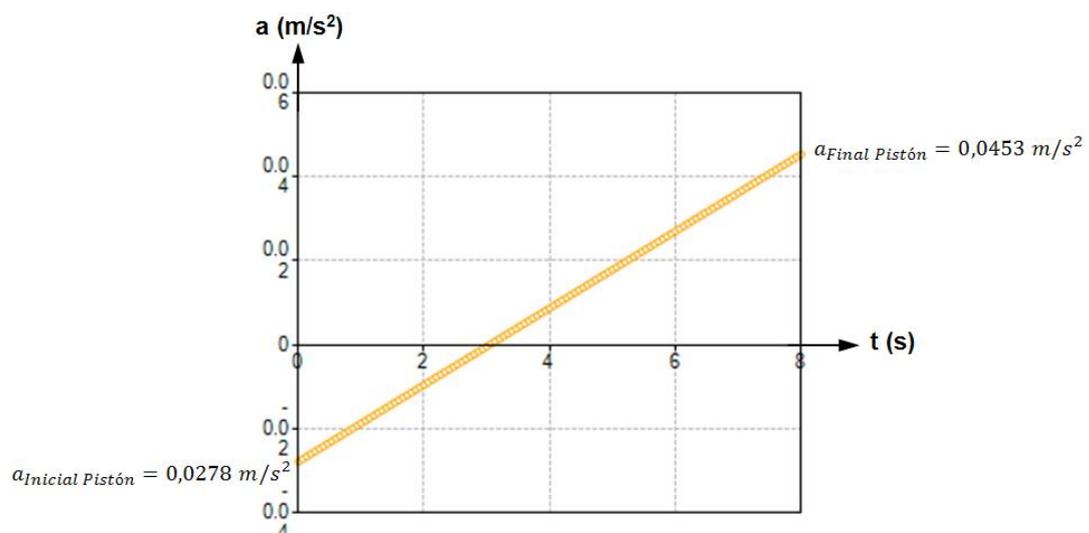


Figura 8. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la cuchara en la 1ª secuencia del movimiento

2.2.2. Segunda secuencia del movimiento

El brazo articulado realiza un movimiento hasta alcanzar la posición de máxima profundidad de excavación.

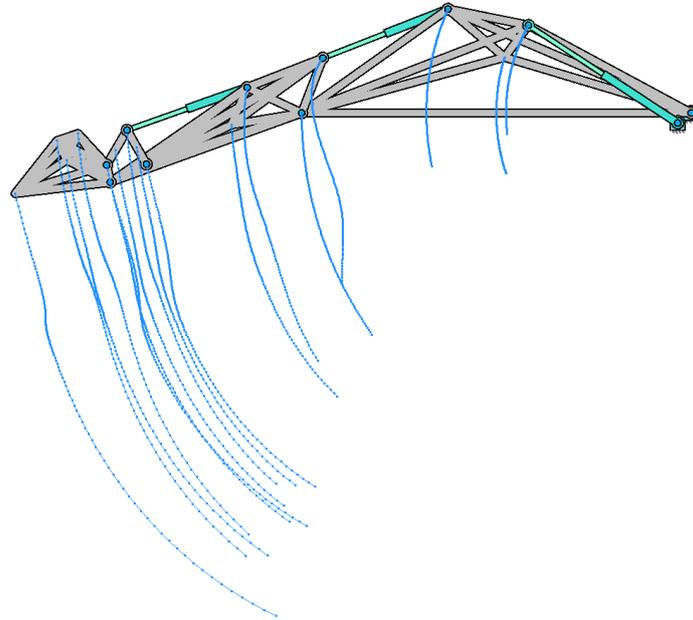


Figura 9. Posición inicial de la 2ª secuencia del movimiento

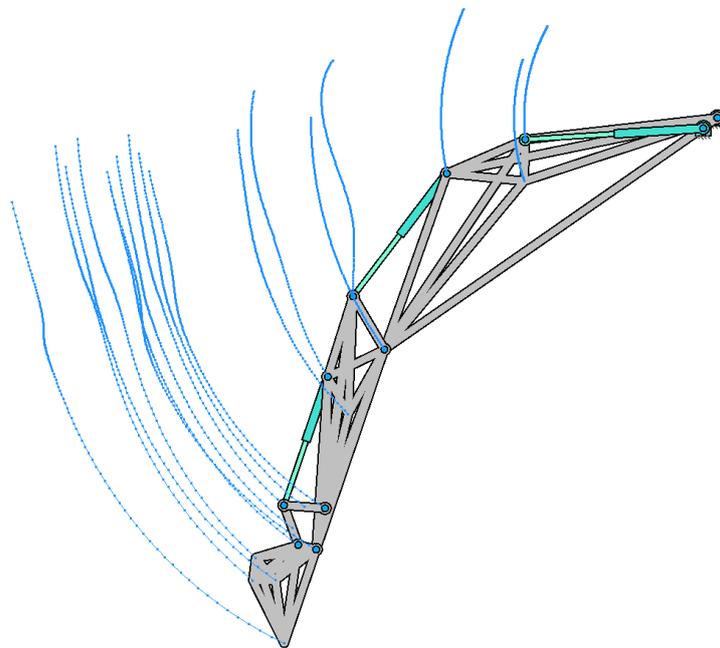


Figura 10. Posición final de la 2ª secuencia del movimiento

Para realizar la segunda secuencia del movimiento el brazo articulado invierte un tiempo total de 10 segundos.

2.2.2.1. Actuador hidráulico de la pluma

Position	
Initial	2.64637
<input type="radio"/> Final	2.52823
<input checked="" type="radio"/> Incr.	Turn -0.11813

Longitud total del cilindro en el inicio del movimiento $\approx 2.646,4$ mm

Longitud total del cilindro al final del movimiento $\approx 2.528,2$ mm

Desplazamiento del pistón $\approx -118,2$ mm

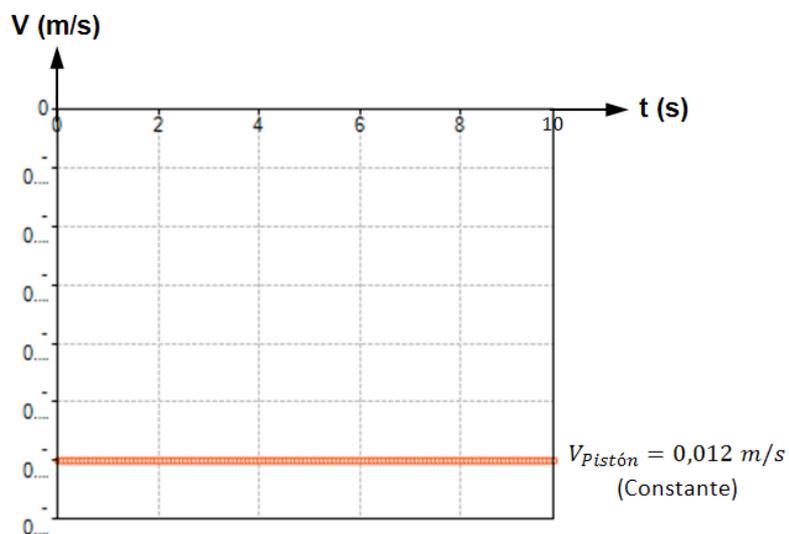


Figura 11. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la pluma en la 2ª secuencia del movimiento

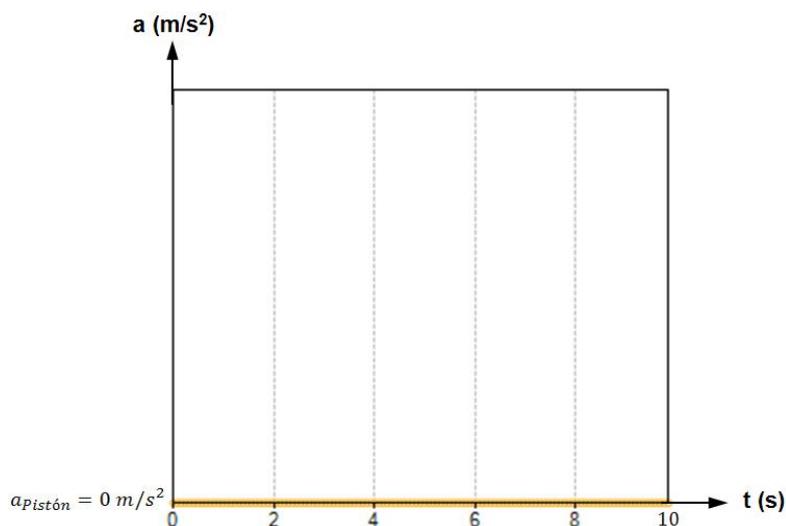


Figura 12. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la pluma en la 2ª secuencia del movimiento

2.2.2.2. Actuador hidráulico del brazo

Position	
Initial	1.98994
<input type="radio"/> Final	2.19966
<input checked="" type="radio"/> Incr.	Turn 0.20972

Longitud total del cilindro en el inicio del movimiento ≈ 1.990 mm

Longitud total del cilindro al final del movimiento $\approx 2.199,7$ mm

Desplazamiento del pistón $\approx 209,7$ mm

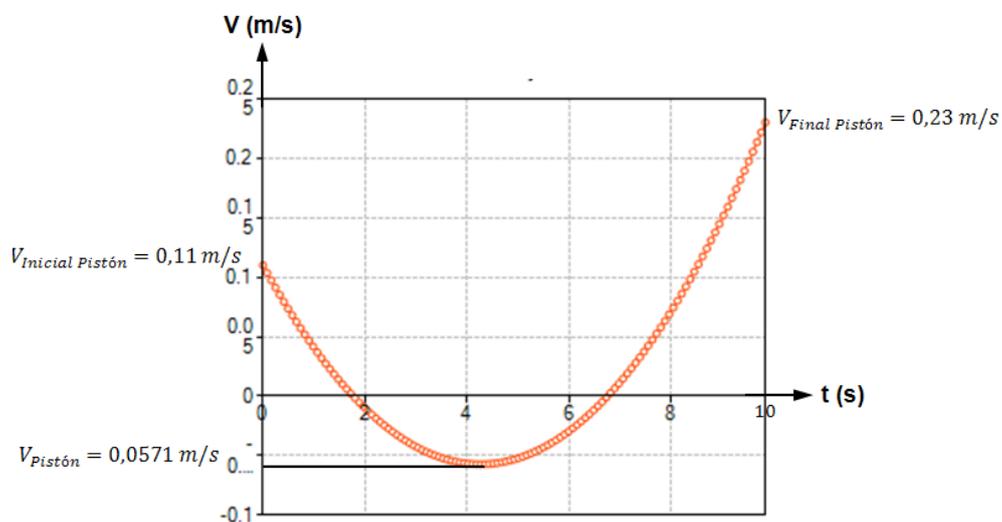


Figura 13. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro del brazo en la 2ª secuencia del movimiento

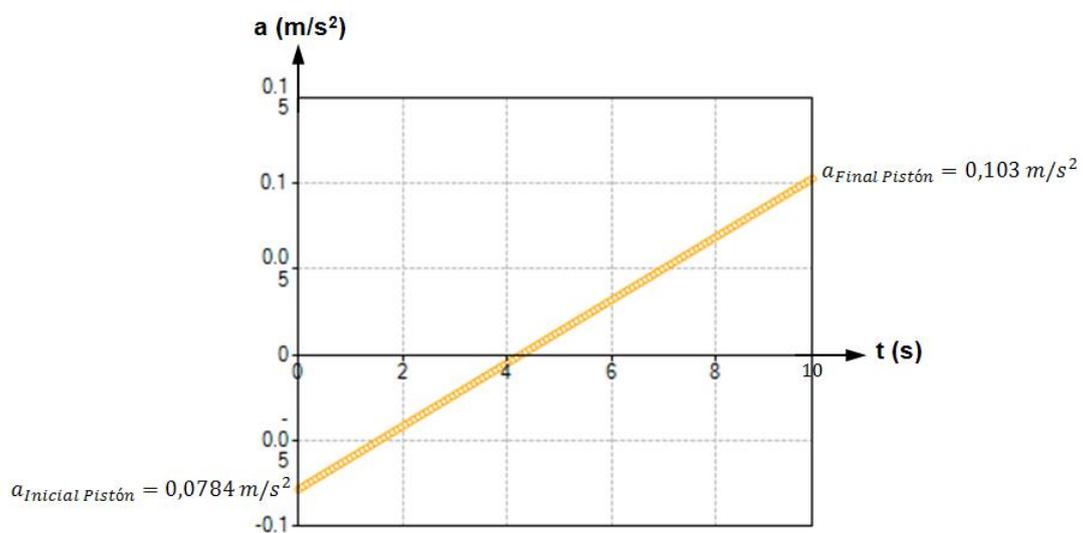


Figura 14. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro del brazo en la 2ª secuencia del movimiento

2.2.2.3. Actuador hidráulico de la cuchara

Position	
Initial	1.88688
<input type="radio"/> Final	1.93666
<input checked="" type="radio"/> Incr.	Turn 0.04977

Longitud total del cilindro en el inicio del movimiento $\approx 1.886,9$ mm

Longitud total del cilindro al final del movimiento $\approx 1.936,7$ mm

Desplazamiento del pistón $\approx 49,8$ mm

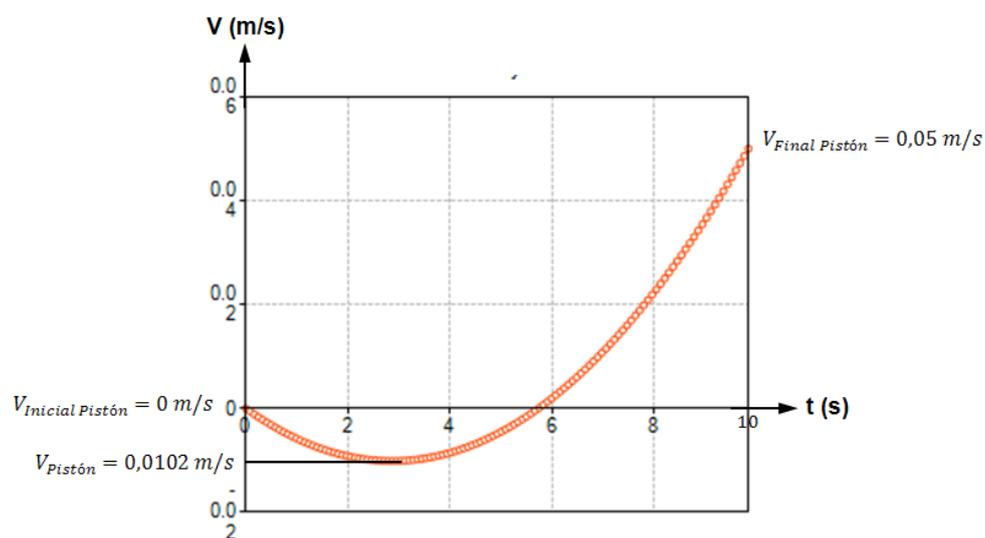


Figura 15. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la cuchara en la 2ª secuencia del movimiento

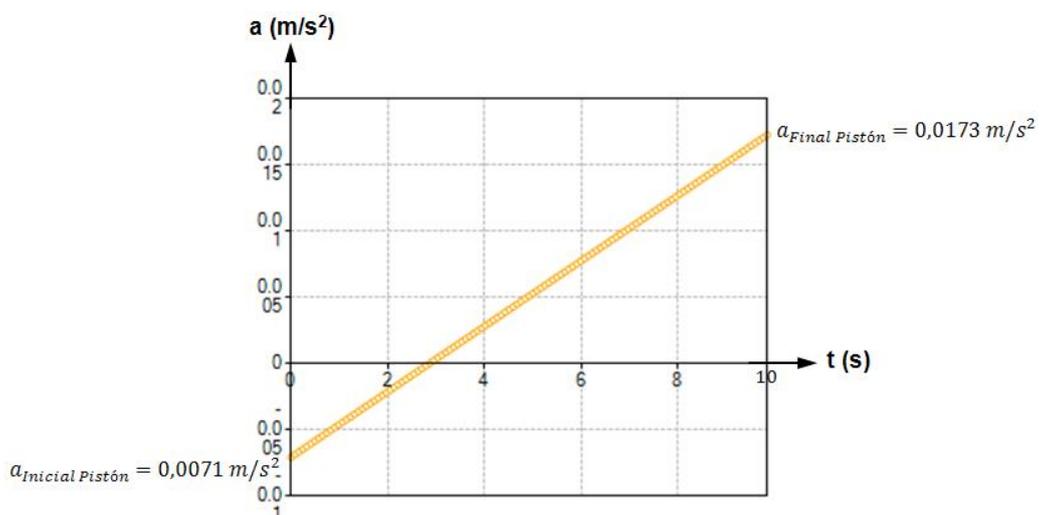


Figura 16. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la cuchara en la 2ª secuencia del movimiento

2.2.3. Tercera secuencia del movimiento

El brazo articulado realiza un movimiento hasta alcanzar la posición de máxima altura de carga en cuchara.

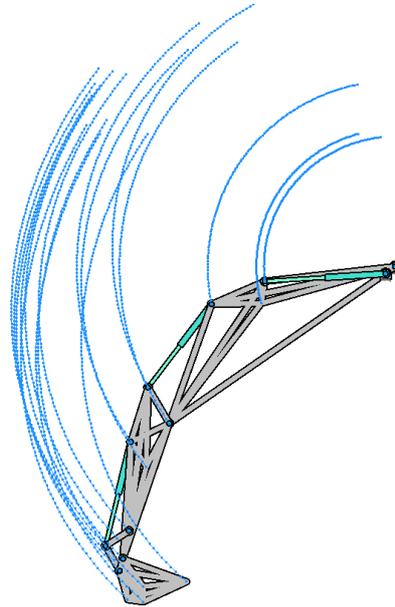


Figura 17. Posición inicial de la 3ª secuencia del movimiento

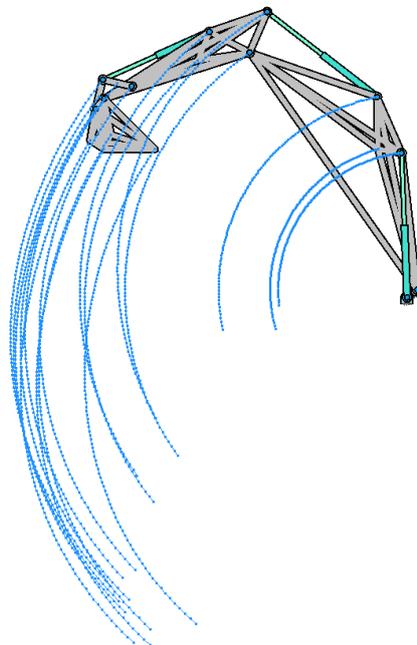


Figura 18. Posición final de la 3ª secuencia del movimiento

Para realizar la tercera secuencia del movimiento el brazo articulado invierte un tiempo total de 12 segundos.

2.2.3.1. Actuador hidráulico de la pluma

Position	
Initial	2.52823
<input type="radio"/> Final	2.87527
<input checked="" type="radio"/> Incr.	Turn 0.34703

Longitud total del cilindro en el inicio del movimiento $\approx 2.528,3$ mm

Longitud total del cilindro al final del movimiento $\approx 2.875,3$ mm

Desplazamiento del pistón ≈ 347 mm

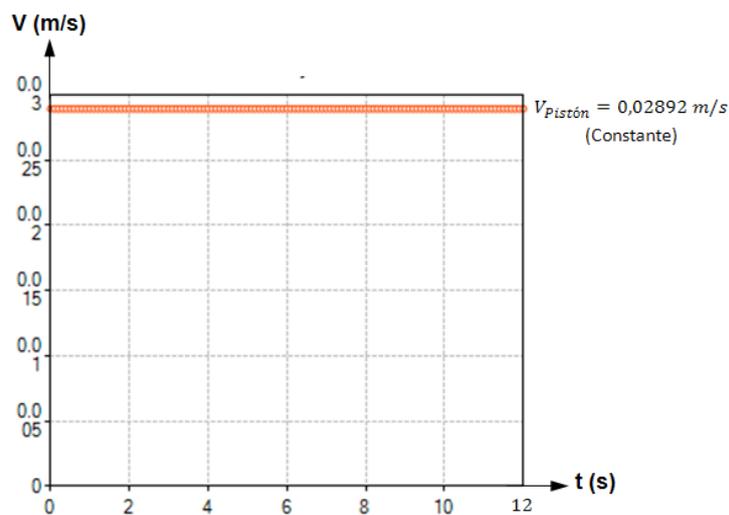


Figura 19. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la pluma en la 3ª secuencia del movimiento

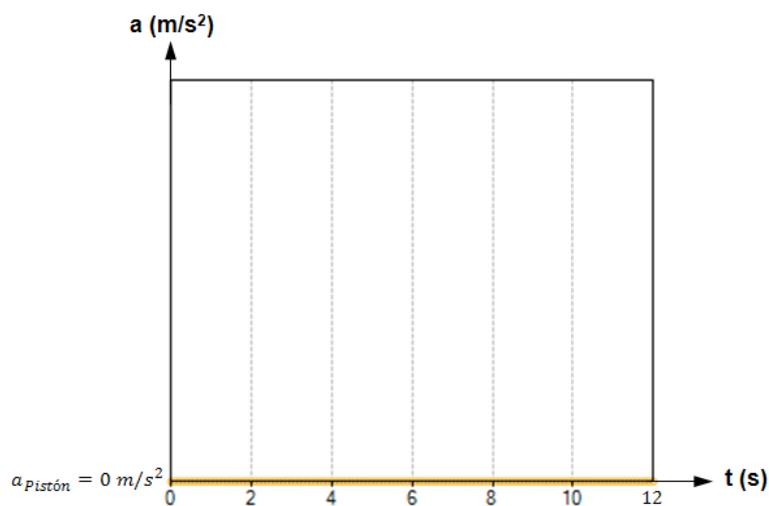


Figura 20. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la pluma en la 3ª secuencia del movimiento

2.2.3.2. Actuador hidráulico del brazo

Position	
Initial	2.19966
<input type="radio"/> Final	2.74839
<input checked="" type="radio"/> Incr.	Turn 0.54873

Longitud total del cilindro en el inicio del movimiento $\approx 2.199,7$ mm

Longitud total del cilindro al final del movimiento $\approx 2.748,4$ mm

Desplazamiento del pistón $\approx 548,7$ mm

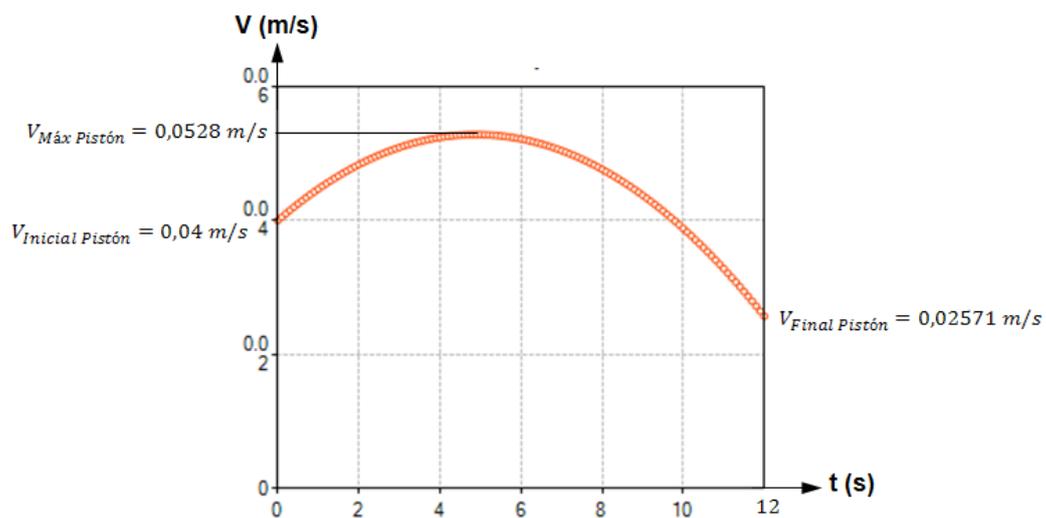


Figura 21. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro del brazo en la 3ª secuencia del movimiento

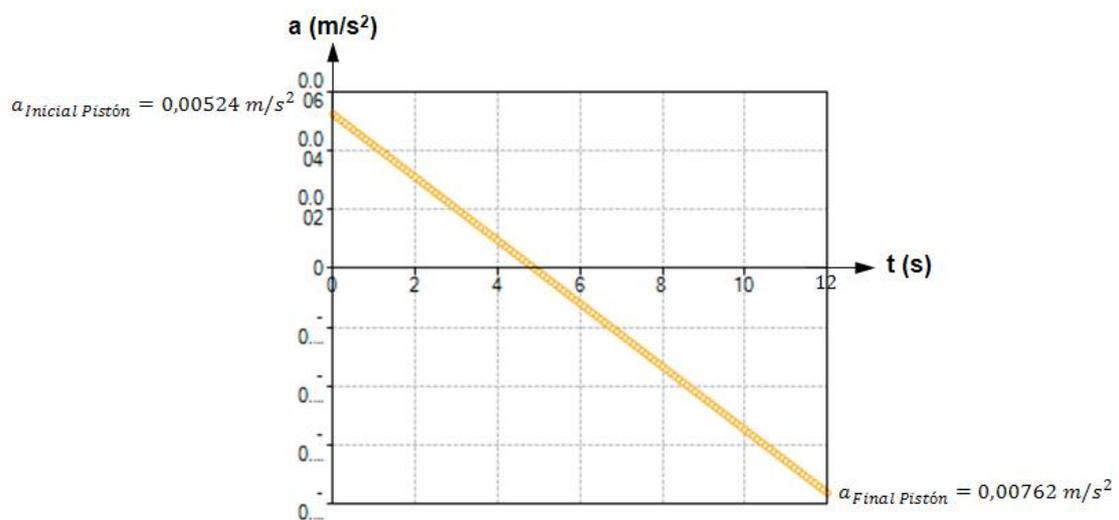


Figura 22. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro del brazo en la 3ª secuencia del movimiento

2.2.3.3. Actuador hidráulico de la cuchara

Position	
Initial	2.25651
<input type="radio"/> Final	2.30515
<input checked="" type="radio"/> Incr.	Turn 0.04863

Longitud total del cilindro en el inicio del movimiento $\approx 2.256,5$ mm

Longitud total del cilindro al final del movimiento $\approx 2.305,2$ mm

Desplazamiento del pistón $\approx 48,7$ mm

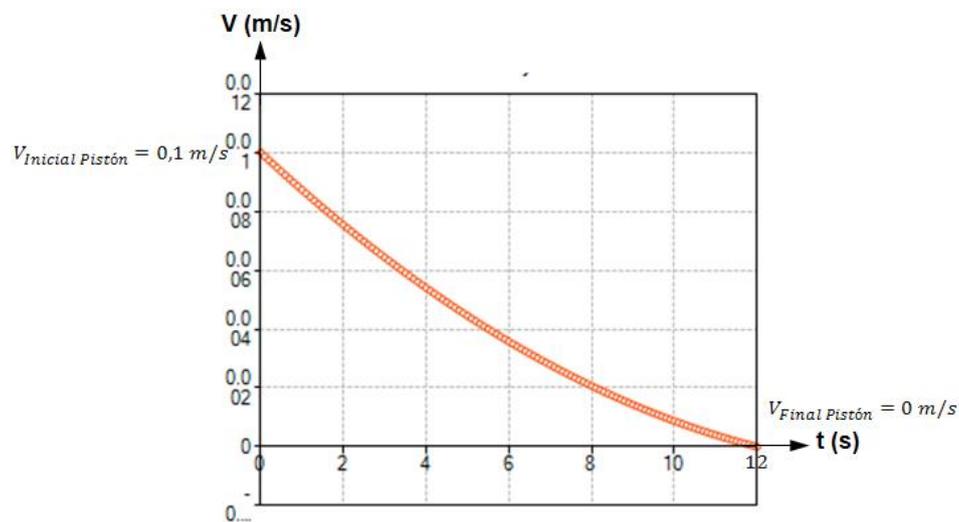


Figura 23. Diagrama velocidad-tiempo del cilindro de la cuchara en la 3ª secuencia del movimiento

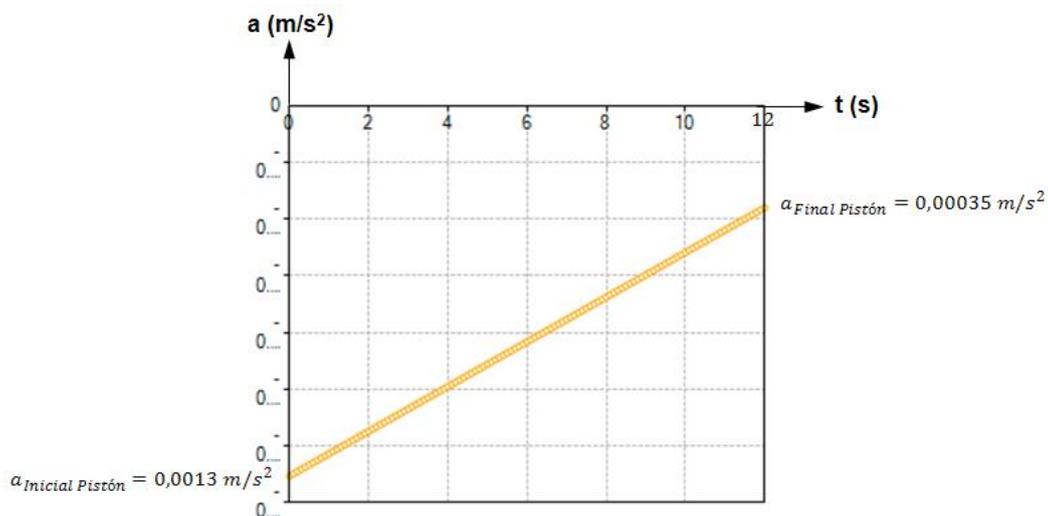
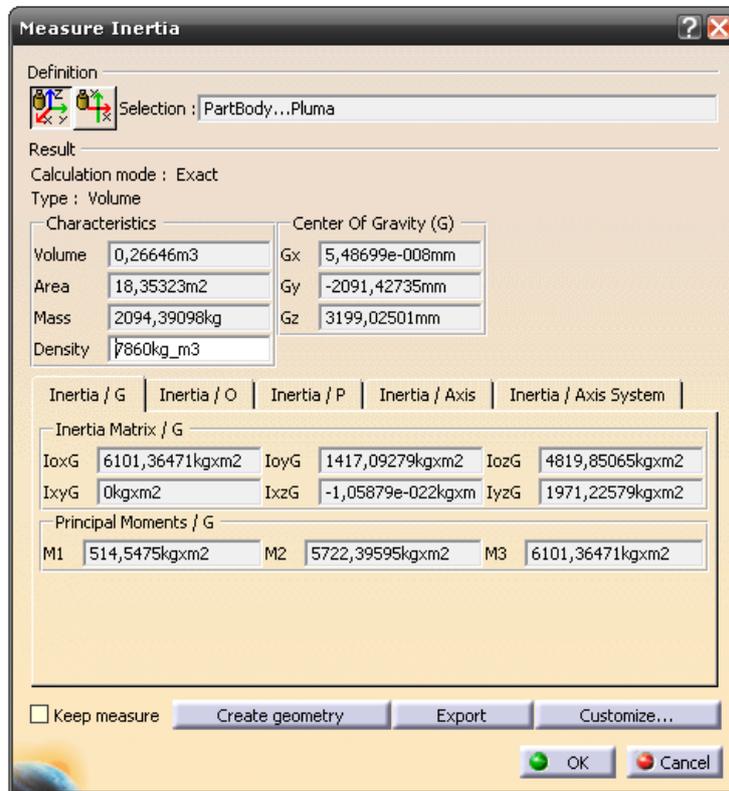
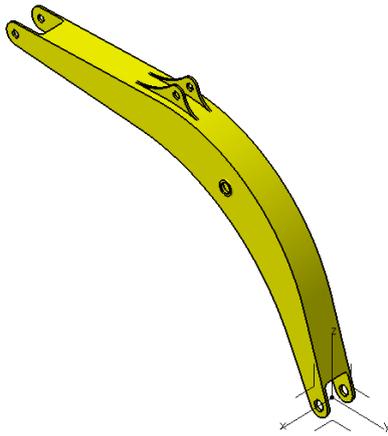


Figura 24. Diagrama aceleración-tiempo del cilindro de la cuchara en la 3ª secuencia del movimiento

2.3. Datos de diseño proporcionados por CATIA

2.3.1. Elementos principales diseñados

2.3.1.1. Pluma



Material empleado: Acero S235

Densidad del material empleado: 7.860 kg/m³

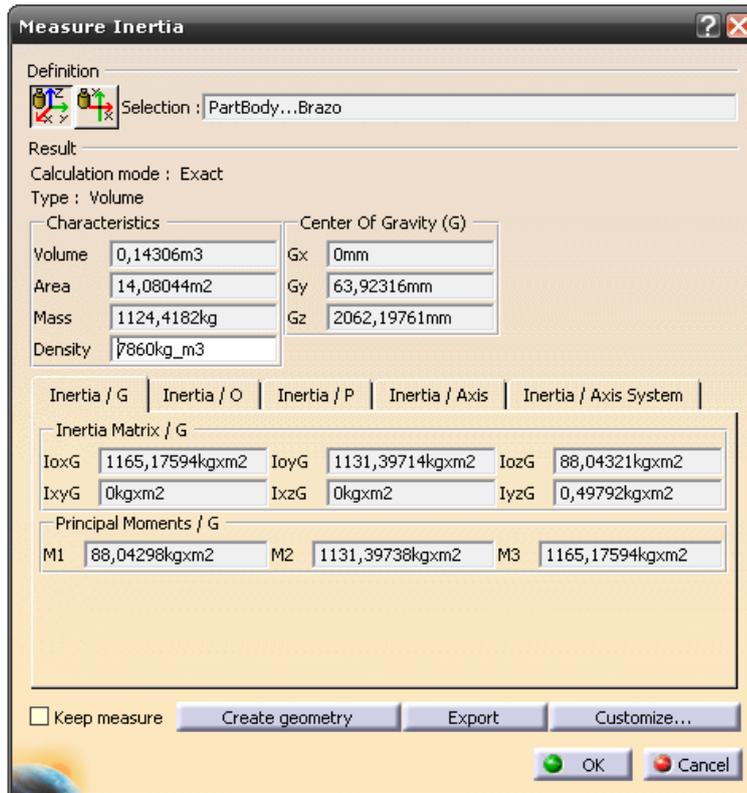
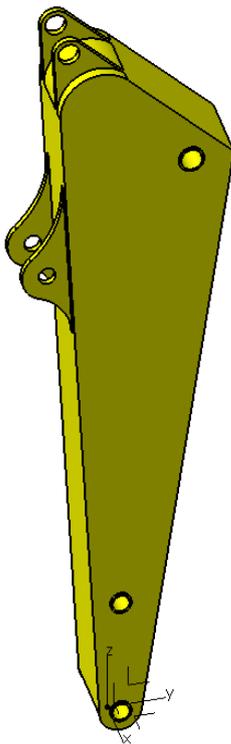
Masa: 2.094,4 kg

Coordenadas CDG respecto a los ejes de representación indicados		
X _G	Y _G	Z _G
0 mm	-2.091,43 mm	3.199,03 mm

Momentos de inercia en el CDG		
I _{x G}	I _{y G}	I _{z G}
6.101,4 kg · m ²	1.417,1 kg · m ²	4.819,9 kg · m ²

Productos de inercia en el CDG		
I _{xy G}	I _{xz G}	I _{yz G}
0 kg · m ²	0 kg · m ²	1.971,3 kg · m ²

2.3.1.2. Brazo



Material empleado: Acero S235

Densidad del material empleado: 7.860 kg/m³

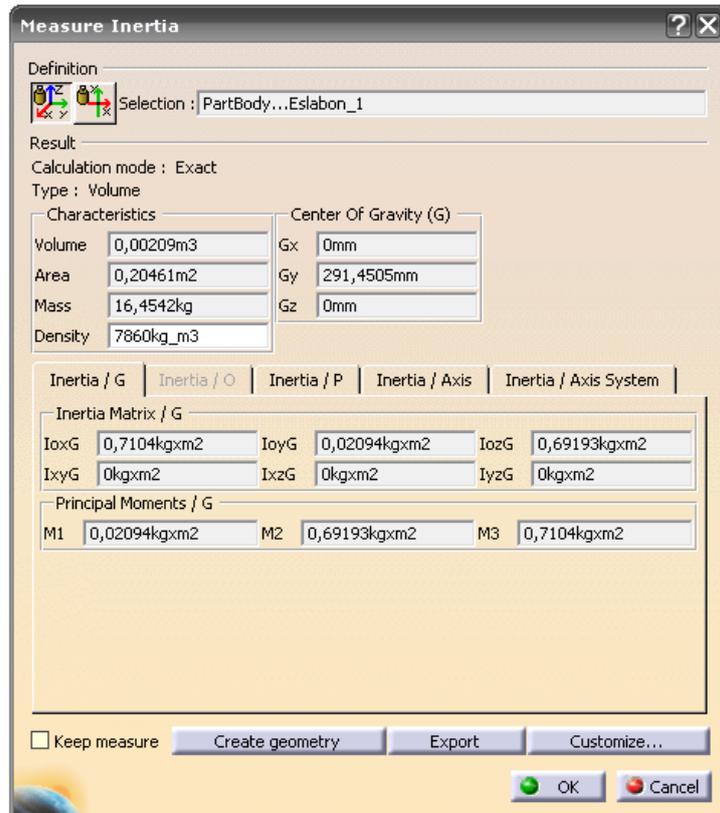
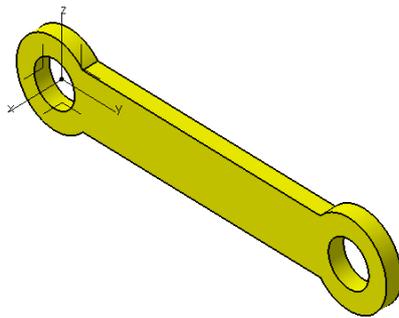
Masa: 1.124,42 kg

Coordenadas CDG respecto a los ejes de representación indicados		
X _G	Y _G	Z _G
0 mm	63,93 mm	2.062,2 mm

Momentos de inercia en el CDG		
I _{xG}	I _{yG}	I _{zG}
1.165,2 kg · m ²	1.131,4 kg · m ²	88,05 kg · m ²

Productos de inercia en el CDG		
I _{xyG}	I _{xzG}	I _{yzG}
0 kg · m ²	0 kg · m ²	0,5 kg · m ²

2.3.1.3. Eslabón 1



Material empleado: Acero S235

Densidad del material empleado: 7.860 kg/m³

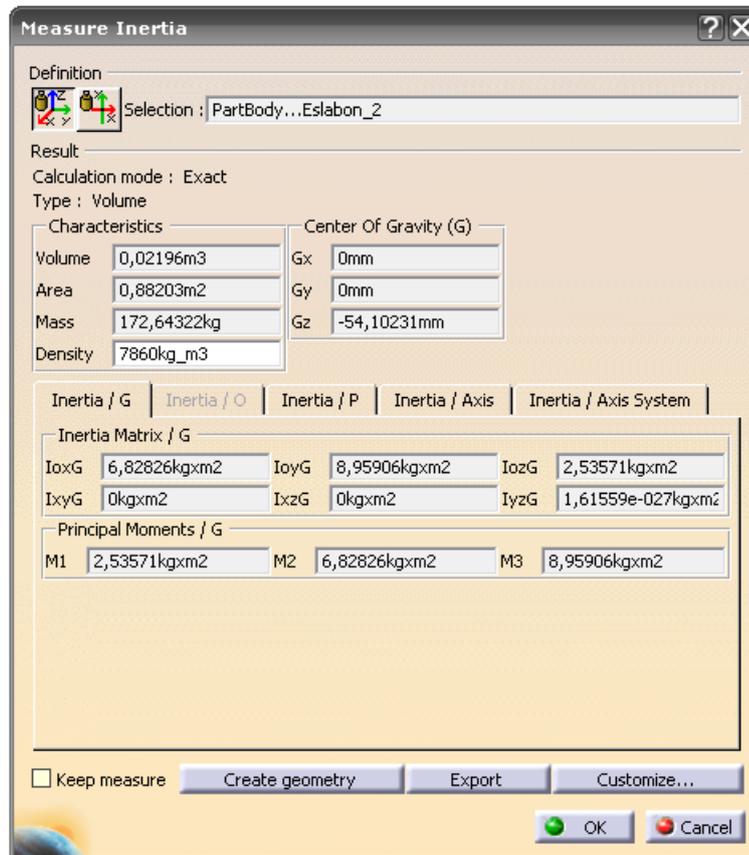
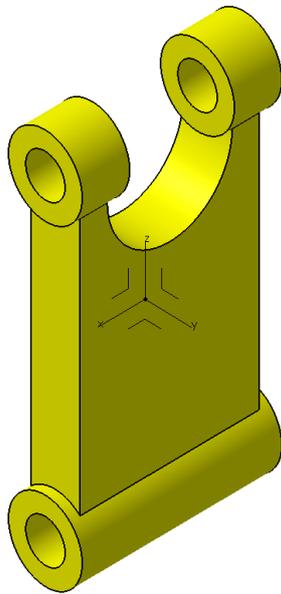
Masa: 16,46 kg

Coordenadas CDG respecto a los ejes de representación indicados		
X _G	Y _G	Z _G
0 mm	291,45 mm	0 mm

Momentos de inercia en el CDG		
I _{x G}	I _{y G}	I _{z G}
0,711 kg · m ²	0,021 kg · m ²	0,692 kg · m ²

Productos de inercia en el CDG		
I _{xy G}	I _{xz G}	I _{yz G}
0 kg · m ²	0 kg · m ²	0 kg · m ²

2.3.1.4. Eslabón 2



Material empleado: Acero S235

Densidad del material empleado: 7.860 kg/m³

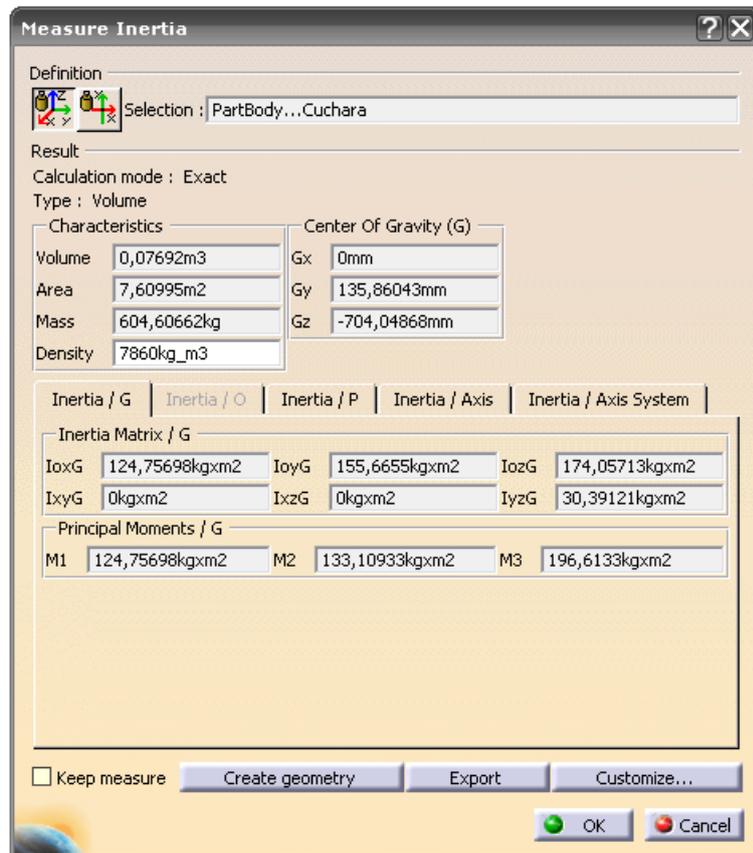
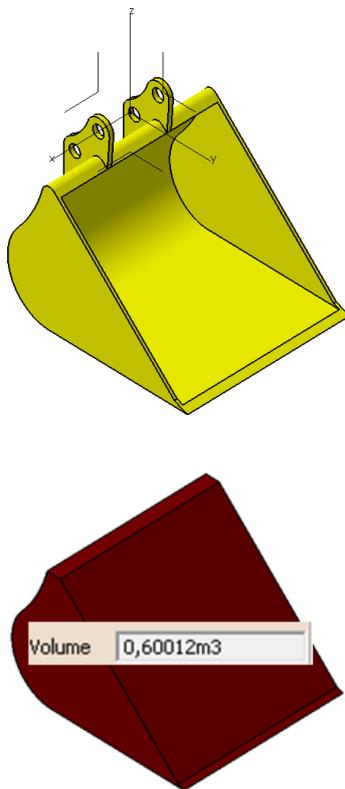
Masa: 172,65 kg

Coordenadas CDG respecto a los ejes de representación indicados		
X _G	Y _G	Z _G
0 mm	0 mm	-54,1 mm

Momentos de inercia en el CDG		
I _{xG}	I _{yG}	I _{zG}
6,83 kg · m ²	8,96 kg · m ²	2,54 kg · m ²

Productos de inercia en el CDG		
I _{xyG}	I _{xzG}	I _{yzG}
0 kg · m ²	0 kg · m ²	0 kg · m ²

2.3.1.5. Cuchara



Material empleado: Acero S235

Densidad del material empleado: 7.860 kg/m³

Masa: 604,61 kg

Capacidad de la cuchara: 0,6 m³

Coordenadas CDG respecto a los ejes de representación indicados		
X _G	Y _G	Z _G
0 mm	135,86 mm	-704,05 mm

Momentos de inercia en el CDG		
I _{x G}	I _{y G}	I _{z G}
124,76 kg · m ²	155,67 kg · m ²	174,06 kg · m ²

Productos de inercia en el CDG		
I _{xy G}	I _{xz G}	I _{yz G}
0 kg · m ²	0 kg · m ²	30,4 kg · m ²

2.3.2. Ensamblaje de los elementos principales diseñados

2.3.2.1. Ensamblaje posición mayor alcance a nivel del suelo

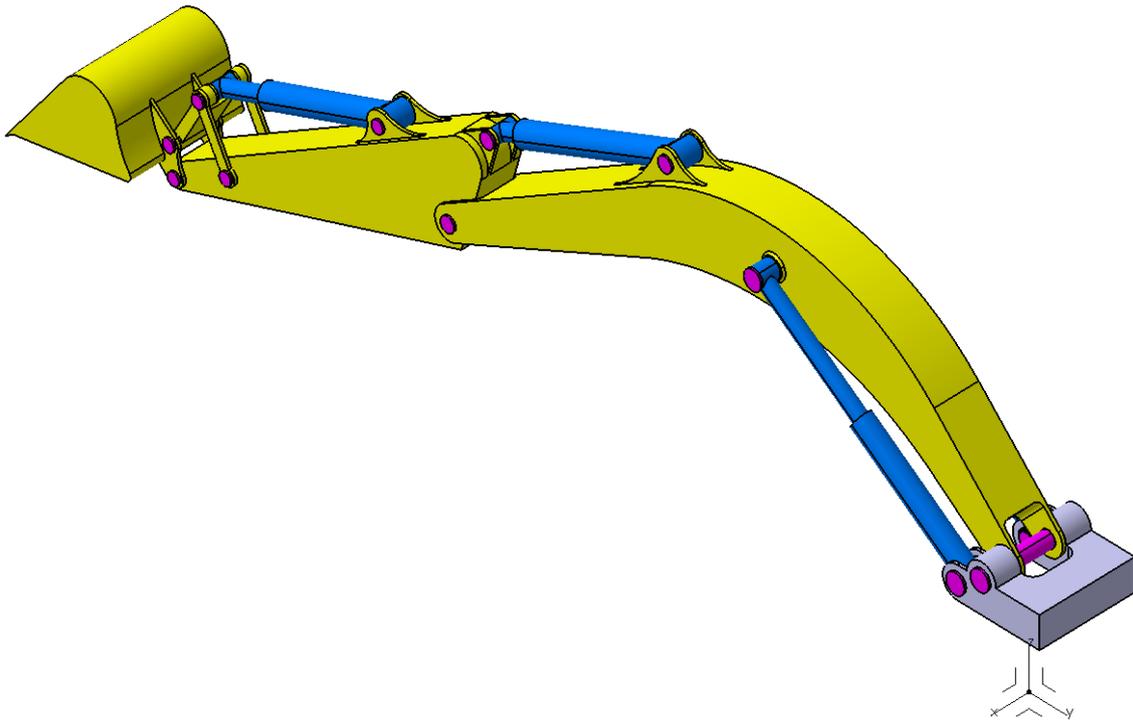


Tabla 1. Datos del ensamblaje en posición de mayor alcance a nivel del suelo

	C.D.G (mm)	Momento de inercia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	Producto de inercia
Pluma	$X_G = 0$	$I_{xG} = 6.101,4$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -2.766,2$	$I_{yG} = 521,35$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 2.047,54$	$I_{zG} = 5.715,6$	$I_{yzG} = -188$
Brazo	$X_G = 0$	$I_{xG} = 1.165,2$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -6.827,13$	$I_{yG} = 298,7$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 1.000,07$	$I_{zG} = 920,78$	$I_{yzG} = -418,8$
Eslabón 1	$X_G = 215$	$I_{xG} = 0,711$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -8.203,6$	$I_{yG} = 0,53$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 691,72$	$I_{zG} = 0,184$	$I_{yzG} = 0,29$
Eslabón 2	$X_G = 0$	$I_{xG} = 6,83$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -8.524,91$	$I_{yG} = 7,35$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 638,9$	$I_{zG} = 4,151$	$I_{yzG} = -2,79$
Cuchara	$X_G = 0$	$I_{xG} = 124,76$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -9.233,52$	$I_{yG} = 137,51$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 497,06$	$I_{zG} = 192,22$	$I_{yzG} = -16,13$

2.3.2.2. Ensamblaje posición máxima profundidad de excavación

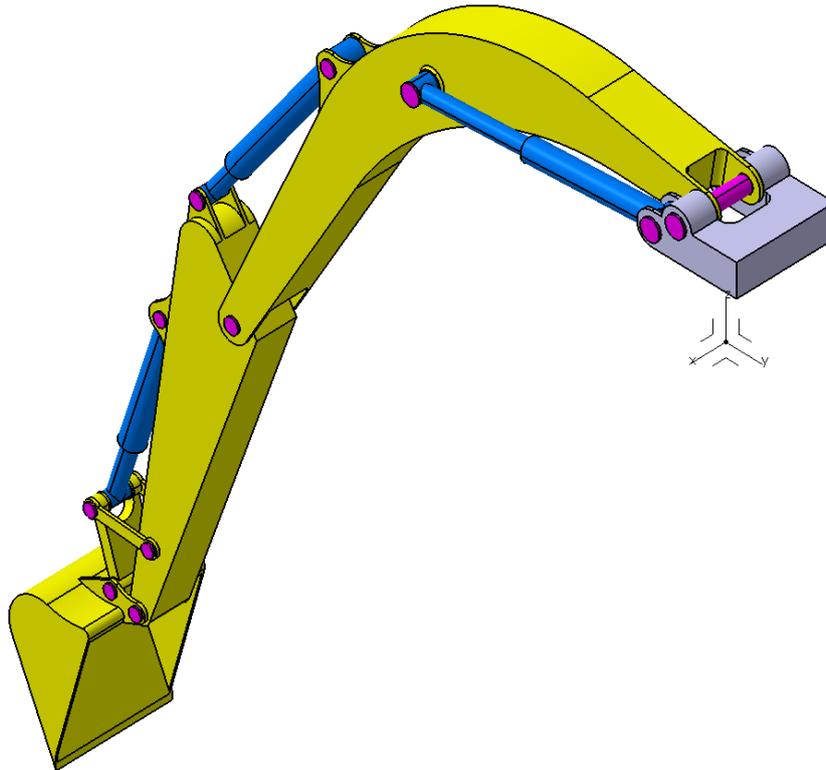


Tabla 2. Datos del ensamblaje en posición de máxima profundidad de excavación

	C.D.G (mm)	Momento de inercia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	Producto de inercia
Pluma	$X_G = 0$	$I_{xG} = 6.101,4$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -2.752,1$	$I_{yG} = 2.406,9$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 307,64$	$I_{zG} = 3.830,1$	$I_{xzG} = -2.504,8$
Brazo	$X_G = 0$	$I_{xG} = 1.165,2$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -5.230,6$	$I_{yG} = 1.086,07$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = -3.060,75$	$I_{zG} = 133,38$	$I_{xzG} = -212,7$
Eslabón 1	$X_G = 215$	$I_{xG} = 0,711$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -5.854,13$	$I_{yG} = 0,025$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = -4.352,4$	$I_{zG} = 0,69$	$I_{xzG} = 0,048$
Eslabón 2	$X_G = 0$	$I_{xG} = 6,83$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -6.025,96$	$I_{yG} = 8,24$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = -4.665,13$	$I_{zG} = 3,26$	$I_{xzG} = 2,03$
Cuchara	$X_G = 0$	$I_{xG} = 124,76$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -6.260,02$	$I_{yG} = 194,58$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = -5.394,12$	$I_{zG} = 135,15$	$I_{xzG} = -11,19$

2.3.2.3. Ensamblaje posición máxima altura de carga

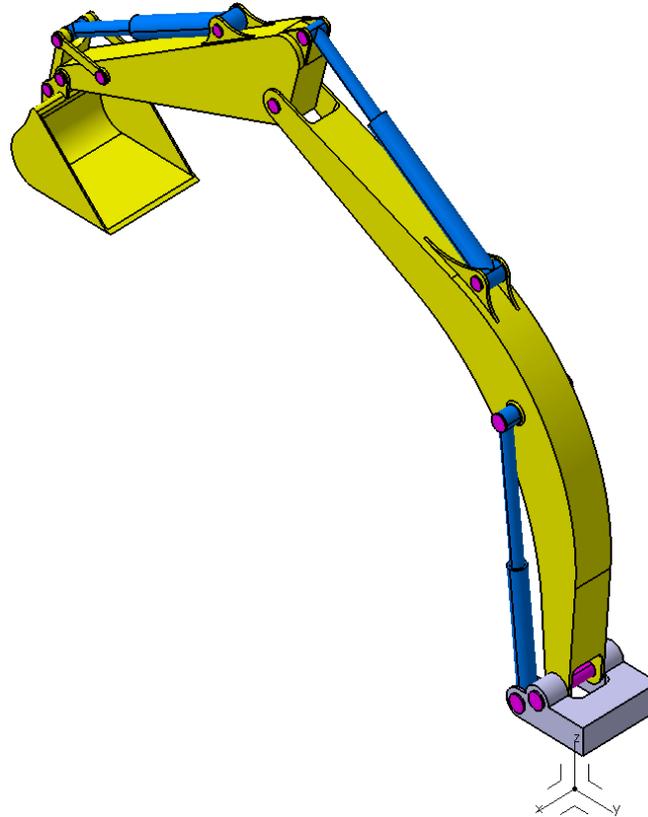


Tabla 3. Datos del ensamblaje en posición de máxima altura de carga

	C.D.G (mm)	Momento de inercia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	Producto de inercia
Pluma	$X_G = 0$	$I_{xG} = 6.101,4$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -1.128,83$	$I_{yG} = 3.384,32$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 3.863,82$	$I_{zG} = 2.852,63$	$I_{xzG} = 2.590,32$
Brazo	$X_G = 0$	$I_{xG} = 1.165,2$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -4.762,12$	$I_{yG} = 324,05$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 5.383,31$	$I_{zG} = 895,4$	$I_{xzG} = -436,51$
Eslabón 1	$X_G = 215$	$I_{xG} = 0,711$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -6.264,56$	$I_{yG} = 0,042$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 4.836,08$	$I_{zG} = 0,672$	$I_{xzG} = 0,116$
Eslabón 2	$X_G = 0$	$I_{xG} = 6,83$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -6.624,71$	$I_{yG} = 8,69$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 4.540,6$	$I_{zG} = 2,81$	$I_{xzG} = -1,3$
Cuchara	$X_G = 0$	$I_{xG} = 124,76$	$I_{xyG} = 0$
	$Y_G = -6.369,7$	$I_{yG} = 155,67$	$I_{xzG} = 0$
	$Z_G = 3.795,95$	$I_{zG} = 174,06$	$I_{xzG} = 30,4$

2.4. Análisis MEF

Una vez realizado el diseño de la geometría que van a tener los diferentes elementos que componen el brazo articulado de la retroexcavadora, es necesario seguir una serie de pasos para realizar el análisis mediante elementos finitos con el fin de calcular tensiones, deformaciones y desplazamientos. De esta manera se verificará que la geometría diseñada es capaz de soportar correctamente las solicitaciones a las que va a estar sometida.

1- Asignar un material

En este caso el material empleado en el diseño de los elementos a analizar (pluma, brazo, eslabón 1, eslabón 2 y cuchara) es el mismo. Se trata del acero estructural S235 (F-1110), cuyas propiedades proporcionadas por CATIA son las siguientes:

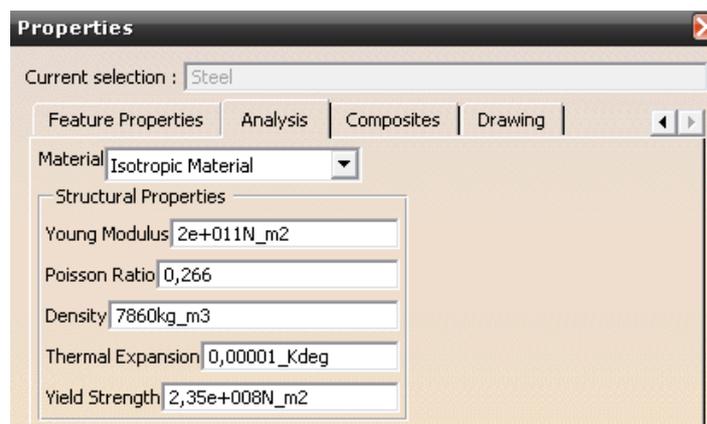


Figura 25. Propiedades del material S235 empleadas por CATIA

2- Generar un tipo de mallado

Para realizar el mallado se ha escogido elementos de tipo “tetraedros parabólicos” (de orden superior), debido a que poseen mayor número de nodos, lo que se traduce en una mayor precisión en el resultado final obtenido.

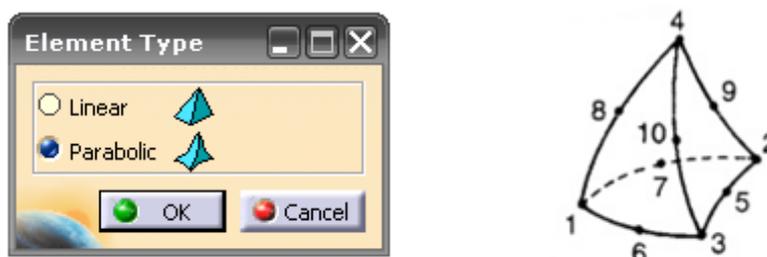


Figura 26. Tetraedro parabólico (TE10) de 10 nodos



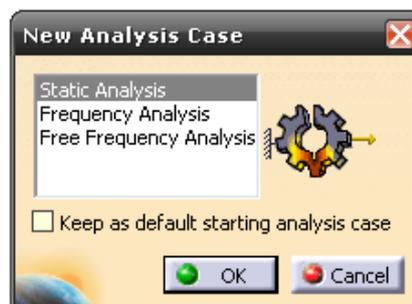
Figura 27. Mallado de la pluma

3- Definición de cargas y condiciones de contorno

Es necesario introducir las solicitaciones (cargas externas) a las que va a estar sometido cada elemento del brazo articulado. También es necesario aplicar las condiciones de contorno de manera que se restrinja el movimiento.

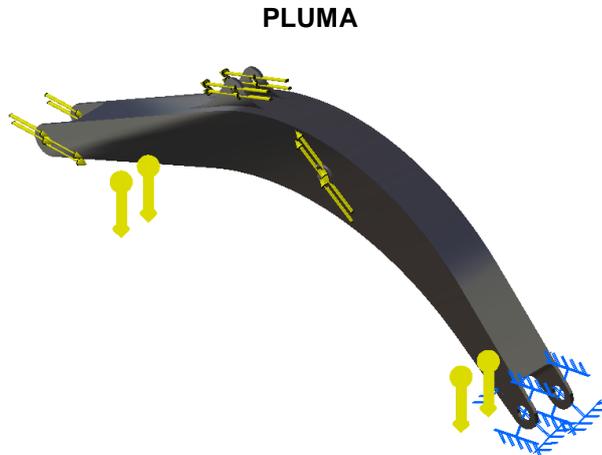
4- Elección del tipo de análisis

El último paso consiste en definir qué tipo de análisis se va a realizar. Como se ha comentado en la memoria, se va a realizar un análisis estático-lineal para cada elemento en las tres posiciones críticas a analizar.



2.4.1. Informe de los análisis realizados

2.4.1.1. Posición de mayor alcance a nivel del suelo



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 584606
 Number of elements : 330401
 Number of D.O.F. : 1753818
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 330401

ELEMENT QUALITY:

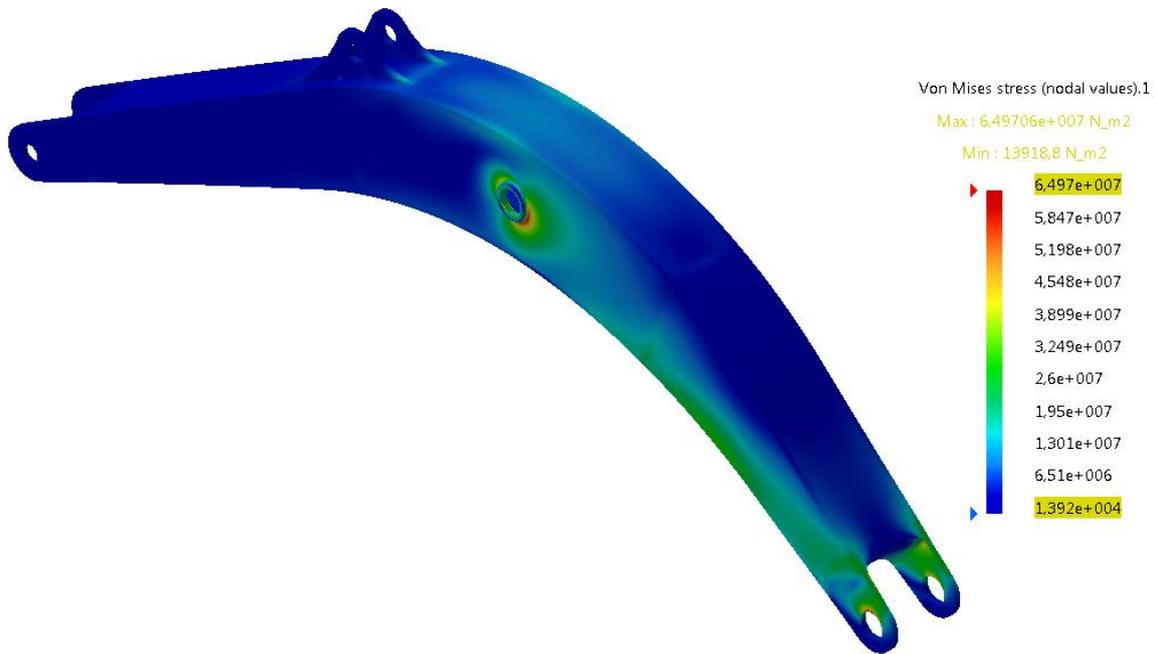
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	330401 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,349	0,594
Aspect Ratio	330401 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4,235	2,239

Strain Energy : 5.564e+001 J

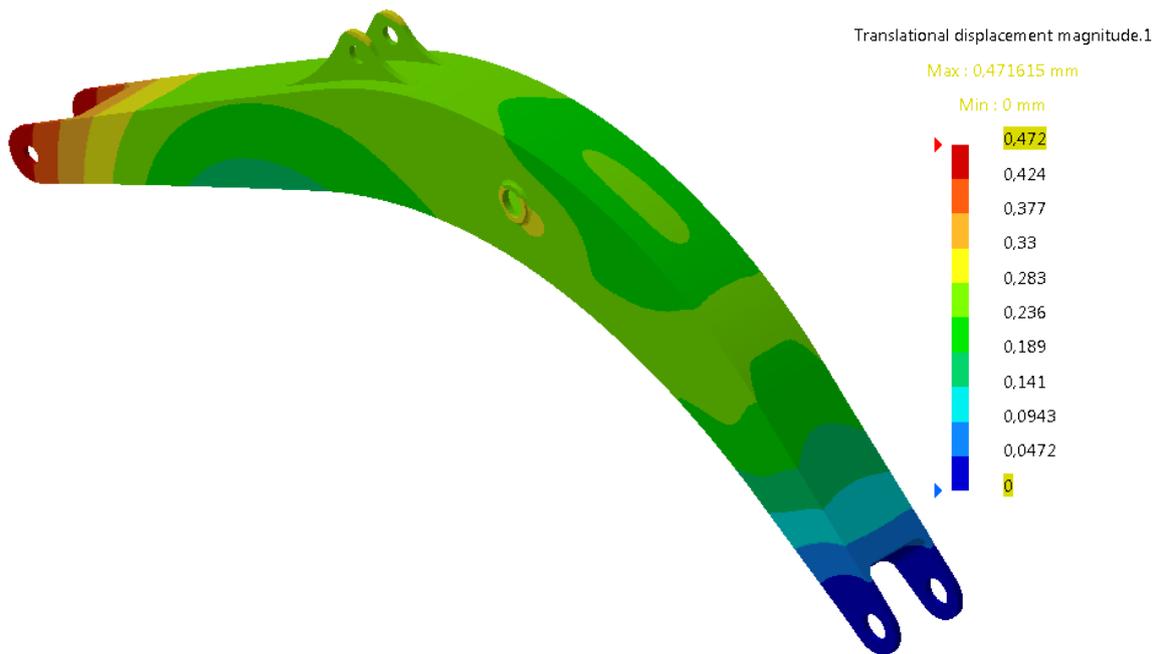
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	-8.0212e-007	7.7643e-007	-2.5692e-008	6.4965e-012
Fy (N)	-3.4436e+005	3.4436e+005	1.3958e-007	3.5295e-011
Fz (N)	1.9751e+005	-1.9751e+005	-1.1289e-007	2.8546e-011
Mx (Nxm)	4.4176e+005	-4.4176e+005	-2.1537e-008	9.2099e-013
My (Nxm)	-1.5821e-003	1.5821e-003	-9.2421e-008	3.9522e-012
Mz (Nxm)	1.0671e-004	-1.0690e-004	-1.9460e-007	8.3218e-012

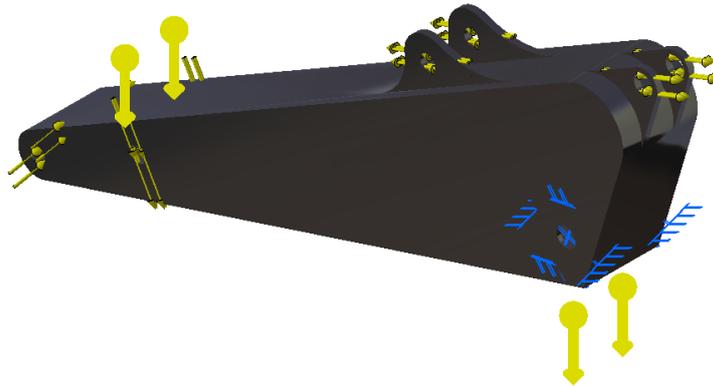
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



BRAZO



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 275670
 Number of elements : 145646
 Number of D.O.F. : 827010
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 145646

ELEMENT QUALITY:

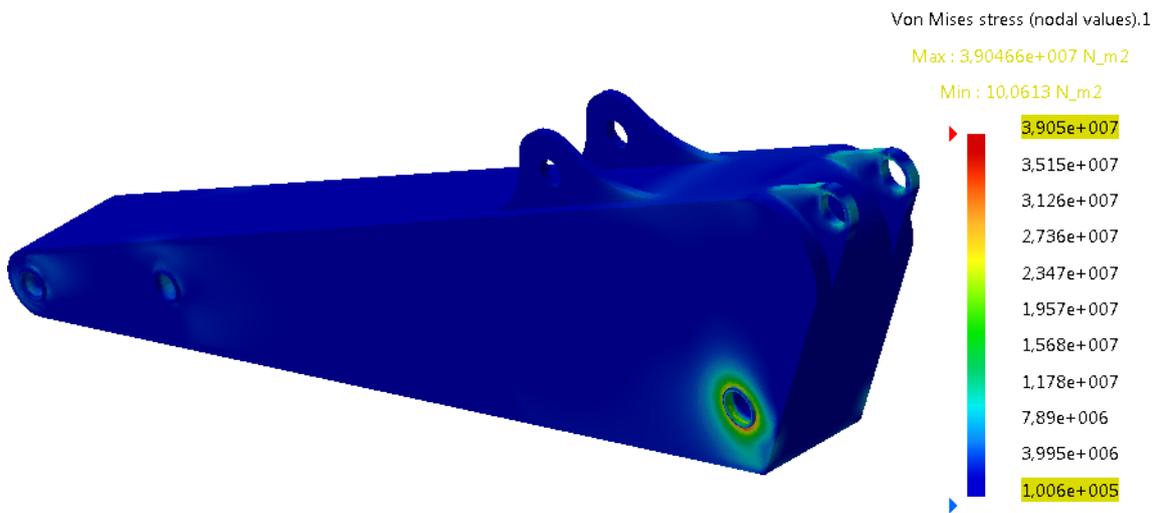
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	145646 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,313	0,588
Aspect Ratio	145646 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4,745	2,239

Strain Energy : 1.663e+000 J

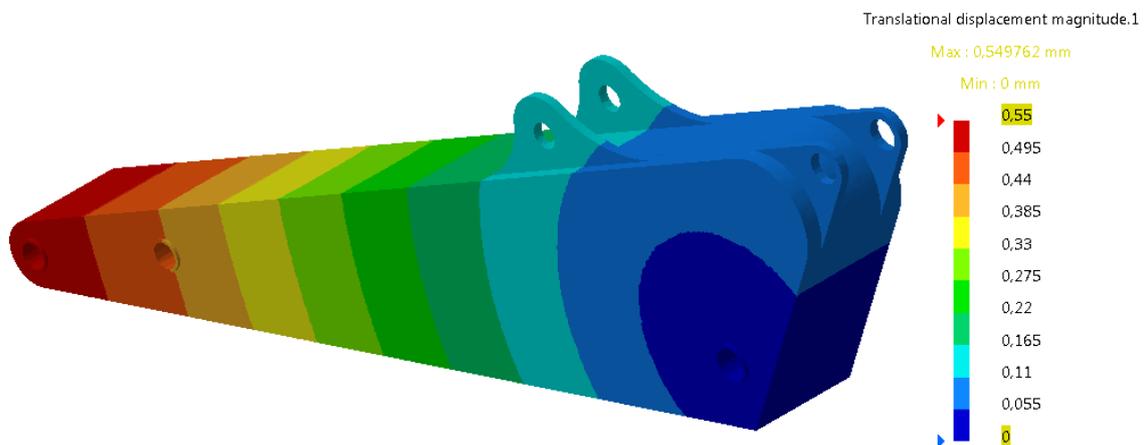
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	3.1292e-008	2.4372e-008	5.5665e-008	3.8196e-011
Fy (N)	3.2681e+004	-3.2681e+004	9.4617e-008	6.4923e-011
Fz (N)	-2.6791e+003	2.6791e+003	-1.7240e-007	1.1829e-010
Mx (Nxm)	-9.3107e+004	9.3107e+004	-3.6962e-009	6.3440e-013
My (Nxm)	-2.9540e-004	2.9556e-004	1.6096e-007	2.7627e-011
Mz (Nxm)	-1.4965e-006	1.6184e-006	1.2184e-007	2.0912e-011

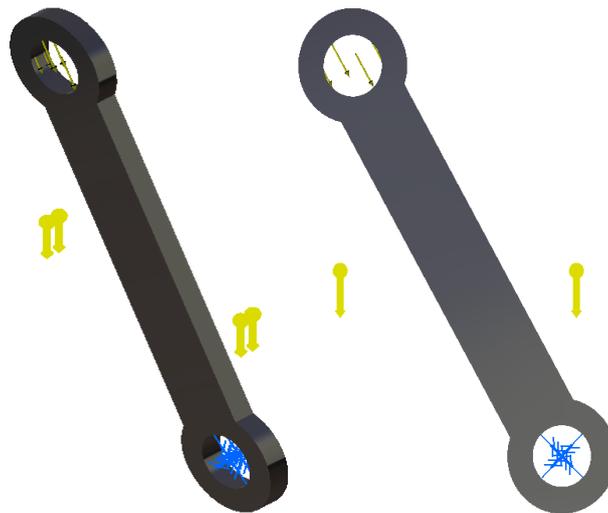
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



ESLABÓN 1



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 28683
 Number of elements : 17292
 Number of D.O.F. : 86049
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 17292

ELEMENT QUALITY:

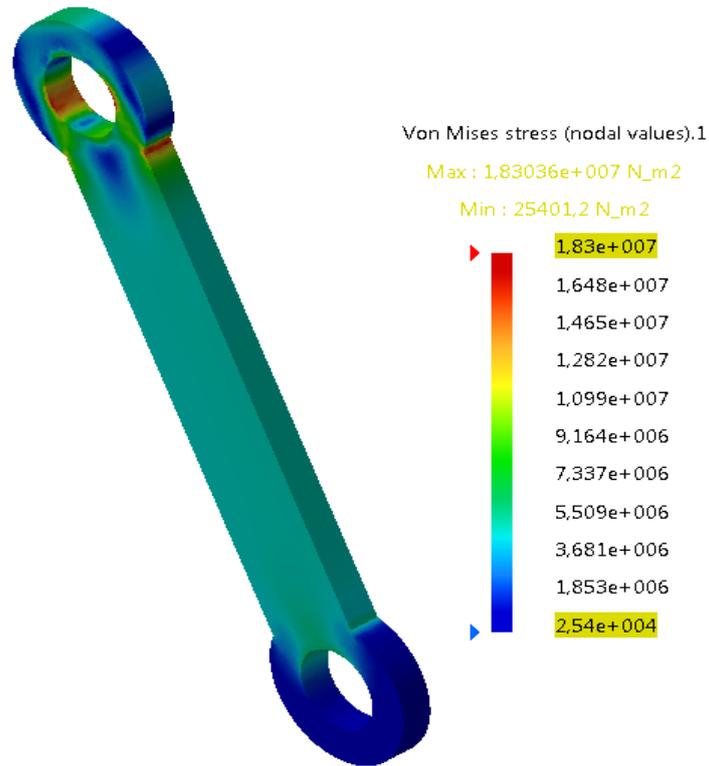
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	17292 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,427	0,658
Aspect Ratio	17292 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	3,156	1,837

Strain Energy : 1.122e-001 J

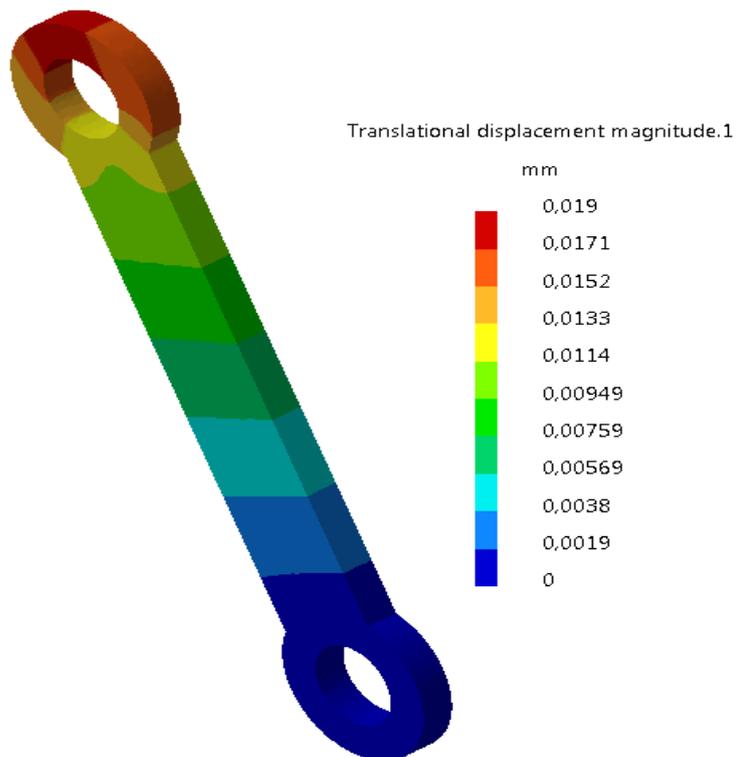
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	-4.1269e-008	4.1510e-008	2.4093e-010	1.4181e-012
Fy (N)	7.2447e+003	-7.2447e+003	6.9667e-010	4.1006e-012
Fz (N)	-1.2853e+004	1.2853e+004	1.0987e-009	6.4667e-012
Mx (Nxm)	-9.3208e-001	9.3208e-001	-6.6481e-010	6.7228e-012
My (Nxm)	-9.5357e-008	9.5451e-008	9.4529e-011	9.5592e-013
Mz (Nxm)	8.6205e-009	-8.5469e-009	7.3557e-011	7.4384e-013

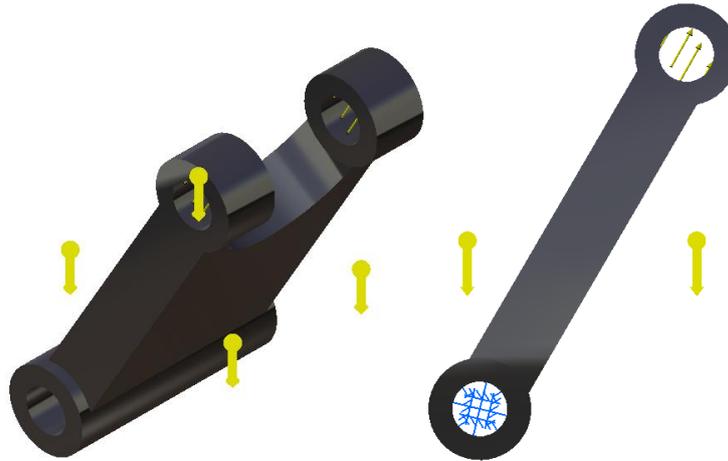
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



ESLABÓN 2



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 62599
 Number of elements : 39353
 Number of D.O.F. : 187797
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 39353

ELEMENT QUALITY:

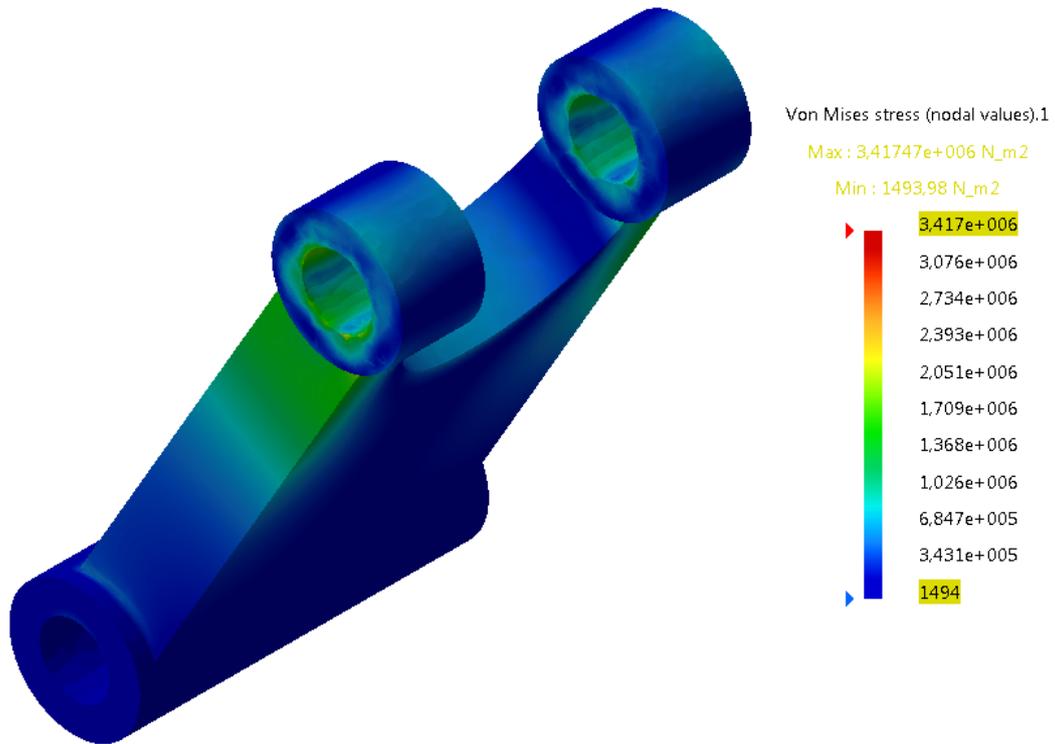
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	39353 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,343	0,644
Aspect Ratio	39353 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	3,991	1,827

Strain Energy : 9.971e-003 J

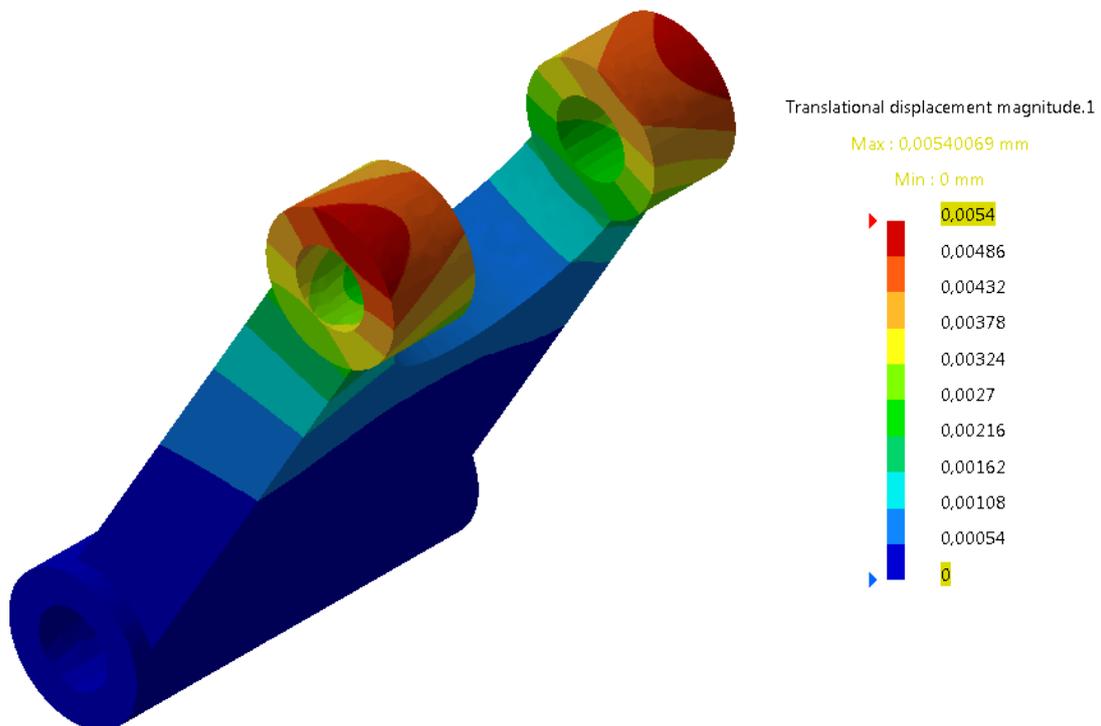
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	4.1955e-009	-3.8763e-009	3.1924e-010	1.5933e-011
Fy (N)	5.3683e+003	-5.3683e+003	1.0368e-010	5.1748e-012
Fz (N)	7.8689e+003	-7.8689e+003	2.6375e-010	1.3164e-011
Mx (Nxm)	1.4917e+003	-1.4917e+003	-1.1141e-011	1.4795e-012
My (Nxm)	-4.7276e-007	4.7283e-007	6.1915e-011	8.2219e-012
Mz (Nxm)	-3.5752e-007	3.5751e-007	-8.5753e-012	1.1387e-012

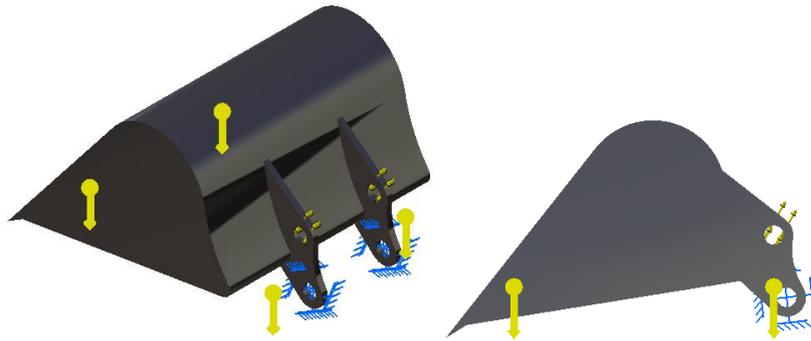
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



CUCHARA



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 352610
 Number of elements : 202003
 Number of D.O.F. : 1057830
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 202003

ELEMENT QUALITY:

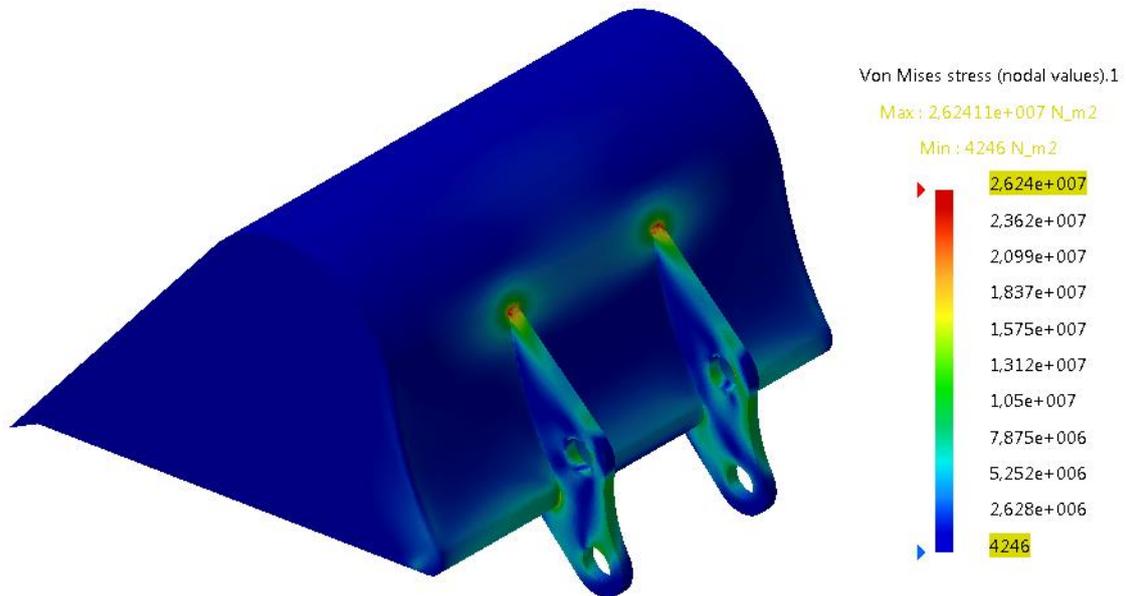
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	202003 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,309	0,633
Aspect Ratio	202003 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4,180	1,891

Strain Energy : 6.500e-001 J

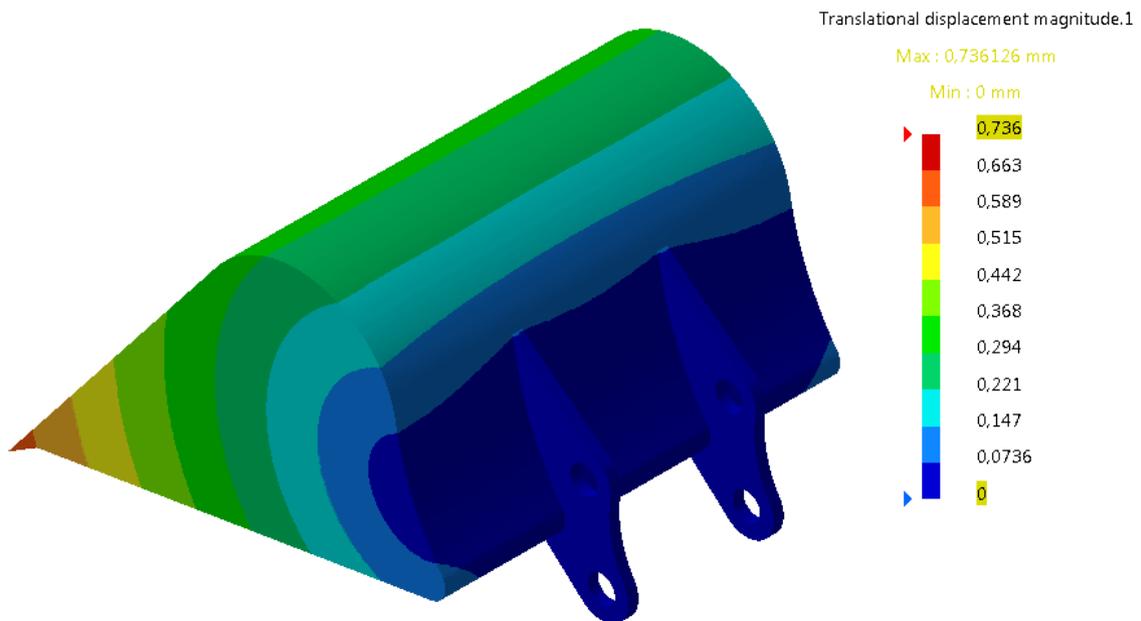
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	8.1270e-010	-3.0468e-008	-2.9656e-008	6.9881e-011
Fy (N)	5.3158e+003	-5.3158e+003	2.2184e-007	5.2274e-010
Fz (N)	2.8382e+003	-2.8382e+003	-4.2357e-007	9.9812e-010
Mx (Nxm)	1.9559e+003	-1.9559e+003	5.2008e-007	8.7280e-010
My (Nxm)	1.5935e-005	-1.6106e-005	-1.7118e-007	2.8728e-010
Mz (Nxm)	-3.8348e-007	3.2255e-007	-6.0935e-008	1.0226e-010

Análisis de tensiones

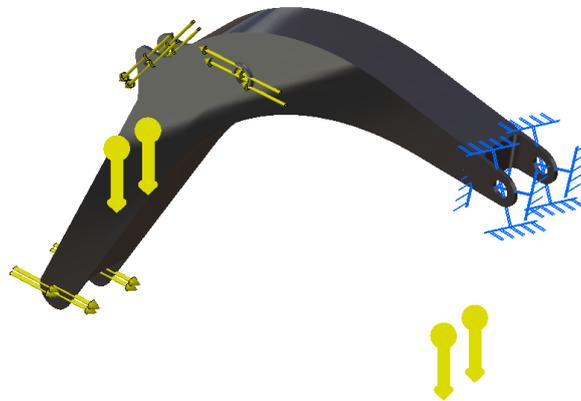


Análisis de desplazamientos



2.4.1.2. Posición de máxima profundidad de excavación

PLUMA



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 590084
 Number of elements : 333453
 Number of D.O.F. : 1770252
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 333453

ELEMENT QUALITY:

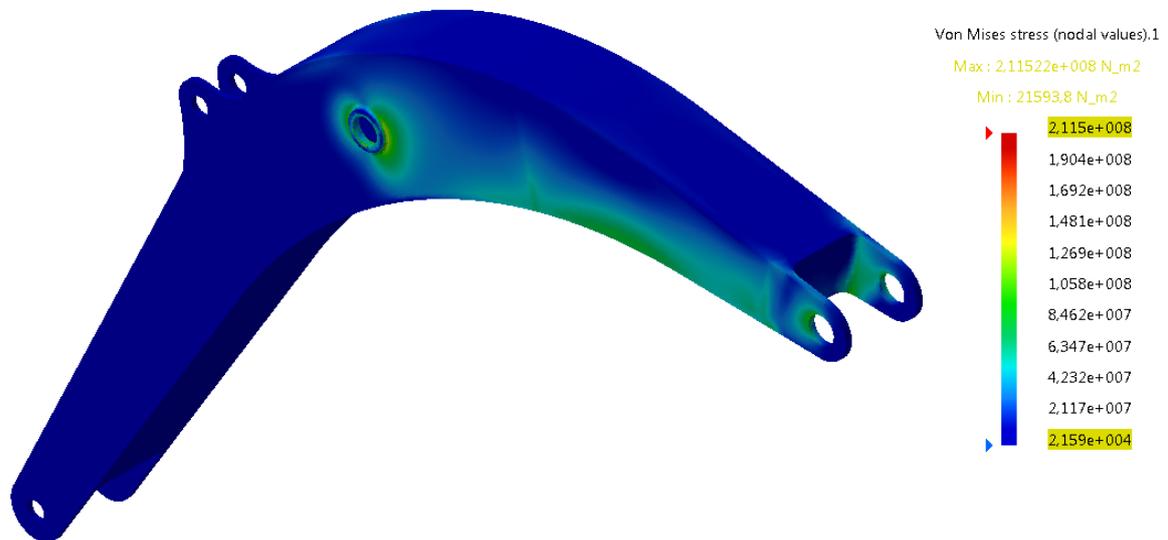
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	333453 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,315	0,594
Aspect Ratio	333453 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4,475	2,240

Strain Energy : 3.374e+002 J

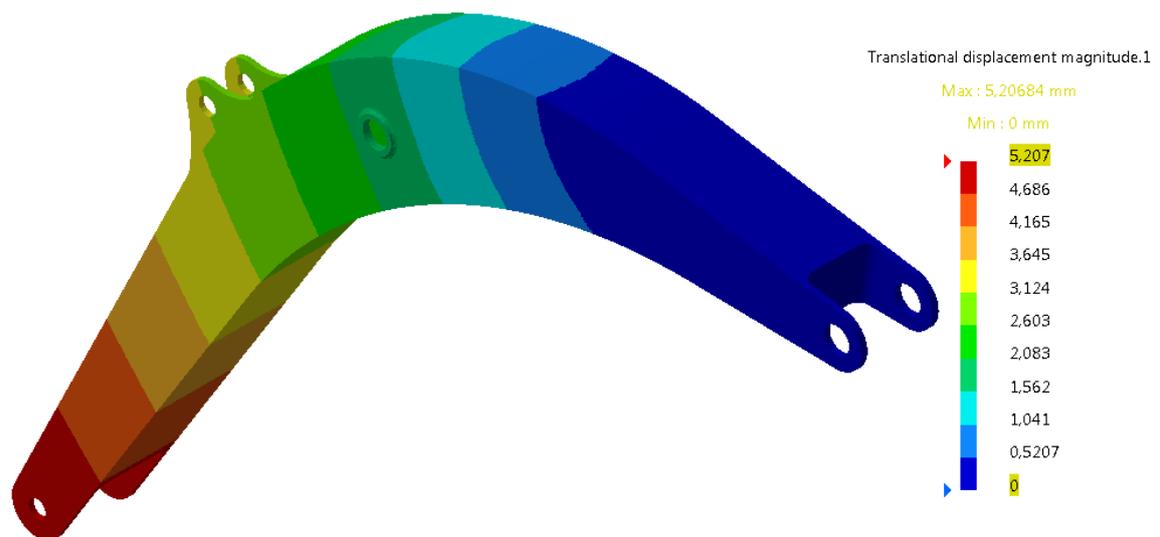
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	1.3554e-006	-9.1272e-007	4.4266e-007	6.6258e-011
Fy (N)	-9.6196e+005	9.6196e+005	-3.2223e-006	4.8231e-010
Fz (N)	-1.0010e+005	1.0010e+005	4.1949e-006	6.2789e-010
Mx (Nxm)	1.1829e+006	-1.1829e+006	-1.5386e-005	4.7280e-010
My (Nxm)	-4.9727e-003	4.9717e-003	-9.6331e-007	2.9603e-011
Mz (Nxm)	1.1104e-004	-1.0865e-004	2.3901e-006	7.3448e-011

Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



BRAZO



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 268134
 Number of elements : 141424
 Number of D.O.F. : 804402
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 141424

ELEMENT QUALITY:

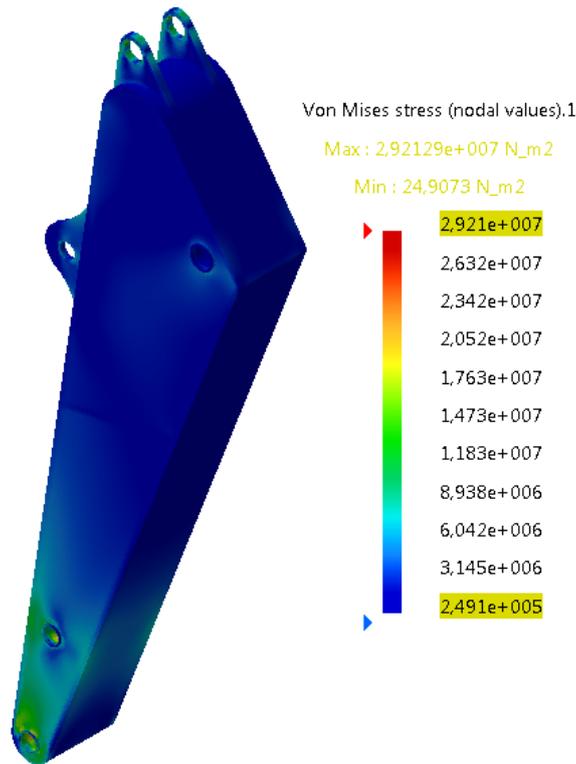
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	141424 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,333	0,593
Aspect Ratio	141424 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4,300	2,253

Strain Energy : 3.751e+000 J

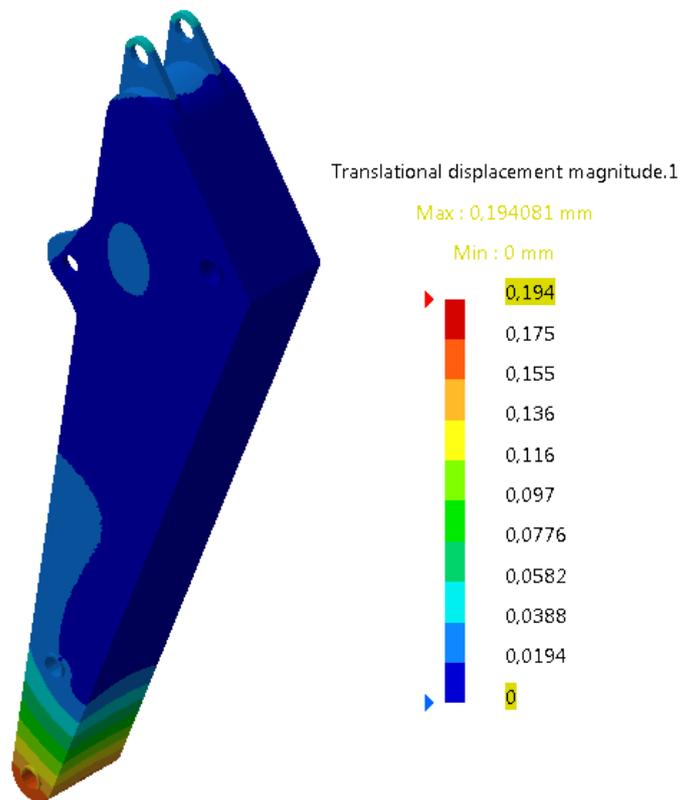
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	4.1691e-009	-1.5094e-008	-1.0925e-008	3.6812e-011
Fy (N)	2.2101e+004	-2.2101e+004	-4.9848e-008	1.6796e-010
Fz (N)	1.2674e+004	-1.2674e+004	1.9059e-008	6.4220e-011
Mx (Nxm)	-6.4231e+004	6.4231e+004	1.0950e-008	9.3762e-012
My (Nxm)	5.0449e-004	-5.0451e-004	-1.9447e-008	1.6652e-011
Mz (Nxm)	-3.0346e-006	3.0296e-006	-5.0133e-009	4.2926e-012

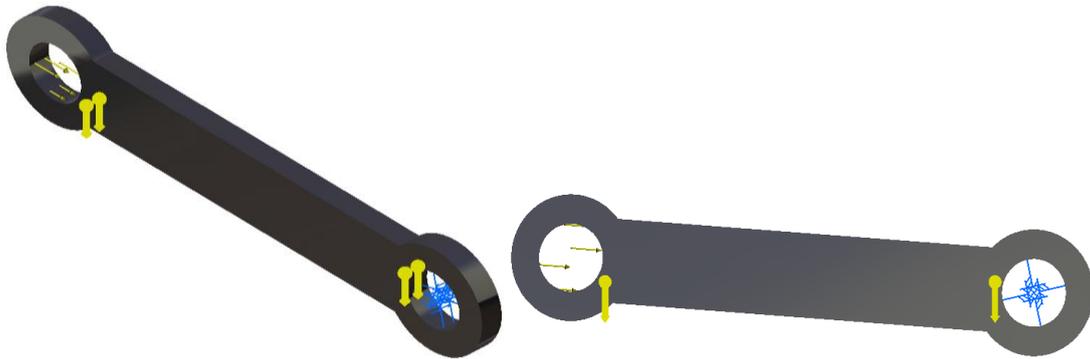
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



ESLABÓN 1



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 109531
 Number of elements : 68367
 Number of D.O.F. : 328593
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 68367

ELEMENT QUALITY:

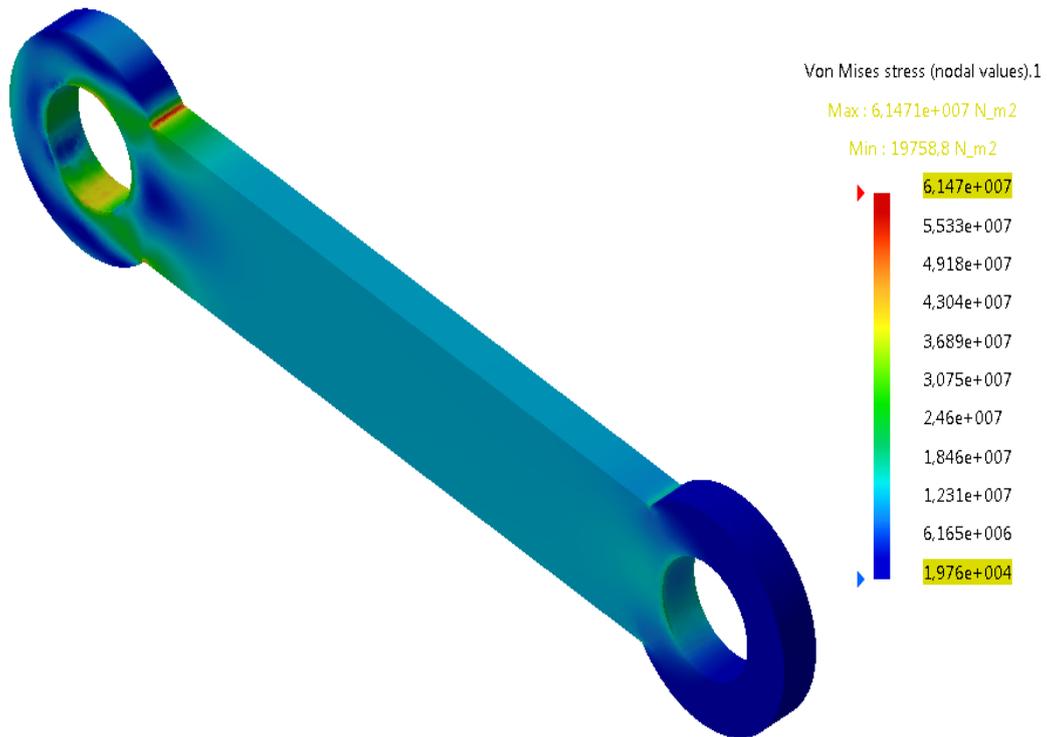
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	68367 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,402	0,628
Aspect Ratio	68367 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	3,727	1,869

Strain Energy : 8.317e-001 J

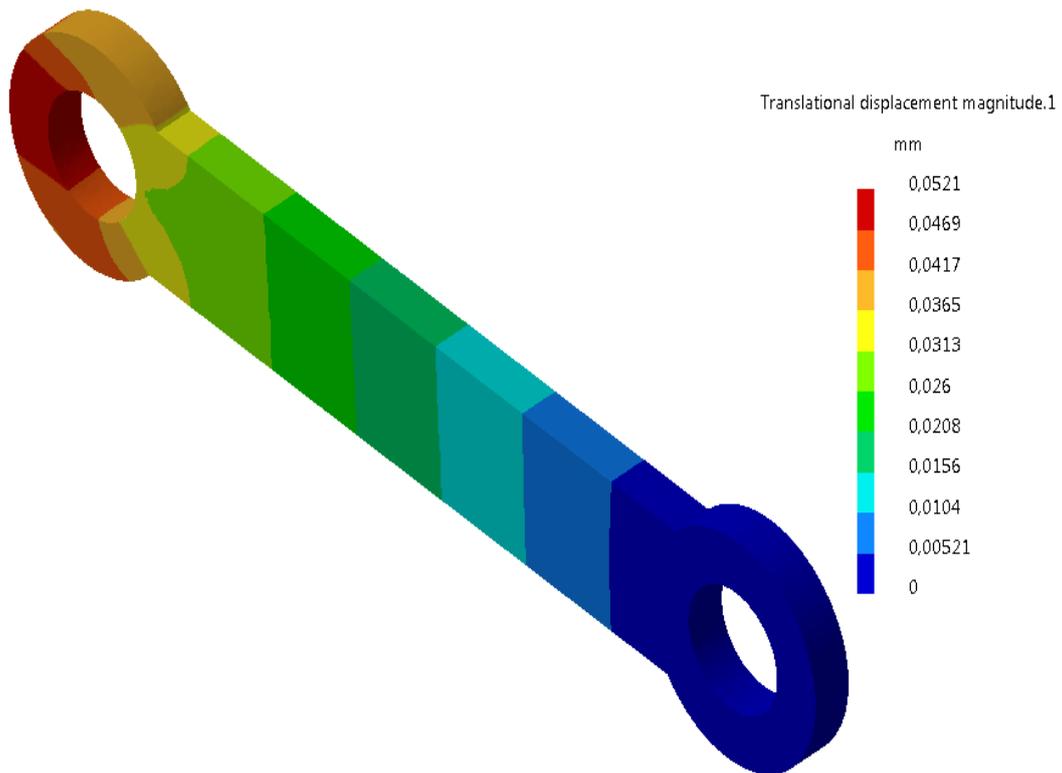
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	5.2883e-008	-5.3908e-008	-1.0243e-009	5.8923e-012
Fy (N)	3.9763e+004	-3.9763e+004	9.7862e-009	5.6294e-011
Fz (N)	-2.9750e+003	2.9750e+003	-1.8704e-009	1.0759e-011
Mx (Nxm)	-4.6925e+001	4.6925e+001	1.5075e-010	1.3211e-012
My (Nxm)	-4.4965e-009	4.5674e-009	7.0861e-011	6.2098e-013
Mz (Nxm)	-2.3755e-007	2.3769e-007	1.4116e-010	1.2371e-012

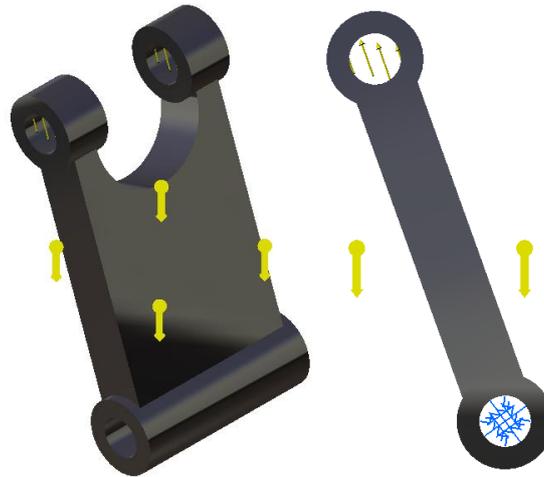
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



ESLABÓN 2



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 60650
 Number of elements : 38155
 Number of D.O.F. : 181950
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 38155

ELEMENT QUALITY:

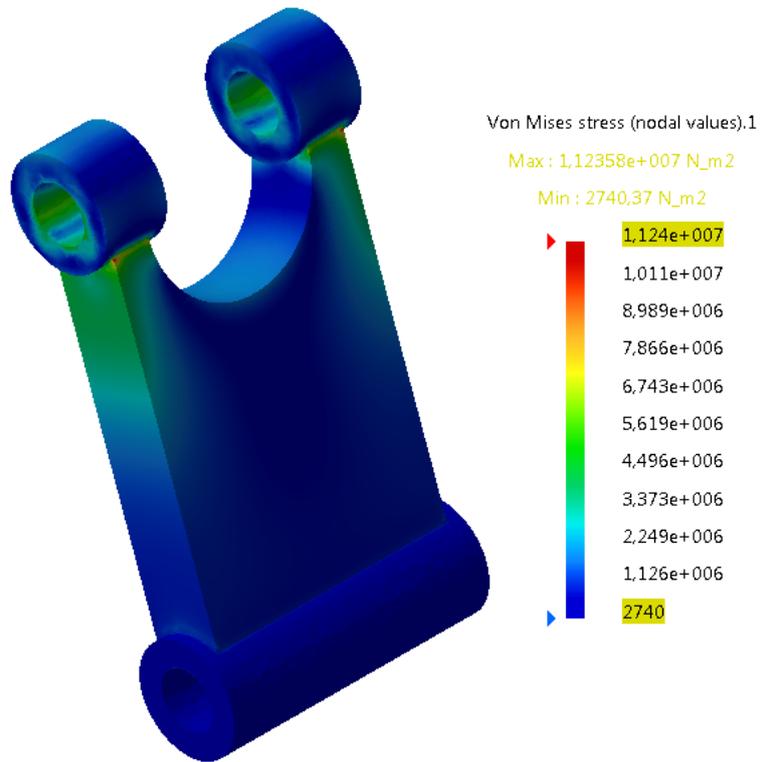
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	38155 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,385	0,649
Aspect Ratio	38155 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	3,803	1,826

Strain Energy : 8.425e-002 J

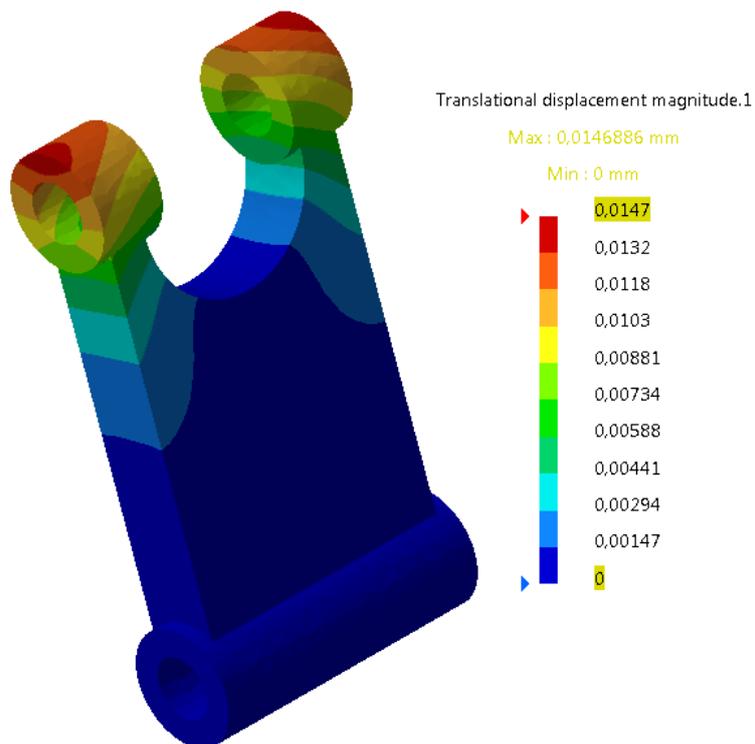
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	-9.3714e-009	1.0624e-008	1.2526e-009	1.1645e-011
Fy (N)	-1.0363e+004	1.0363e+004	-2.4193e-010	2.2490e-012
Fz (N)	2.7802e+004	-2.7802e+004	4.0745e-010	3.7878e-012
Mx (Nxm)	-3.0534e+003	3.0534e+003	-3.1832e-012	7.8913e-014
My (Nxm)	2.3138e-005	-2.3138e-005	3.9576e-010	9.8111e-012
Mz (Nxm)	1.0665e-006	-1.0662e-006	3.5691e-010	8.8479e-012

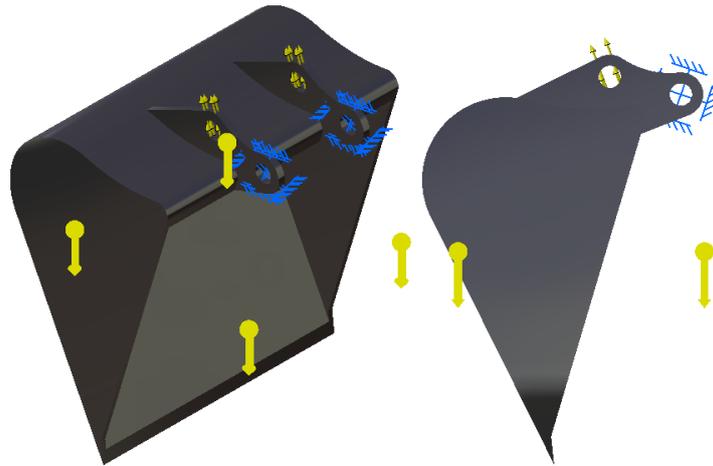
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



CUCHARA



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 342254
 Number of elements : 197047
 Number of D.O.F. : 1026762
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 197047

ELEMENT QUALITY:

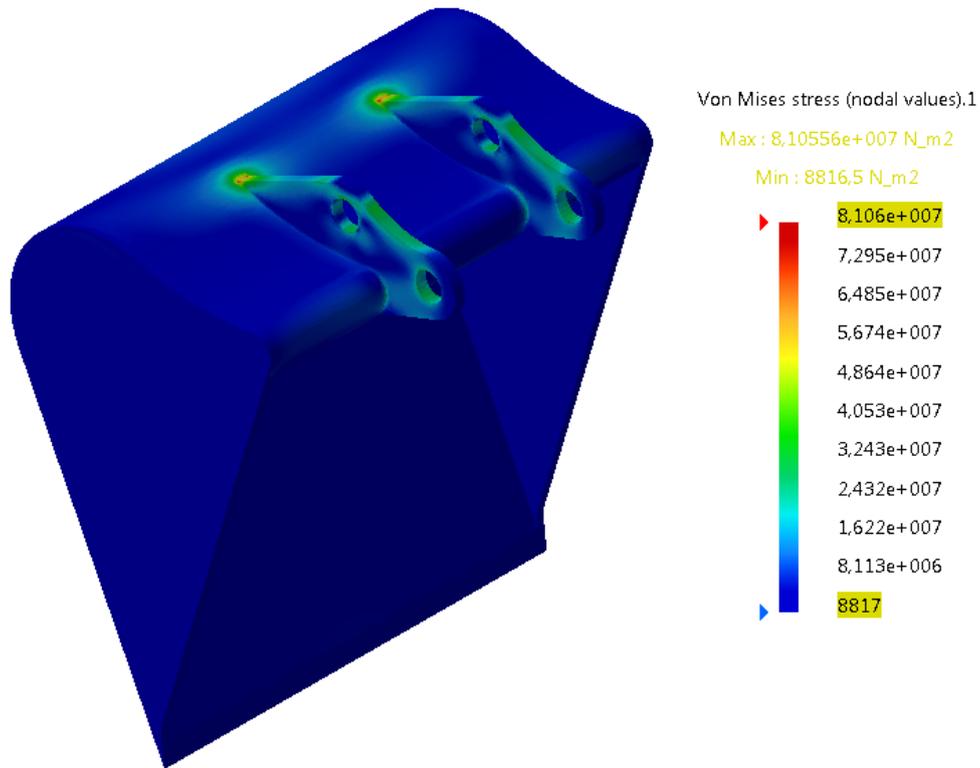
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	197047 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,311	0,635
Aspect Ratio	197047 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4,513	1,933

Strain Energy : 3.927e+000 J

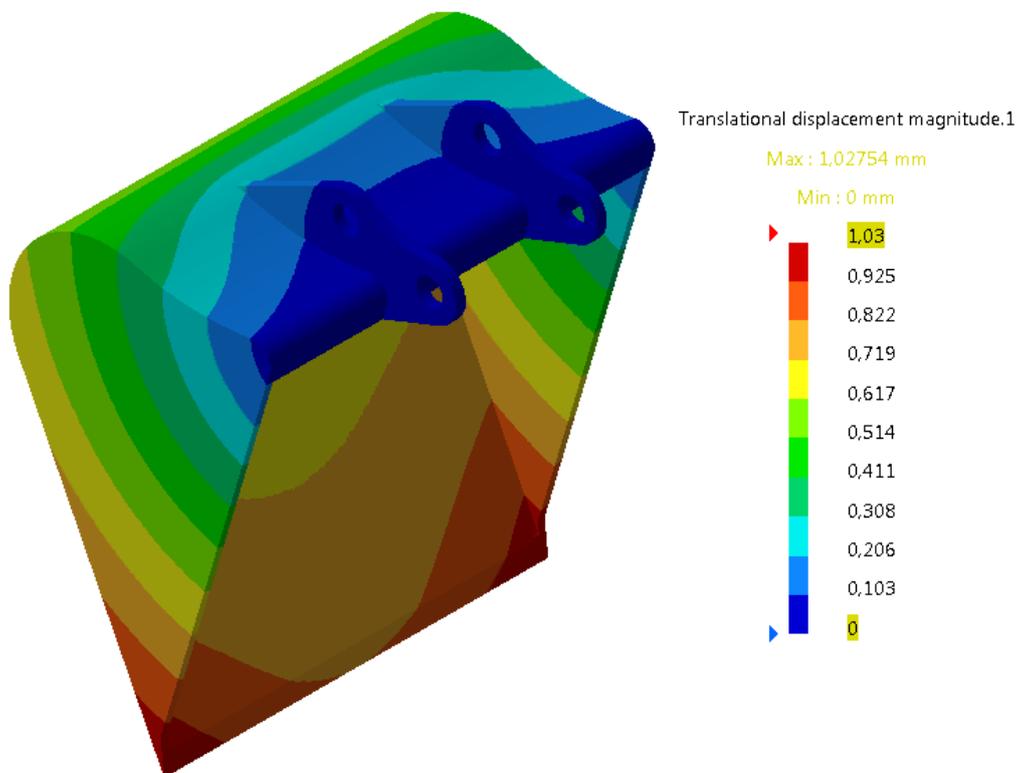
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	-8.6175e-010	7.0323e-008	6.9461e-008	5.4235e-011
Fy (N)	-1.0411e+004	1.0411e+004	1.8561e-008	1.4492e-011
Fz (N)	5.0454e+003	-5.0454e+003	2.8221e-007	2.2035e-010
Mx (Nxm)	6.8496e+003	-6.8496e+003	-3.2088e-007	1.8707e-010
My (Nxm)	2.5605e-002	-2.5605e-002	-1.7858e-007	1.0411e-010
Mz (Nxm)	-8.0077e-007	9.4038e-007	1.3961e-007	8.1390e-011

Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



2.4.1.3. Posición de máxima altura de carga

PLUMA



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 590821
 Number of elements : 334134
 Number of D.O.F. : 1772463
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 334134

ELEMENT QUALITY:

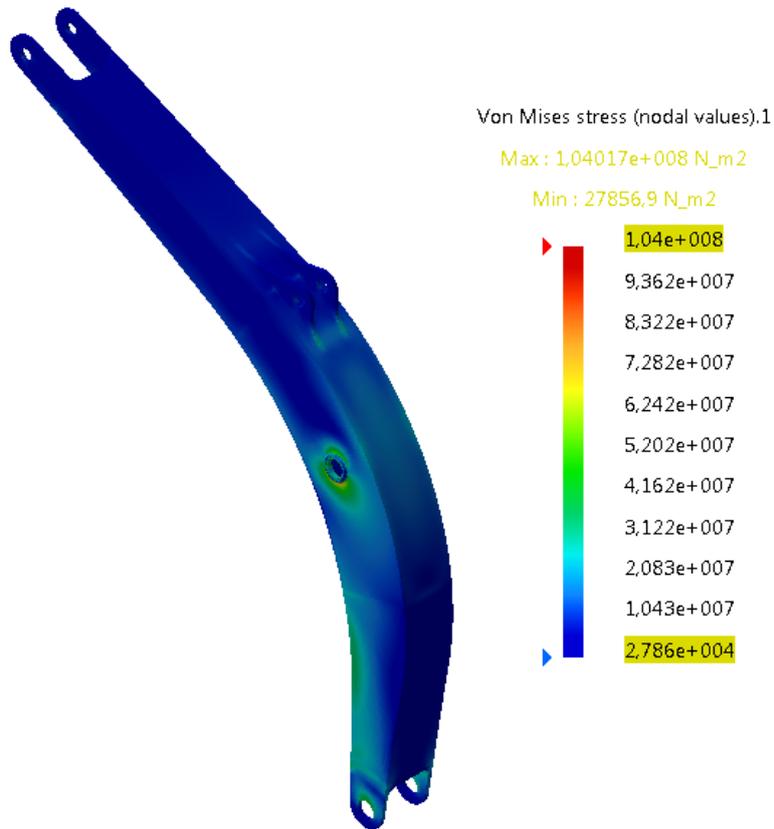
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	334134 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,316	0,595
Aspect Ratio	334134 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4,926	2,231

Strain Energy : 9.919e+001 J

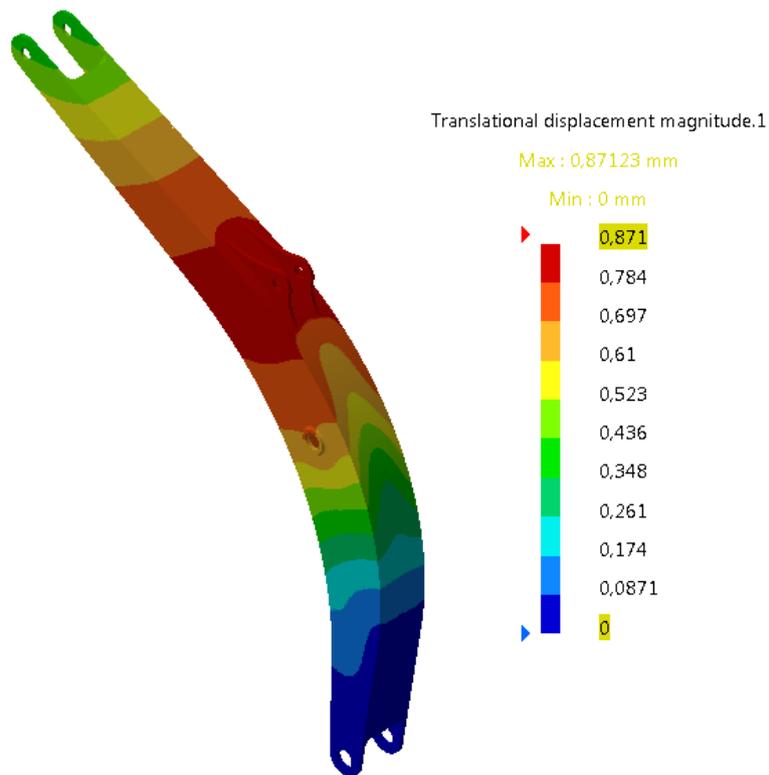
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	8.9713e-009	2.2208e-007	2.3105e-007	5.7026e-011
Fy (N)	-2.0682e+004	2.0682e+004	2.5902e-007	6.3930e-011
Fz (N)	4.9577e+005	-4.9577e+005	5.9785e-007	1.4756e-010
Mx (Nxm)	3.5058e+004	-3.5058e+004	-1.6792e-006	6.8269e-011
My (Nxm)	-2.1244e-003	2.1255e-003	1.1016e-006	4.4785e-011
Mz (Nxm)	1.7237e-005	-1.6728e-005	5.0839e-007	2.0669e-011

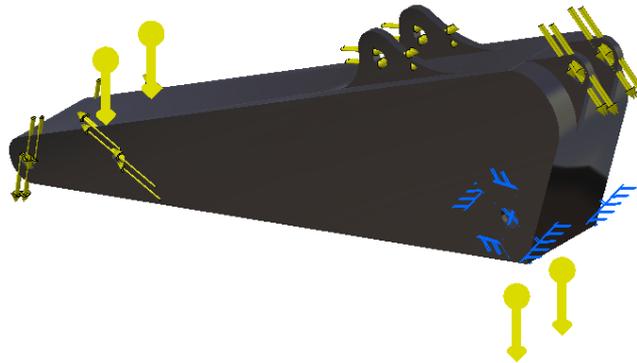
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



BRAZO



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 276498
 Number of elements : 146013
 Number of D.O.F. : 829494
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 146013

ELEMENT QUALITY:

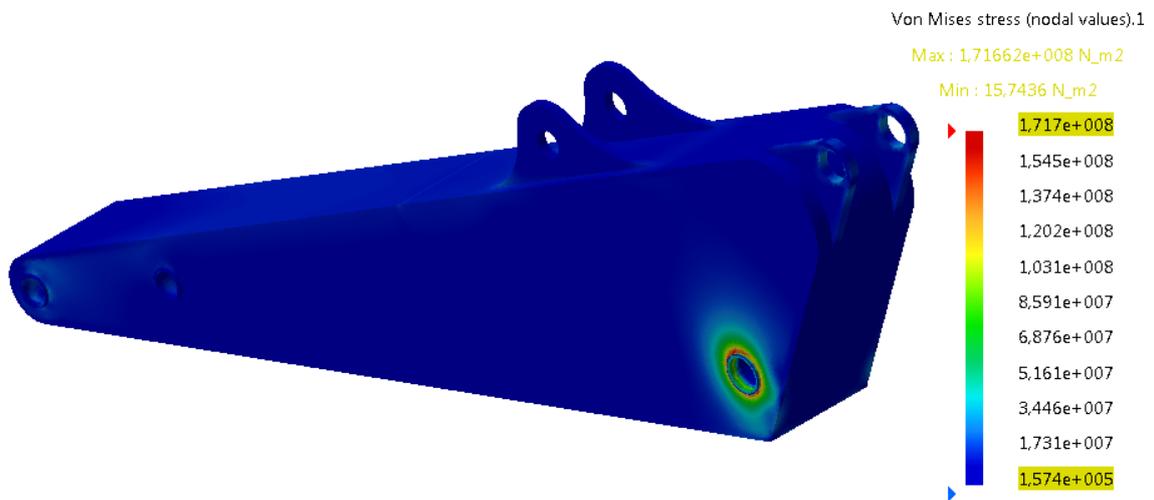
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	146013 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,332	0,588
Aspect Ratio	146013 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4,119	2,235

Strain Energy : 3.463e+001 J

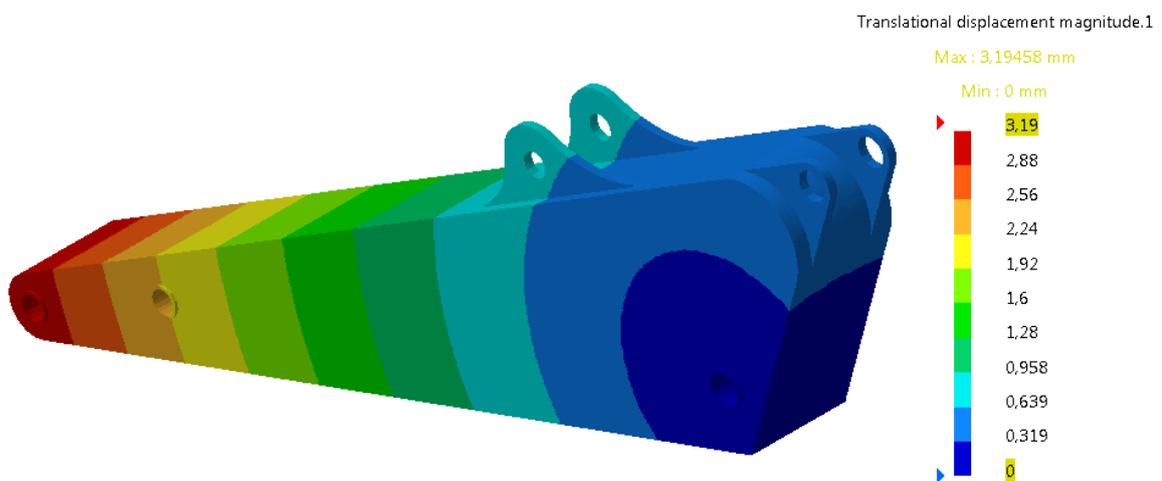
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	-2.8523e-007	4.2887e-007	1.4364e-007	1.7792e-011
Fy (N)	1.6336e+004	-1.6336e+004	1.4027e-006	1.7375e-010
Fz (N)	-7.2666e+004	7.2666e+004	3.9460e-007	4.8879e-011
Mx (Nxm)	-3.1008e+004	3.1008e+004	-4.4689e-006	1.3816e-010
My (Nxm)	-1.8410e-003	1.8417e-003	7.1514e-007	2.2108e-011
Mz (Nxm)	-4.1628e-006	4.4923e-006	3.2945e-007	1.0185e-011

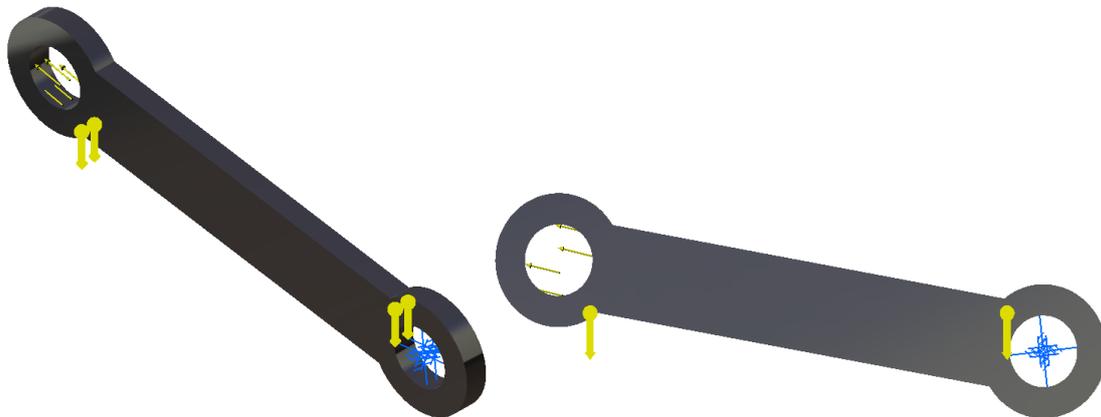
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



ESLABÓN 1



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 111552
 Number of elements : 69806
 Number of D.O.F. : 334656
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 69806

ELEMENT QUALITY:

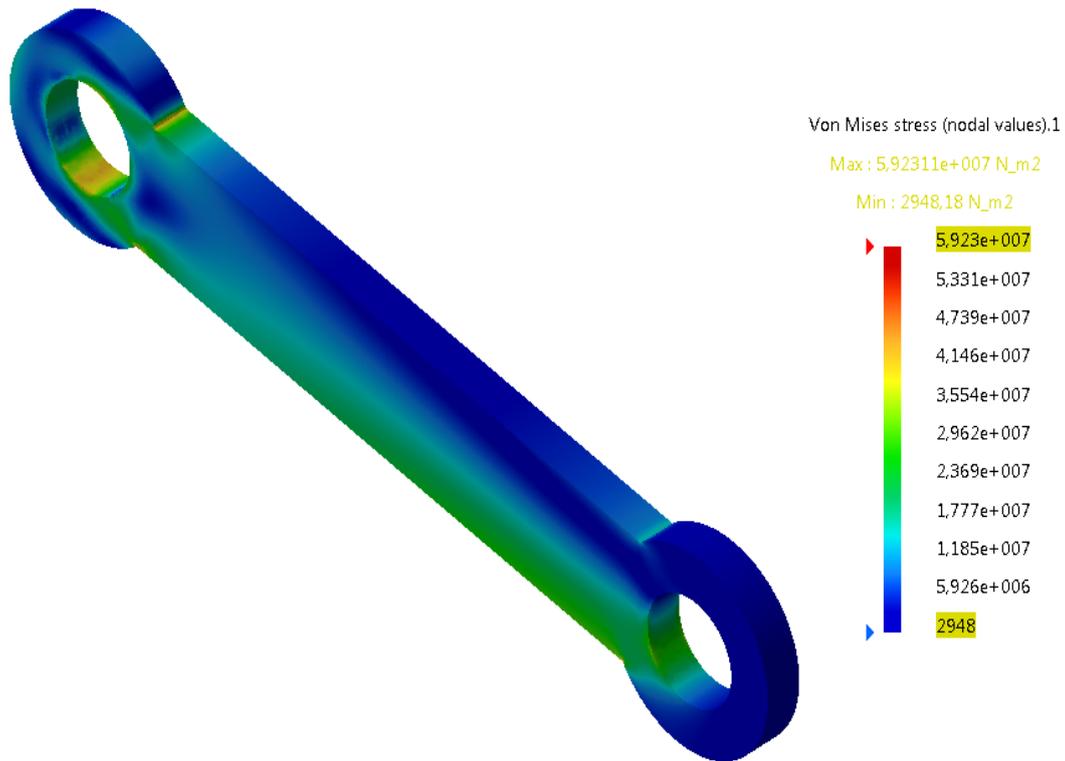
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	69806 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,402	0,631
Aspect Ratio	69806 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	3,523	1,860

Strain Energy : 8.923e-001 J

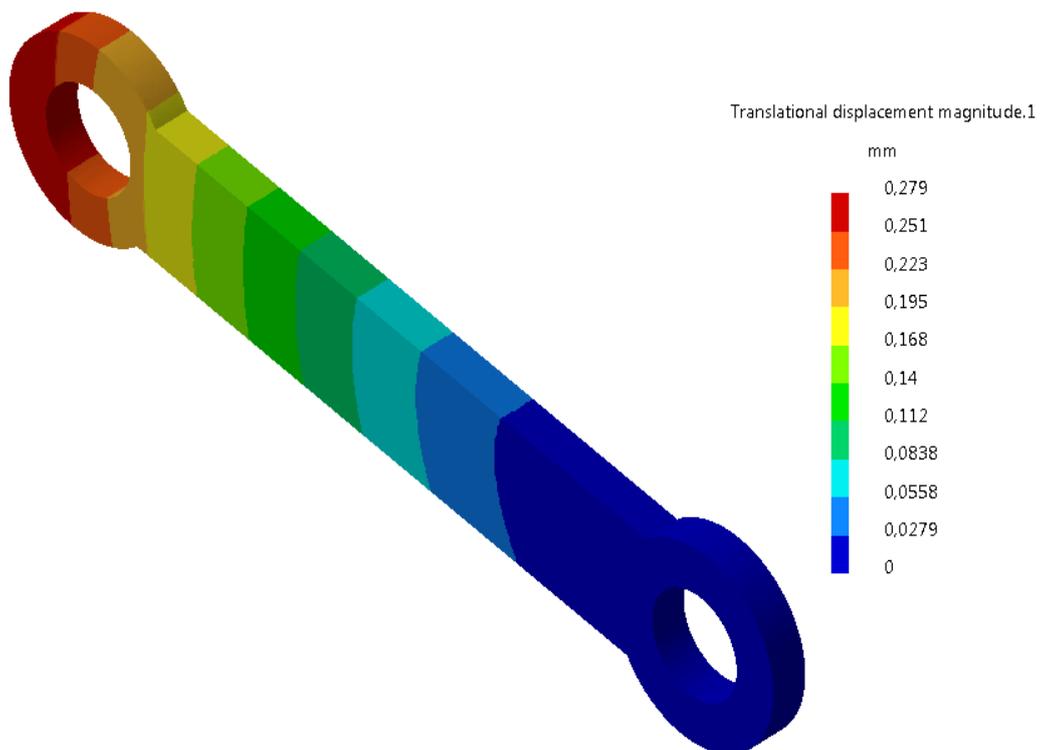
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	-4.3219e-009	5.2063e-009	8.8439e-010	3.3049e-012
Fy (N)	-3.4693e+004	3.4693e+004	7.3487e-009	2.7461e-011
Fz (N)	8.0446e+003	-8.0446e+003	4.4010e-009	1.6446e-011
Mx (Nxm)	-4.6320e+001	4.6320e+001	7.1290e-009	4.1053e-011
My (Nxm)	-1.0856e-007	1.0789e-007	-6.6380e-010	3.8226e-012
Mz (Nxm)	1.6999e-007	-1.6982e-007	1.6811e-010	9.6810e-013

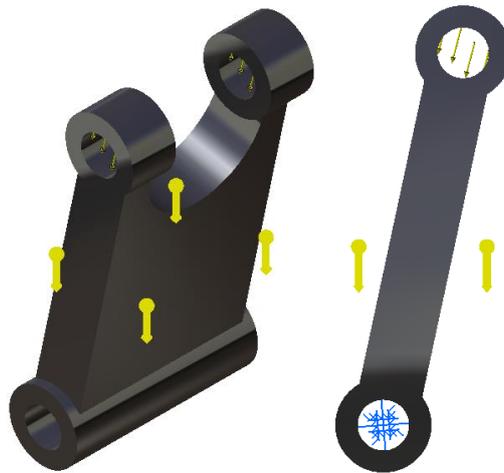
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



ESLABÓN 2



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 61765
 Number of elements : 38752
 Number of D.O.F. : 185295
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 38752

ELEMENT QUALITY:

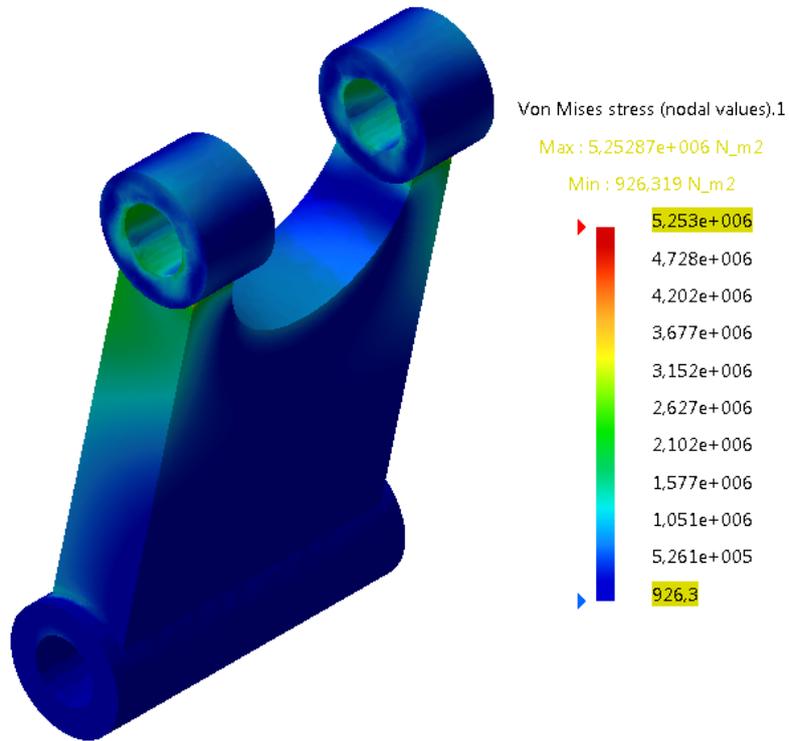
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	38752 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,389	0,649
Aspect Ratio	38752 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4,255	1,826

Strain Energy : 1.974e-002 J

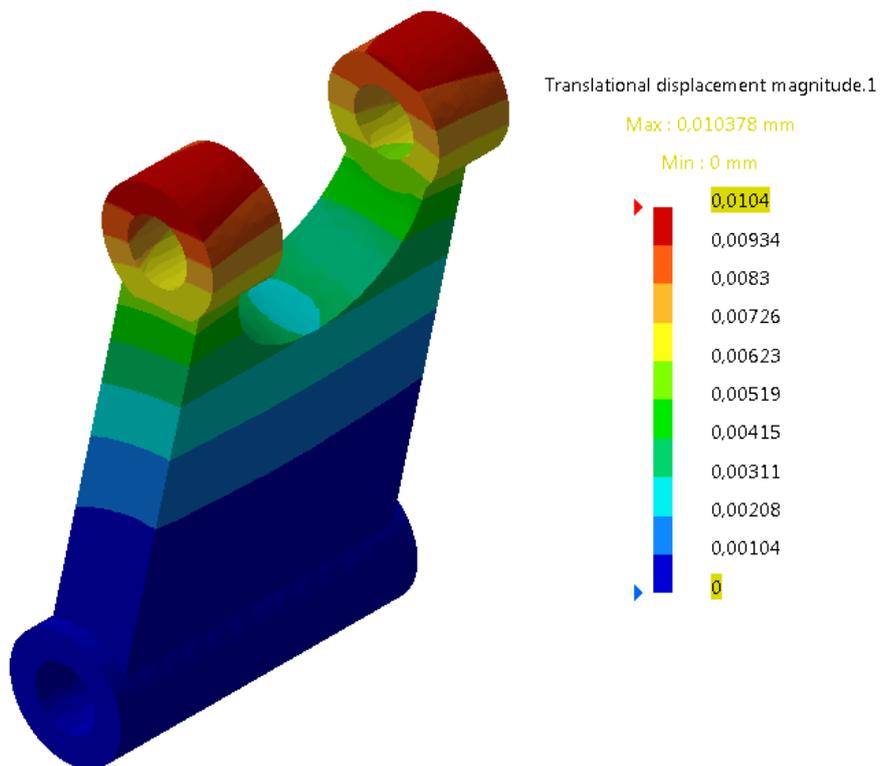
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	-2.7496e-008	2.8965e-008	1.4695e-009	3.2248e-011
Fy (N)	-3.5562e+003	3.5562e+003	-2.2660e-009	4.9728e-011
Fz (N)	-1.5267e+004	1.5267e+004	-2.5648e-010	5.6285e-012
Mx (Nxm)	-7.4857e+002	7.4857e+002	3.0434e-010	1.7811e-011
My (Nxm)	-2.2007e-005	2.2007e-005	4.6404e-010	2.7157e-011
Mz (Nxm)	-1.6027e-007	1.6045e-007	1.7519e-010	1.0253e-011

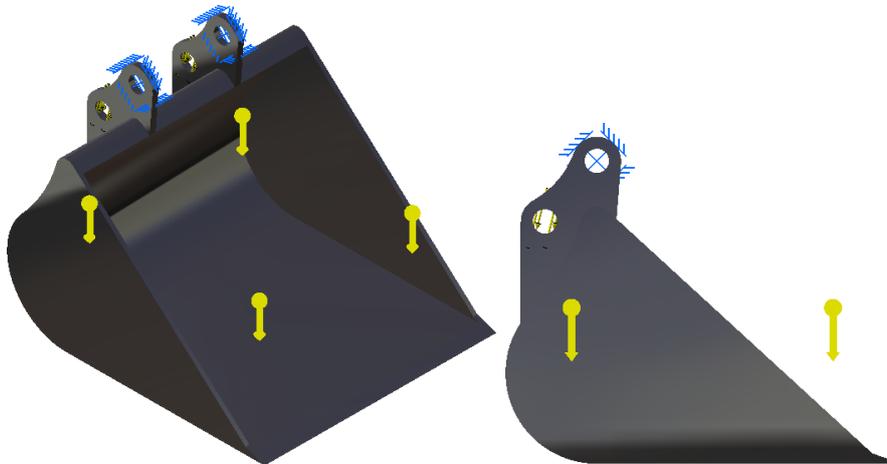
Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



CUCHARA



STRUCTURE Computation

Number of nodes : 335331
 Number of elements : 192440
 Number of D.O.F. : 1005993
 Number of Contact relations : 0
 Number of Kinematic relations : 0

Parabolic tetrahedron : 192440

ELEMENT QUALITY:

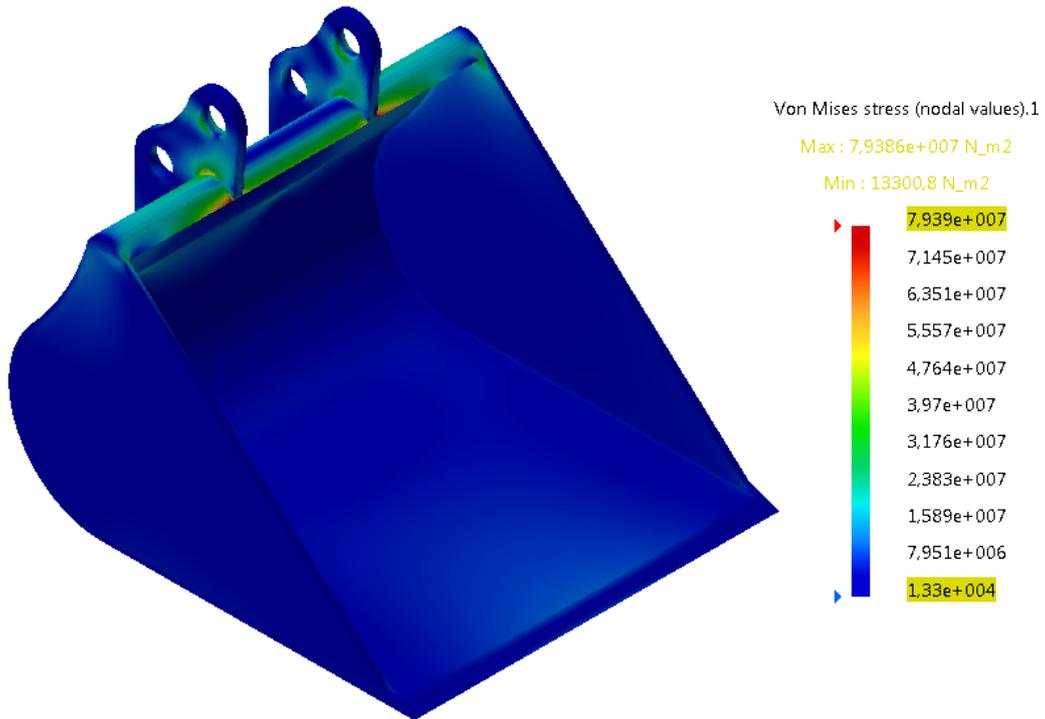
Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	192440 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,302	0,641
Aspect Ratio	192440 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4,811	1,918

Strain Energy : 5.627e+000 J

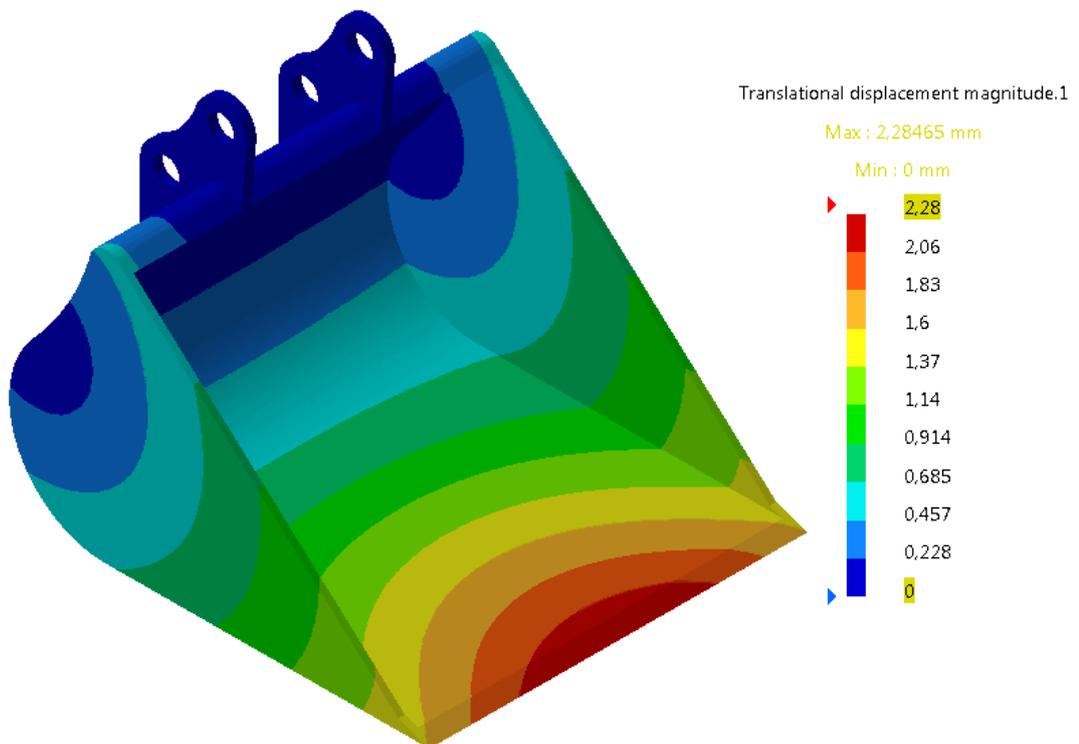
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	3.6816e-009	-3.1013e-007	-3.0645e-007	2.5147e-010
Fy (N)	-3.5686e+003	3.5686e+003	1.4269e-007	1.1709e-010
Fz (N)	-3.8007e+004	3.8007e+004	-1.4350e-006	1.1775e-009
Mx (Nxm)	-1.4675e+003	1.4675e+003	-6.6720e-007	5.4749e-010
My (Nxm)	2.1873e-005	-2.1858e-005	1.5481e-008	1.2704e-011
Mz (Nxm)	-3.1149e-007	3.9322e-007	8.1726e-008	6.7063e-011

Análisis de tensiones



Análisis de desplazamientos



2.5. Propiedades de los materiales empleados

2.5.1. Elementos principales

Para la fabricación de los elementos principales (pluma, brazo, eslabón 1, eslabón 2 y cuchara) se empleará acero estructural S235 JR. Equivalente al acero no aleado al carbono F1110.

EUROPA EN 10083	ESPAÑA UNE 36011-12	ALEMANIA DIN 17200	ALEMANIA STAND N°	FRANCIA NF A35-552-86	ITALIA UNI 7846	USA AISI/SAE
	F1110	CK15	1.0401	XC15	C15	SAE 1015

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S235 JR	0,045	0,045

C	Si	Mn	P	S
0.12/0.18	<0.40	0.30/0.60	<0.045	<0.045

En la siguiente tabla se indican los valores del límite elástico (f_y) mínimo y la resistencia última a tracción (f_u) del acero empleado.

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 235	235	360 < f_u < 510	215	360 < f_u < 510

2.5.2. Bulones

Para la fabricación de los bulones se empleará acero C45E sometido a un tratamiento térmico de normalizado.

Designación		Otras designaciones								
Según EN 10083-1:1997	Alemania DIN 17200		Reino Unido BS 970		España UNE 36011		Francia NF A35-552-86	Italia UNI 7846	ISO 683-1:1987	AISI SAE ASTM
Simbólica	Numérica	Designación	Número		Designación	Número				
C45E	1.1191	CK 45	1.1191	(080M46)	C45K	F1140	XC 45	C45	(C 45 E 4)	1042

CONDICIONES DE TRATAMIENTO TÉRMICO

Forja o laminación en caliente	Normalizado	Recocido	Temple	Medio de temple	Revenido	Ensayo de templabilidad Jominy
Temperatura (°C)						
850-1.250	840-870	680	840-860	Agua o aceite	550-660	850±5

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Análisis sobre colada (%)								
C	Si _{máx.}	Mn	P _{máx.}	S _{máx.}	Cr _{máx.}	Mo _{máx.}	Ni _{máx.}	Cr+Mo+Ni _{máx.}
0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,035	0,035	0,40	0,10	0,40	0,63

En la siguiente tabla se indican los valores del límite elástico (f_y) mínimo y la resistencia última a tracción (f_u) del acero empleado.

Ensayo de tracción				
Estado de normalizado (+N)				
Diámetros nominales (mm)	Límite elástico		Resistencia a la tracción	
	$R_{p0,2}$ (MPa)		R_m (MPa)	Alargamiento A (%) $L_0=5d$ Diámetro nominal (mm)
$d \leq 16$	≥ 340		620	≥ 14
$16 < d \leq 100$	≥ 305		580	≥ 16
$100 < d \leq 250$	≥ 275		560	≥ 16



2.5.3. Casquillos autolubricados

Fabricados partiendo de bandas de bronce laminado con una composición del 92% de cobre (Cu) más un 8% de estaño (Sn), cortadas según el desarrollo de la pieza y dobladas para conseguir su forma.

En su parte interior representan unos alveolos de forma rómbica en la que se acumulará la grasa que se debe aplicar durante el montaje. La selección de la grasa a utilizar dependerá de las condiciones de uso, siendo la grasa para rodamiento común la más utilizada.

Se trata de un material con una relación dureza/coeficiente de fricción elevada, elevado coeficiente de conductividad térmica que permite la transmisión de calor generado por el rozamiento y una más efectiva resistencia a la corrosión.

NORMA: ISO 3547 / DIN 1494

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas del casquillo se resumen en la siguiente tabla:

Densidad	8,8 gr / cm ³
Carga máx. (estática)	470 N / mm ²
Coef. conductividad térmica	58 W / m · K
Coef. dilatación térmica	18,5 · 10 ⁻⁶ / K
PV Máximo	2,8 N/mm ² · m/s
Coeficiente de fricción	0,08 - 0,25
Elongación	40 %

Resistencia a la corrosión

La resistencia a la corrosión de los casquillos de la serie SB es elevada debido al material base que lo componen. Se trata por tanto, de un casquillo apto para ambientes sucios y agresivos.

La presencia de agua no le afecta, aunque debido a la necesidad de lubricante añadido no es apto para trabajos sumergidos.

Tan sólo se verá corroído por aquellas substancias que por naturaleza atacan al bronce o las que pudieran ocasionar un deterioro de la grasa lubricante.

Temperaturas

Los límites de temperaturas vendrán fuertemente influenciados por la selección de los lubricantes utilizados. En principio, se proponen unos límites de funcionamiento constante que van desde los -20°C a los 100°C.

Se pueden modificar los valores de los extremos del intervalo de aplicación mediante el empleo de aceites y grasas de altas sollicitaciones.

Aplicaciones

Se puede considerar a este casquillo como uno de los más apropiados para las siguientes aplicaciones:

- Cargas elevadas.
- Movimientos rotatorios, oscilatorios y lineales.
- Ambientes externos corrosivos.
- Ambientes sucios.
- Resistencia a impactos producidos en el eje.

Por lo que son ideales para las siguientes aplicaciones:

- Remolques, tractores.
- Maquinaria de movimiento de tierras en general.
- Cilindros hidráulicos.
- Industria maderera.
- Industria cerámica.



2.5.4. Elementos de unión

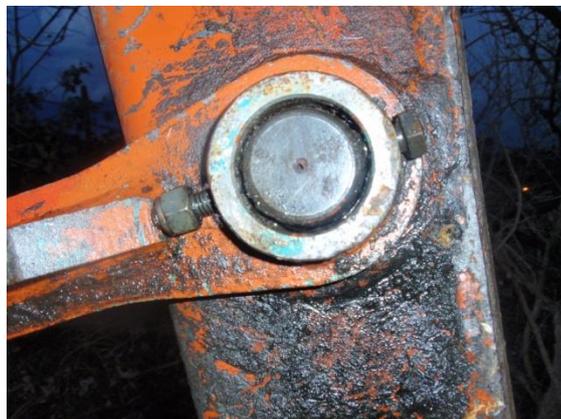
Para realizar las uniones se han empleado los siguientes elementos:

- Tornillo cabeza hexagonal, rosca parcial (DIN 931)
- Tuerca autoblocante con inserción no metálica (DIN 985)

Ambos elementos son de acero de calidad 10.9 cuyas características son mostradas en las siguientes tablas:

Número de Clase	Rango del diámetro [mm]	Resistencia de prueba mínima [MPa]	Resistencia elástica mínima [MPa]	Resistencia a la tracción mínima [MPa]	Material	Marcado de la cabeza
4.6	M5-M36	225	240	400	Acero de mediano o bajo carbono	
4.8	M1.6-M16	310	340	420	Acero de mediano o bajo carbono	
5.8	M5-M24	380	420	520	Acero de mediano o bajo carbono	
8.8	M16-M36	600	660	830	Acero de mediano o bajo carbono, templado y revenido	
9.8	M1.6-M16	650	720	900	Acero de mediano o bajo carbono, templado y revenido	
10.9	M5-M36	830	940	1040	Acero martensítico de bajo carbono, templado y revenido	
12.9	M1.6-M36	970	1100	1220	Acero de aleación, templado y revenido	

Clase de resistencia	Material y tratamiento térmico	Composición química (porcentaje en %)				Temperatura de revenido
		C mín.	C max.	P max.	S max.	°C mín.
10,9	Acero al carbono templado y revenido	0,25	0,55	0,035	0,035	425
	Acero al carbono con adiciones (p.e. Boro, o Mn o Cr), templado y revenido	0,20 3*	0,55	0,035	0,035	

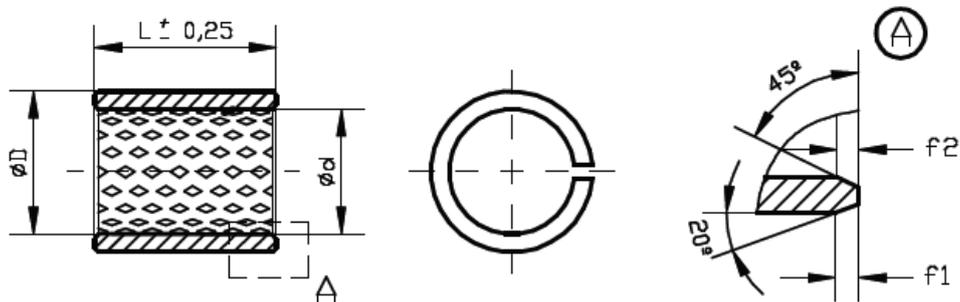


2.6. Dimensiones de los elementos normalizados utilizados

2.6.1. Casquillos autolubricados serie SB (fabricante Sanmetal S.A)

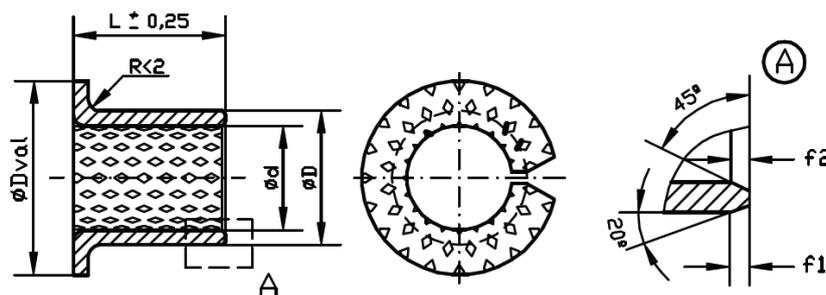


➤ Sin valona (SBA)



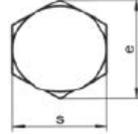
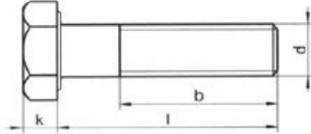
Cod.	Diámetros		f1	f2	Ød montado		ØD		Longitudes (L)
	Ød	ØD			Min	Max	Min	Max	
SBA	80	85	1,8	0,6	+0,000	+0,074	+0,055	+0,100	100
SBA	100	105	1,8	0,6	+0,000	+0,087	+0,070	+0,120	100

➤ Con valona (SBB)



Cod.	Diámetros			Espesor de valona	f1	f2	Ød montado		ØD		Longitudes (L)
	Ød	ØD	ØDval				Min	Max	Min	Max	
SBB	80	85	100	2,5	1,2	0,4	+0,000	+0,074	+0,070	+0,120	40
SBB	100	105	120	2,5	1,2	0,4	+0,000	+0,087	+0,070	+0,120	50
SBB	150	155	180	2,5	1,2	0,4	+0,000	+0,100	+0,100	+0,170	60 90

2.6.3. Tornillo cabeza hexagonal, rosca parcial DIN 931 (fabricante Andalinox S.L)



INOX A-2 • INOX A-4 • ACERO • 8.8 10.9 12.9 Medidas en mm

	16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	72	78
b<125	16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	72	78
b>125	22	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	78	84
S	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46	50	55
k min.	3,35	3,85	5,15	6,22	7,32	8,62	9,82	11,28	12,28	13,78	14,78	16,65	18,28	20,58	22,08
e	8,79	11	14,4	18,9	21,1	24,5	26,8	30,1	33,5	35,7	40	45,2	50,9	55,4	
L/ φ	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36
25	••	••													
30	••	••	••												
35	••	••	••	••											
40	••	••	••	••	••										
45	••	••	••	••	••	••									
50	••	••	••	••	••	••	••								
55	••	••	••	••	••	••	••	••							
60	••	••	••	••	••	••	••	••	••						
65	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••					
70	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••				
75	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••			
80	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••		
85	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	
90	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
95	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
100	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
110		••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
120		••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
130		••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
140		••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
150		••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
160		••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
170		••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
180		••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
190		••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••
200		••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••

2.6.4. Tuerca autoblocante con inserción no metálica DIN 985 (fabricante Andalinox S.L)



INOX A-2 • INOX A-4 • ACERO • 8.8 10.9 12.9 LATÓN • Medidas en mm

d	m	h	s	e	
M2,5	3,5	2,3	5	5,5	•••
M3	2,4	2,4	5,5	6,01	•••
M4	2,9	2,9	7	7,66	••••
M5	3,2	3,2	8	8,79	••••
M6	4	6	10	11,05	••••
M8	5,5	8	13	14,38	••••
M10	6,5	10	17	18,9	••••
M12	8	12	19	21,1	••••
M14	9,5	14	22	24,49	••••
M16	10,5	16	24	26,75	••••
M18	13	18,5	27	29,56	•••
M20	14	20	30	32,95	•••
M22	15	22	32	35,03	•••
M24	15	24	36	39,55	•••
M27	17	27	41	45,2	•••
M30	19	30	46	50,85	•••
M33	22	33	50	55,37	•••
M36	25	36	55	60,79	•••