



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Análisis y dimensionamiento de una plataforma  
elevadora de tijera con doble accionamiento  
hidráulico y una carga de 1500 kg

Autor

**Patricia Simón Iglesias**

Director

**Javier Óscar Abad**

Universidad de Zaragoza

Escuela de Ingeniería y arquitectura

2019-2020

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	2
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
1 INTRODUCCIÓN .....	12
1.1 ¿Qué es una mesa elevadora de tijera? .....	12
1.2 Objetivo, alcance y metodología .....	13
2 CRITERIOS DE DISEÑO .....	15
2.1 Datos iniciales.....	15
2.2 Norma aplicada .....	16
3 DIAGRAMAS DE SÓLIDO LIBRE .....	18
3.1 Resultados caso 1 .....	19
3.1.1 Tijera a una altura de H=1210 mm .....	19
3.1.2 Tijera a una altura de H=1000 mm .....	19
3.1.3 Tijera a una altura de H=500 mm .....	20
3.1.4 Tijera a una altura de H=210 mm .....	20
3.2 Resultados caso 2 .....	21
3.2.1 Tijera totalmente extendida H=1210 mm .....	21
3.2.2 Tijera totalmente cerrada H=210 mm .....	21
3.3 Resultado caso 3 .....	21
3.3.1 Tijera totalmente extendida h=1210 m.....	22
3.3.2 Tijera totalmente cerrada h=210 mm .....	23
4 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS.....	23
4.1 Caso 1 .....	23
4.1.1 Resumen resultados tijera abierta .....	23
4.1.2 Resumen resultados tijera cerrada .....	23
4.2 Caso 2 .....	24
4.2.1 Resumen resultados tijera abierta .....	24
4.2.2 Resumen resultados tijera cerrada .....	24
4.3 Caso 3 .....	24
4.3.1 Resumen resultados tijera abierta .....	24
4.3.2 Resumen resultados tijera cerrada .....	24
5 POSICIONES MÁS DESFAVORABLES .....	25
5.1 Posición más desfavorable en la plataforma.....	25

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

5.2	Posición más desfavorable en las barras.....	25
5.2.1	Barra 1 .....	26
5.2.2	Barra 2 .....	26
6	DIMENSIONAMIENTO COMPONENTES DE LA TIJERA .....	27
6.1	DIMENSIONAMIENTO DE LAS BARRAS.....	27
6.1.1	Material utilizado en las barras .....	27
6.1.2	Coeficiente de seguridad.....	28
6.1.3	Cálculo sección de las barras.....	28
6.2	DIMENSIONAMIENTO CILINDRO HIDRÁULICO .....	30
6.2.1	Material del pistón .....	30
6.2.2	Material del vástago.....	31
6.2.3	Dimensionamiento teórico del pistón.....	31
6.2.4	Dimensionamiento teórico del vástago .....	32
6.2.5	Cálculo coeficiente $\beta$ .....	32
6.2.6	Selección de un cilindro comercial .....	34
6.2.7	ESPESOR PARED DEL CILINDRO .....	35
6.3	SELECCIÓN BOMBA HIDRÁULICA .....	37
6.4	CÁLCULO SECCIÓN DE PASADORES.....	38
6.4.1	Metodología utilizada para dimensionar. ....	39
6.4.2	Selección material para los pasadores. ....	39
6.4.3	Pasadores de anclaje al cilindro. ....	40
6.4.4	Pasadores de unión entre tijeras.....	42
6.4.5	Pasadores de unión de la tijera con la base y la plataforma. ....	43
6.5	SELECCIÓN DE ANILLOS Y ARANDELAS.....	44
6.5.1	Material y dimensiones de los anillos de seguridad.....	45
6.6	DIMENSIONAMIENTO OREJETAS.....	46
6.6.1	Orejetas de pasadores en el cilindro.....	47
6.6.2	Orejetas de pasadores de extremos fijos .....	47
6.7	PERFILES DE APOYO EN EL CILINDRO .....	48
6.7.1	Perfil rectangular superior .....	49
6.7.2	Perfiles inferiores .....	50
7	ESTUDIO SOLDADURAS .....	51
7.1	Metodología utilizada para dimensionar. ....	52
7.2	Coeficiente de seguridad en soldaduras .....	55
7.3	Cálculo de soldaduras.....	55

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

7.3.1	Soldaduras perfil superior .....	56
7.3.2	Soldaduras perfil inferior.....	57
8	DISEÑO PLATAFORMA.....	58
8.1	Selección material plancha y perfiles. ....	58
8.2	Caso más desfavorable en plataforma. ....	58
8.3	Selección perfiles en U .....	58
8.4	Características y dimensiones de la placa inicial .....	60
8.4.1	Proceso de plegado .....	61
8.4.2	Comprobación de dimensiones plataforma. ....	62
8.5	Selección dado móvil.....	62
9	RESULTADOS SOLID WORKS.....	63
9.1	Ensamblaje solid works .....	63
9.2	Cálculos Solid Works .....	66
9.2.1	Caso 1 .....	66
9.2.2	Caso 2 .....	69
9.2.3	Caso 3 .....	72
10	CONCLUSIONES .....	75
11	BIBLIOGRAFÍA.....	77
12	ANEXOS .....	79
12.1	Anexo 1: Ecuaciones de sólido libre .....	80
12.1.1	Ecuaciones caso 1.....	81
12.1.2	Ecuaciones caso 2.....	82
12.1.3	Ecuaciones caso 3.....	83
12.2	Anexo 2: Dibujos a distintas alturas .....	84
12.3	Anexo 3: Representación de diagramas de esfuerzos.....	85
12.3.1	Diagramas de esfuerzos Caso 1 .....	85
12.3.2	Diagramas de esfuerzos Caso 2 .....	90
12.3.3	Diagramas de esfuerzos Caso 3 .....	94
12.4	Anexo 4: Cálculos en la selección del perfil de las barras .....	98
12.5	Anexo 5: Comparaciones resultados de los diagramas de esfuerzos.....	99
12.5.1	Plataforma .....	99
12.5.2	Barra 1 .....	100
12.5.3	Barra 2 .....	100
12.6	Anexo 6: Cálculo espesor cilindro .....	101
12.6.1	Cilindro de pared delgada. ....	101

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

12.6.2	Cilindro de pared gruesa .....	101
12.7	Anexo 7: Cálculos en la selección de la bomba .....	102
12.8	Anexo 8: Cálculos dimensiones pasadores.....	103
12.8.1	Pasadores en agarres del cilindro.....	103
12.8.2	Fallo por cortante directo.....	104
12.8.3	Fallo por aplastamiento.....	104
12.8.4	Pasadores de unión en las tijeras .....	105
12.8.5	Pasadores en los extremos de la tijera.....	106
21.6.5.1	Pasadores en extremo móvil.....	106
12.8.6	Pasador en extremo fijo .....	107
12.9	Anexo 9: Tablas selección de arandelas y anillos de seguridad .....	108
12.9.1	Selección de anillos .....	108
12.9.2	Selección de arandelas .....	109
12.10	Anexo 10: Cálculos para la selección de los perfiles .....	109
12.10.1	Perfil rectangular superior.....	109
12.10.2	Perfil circular .....	111
12.10.3	Perfil rectangular inferior .....	113
12.11	Anexo 11: Cálculos selección perfiles en U .....	113
12.12	Anexo 12: Ecuaciones soldaduras .....	114
12.12.1	Perfil rectangular superior.....	115
12.12.2	Perfil circular inferior.....	116
12.13	Anexo 13: Cálculos para las comprobaciones de la mesa .....	116
12.14	Anexo 14: Descripción del proceso en Solid Works .....	118
12.14.1	Definición de la geometría .....	118
12.14.2	Asignación de materiales .....	119
12.14.3	Definición de conectores.....	120
12.14.4	Condiciones de apoyo .....	122
12.14.5	Distribuciones de carga .....	123
12.14.6	Mallado y resolución .....	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades de la mesa elevadora de carga CB1500	16
Tabla 2: Resultados DSL para caso 1 y altura 1210 mm	19
Tabla 3: Resultados DSL para caso 1 y altura 1000 mm	19
Tabla 4: Resultados DSL para caso 1 y altura 500 mm	20
Tabla 5: Resultados DSL para caso 1 y altura 210 mm	20
Tabla 6: Resultados DSL para caso 2 y altura 1210 mm	21
Tabla 7: Resultados DSL para caso 2 y altura 1210 mm	21
Tabla 8: Resultados DSL para caso 3 y altura 1210 mm	22
Tabla 9: Resultados DSL para caso 3 y altura 1210 mm	23
Tabla 10: Resultados diagramas de esfuerzos caso 1 y tijera abierta	23
Tabla 11: Resultados diagramas de esfuerzos caso 1 y tijera cerrada	23
Tabla 12: Resultados diagramas de esfuerzos caso 2 y tijera abierta	24
Tabla 13: Resultados diagramas de esfuerzos caso 2 y tijera cerrada	24
Tabla 14: Resultados diagramas de esfuerzos caso 2 y tijera abierta	24
Tabla 15: Resultados diagramas de esfuerzos caso 3 y tijera cerrada	24
Tabla 16 : Tipos de acero (Mitma.gob, s.f.)	27
Tabla 17: Porcentaje de carbono equivalente (CEV) (Mitma.gob, s.f.)	27
Tabla 18: Porcentajes de azufre y fósforo (Mitma.gob, s.f.)	27
Tabla 19: Propiedades mecánicas (Mitma.gob, s.f.)	28
Tabla 20: Valores orientativos coeficiente de seguridad (Canalís martinez Paula, 2017)	28
Tabla 21: Propiedades de perfiles rectangulares huecos para las barras (Ingemecanica, 2020)	29
Tabla 22: Propiedades mecánicas acero F-1140 (Graubassas, 2020)	30
Tabla 23: Diámetro y área de pistón normalizados (Canalís martinez Paula, 2017)	32
Tabla 24: Coeficiente beta (Canalís martinez Paula, 2017)	33
Tabla 25: Propiedades del cilindro hidráulico KR ISO 6020/1. (Glual hidráulica, 2009)	35
Tabla 26: Propiedades mecánicas acero ST-52 (Ferrocortes, 2015)	35
Tabla 27: Datos conocidos para selección de bomba hidráulica	37
Tabla 28: Características principales de la bomba PGP 505 (Glual hidráulica, 2009)	38
Tabla 29: Medidas de pasadores normalizadas (Opac componentes, 2020)	41
Tabla 30: Medidas finales de anillo seleccionadas	45
Tabla 31: Medidas finales seleccionadas para arandelas	46
Tabla 32: Sección de la tabla de propiedades de perfiles rectangulares (Ingemecanica, 2020)	49
Tabla 33: Propiedades perfil circular (Ingemecanica, 2020)	50
Tabla 34: Coeficientes de seguridad dependiendo del tipo de soldadura (Autodesk, 2020)	55
Tabla 36: Resultados soldadura perfil superior sometido a torsión	56
Tabla 38: Resultados soldadura perfil inferior sometido a torsión	57
Tabla 39: Propiedades de los perfiles en U (Ingemecanica, 2020)	59
Tabla 40: Comparación de resultados de esfuerzos para la plataforma en caso 1	99
Tabla 41: Comparación de resultados de esfuerzos para la plataforma en caso 2	99
Tabla 42: Comparación de resultados de esfuerzos para la plataforma en caso 3	100
Tabla 43: Comparación resultados de esfuerzos en barra 1 para los distintos casos con la tijera abierta	100
Tabla 44: Comparación resultados de esfuerzos en barra 1 para los distintos casos con la tijera cerrada	100
Tabla 45: Comparación resultados de esfuerzos en barra 2 para los distintos casos con la tijera abierta	100
Tabla 46: Comparación resultados de esfuerzos en barra 2 para los distintos casos con la tijera cerrada	100
Tabla 47: Medidas comerciales de anillos de seguridad (Otia, 2005)	108
Tabla 48: Medidas comerciales de arandelas (Wasi, 2020)	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1: Mesa de tijera elevadora de carga simple (Edmolift, 2020)</i>	12	
<i>Ilustración 2 Medidas iniciales plataforma</i>	15	
<i>Ilustración 3 Distribución de carga caso 1</i>	17	
<i>Ilustración 4 Distribución de carga caso 2</i>	17	
<i>Ilustración 5 Distribución de carga caso 3</i>	17	
<i>Ilustración 6 Puntos de fuerzas de enlace</i>	18	
<i>Ilustración 7:Diagrama sólido libre plataforma para caso 3 tijera abierta</i>	22	
<i>Ilustración 8:Diagrama sólido libre plataforma para caso 3 tijera cerrada</i>	22	
<i>Ilustración 9 Comparativa momento flector plataforma</i>	25	
<i>Ilustración 10 Comparativa momento flector barra1</i>	26	
<i>Ilustración 11 Comparativa momento flector barra 2</i>	26	
<i>Ilustración 12: Sección más desfavorable perfil de las barras</i>	29	
<i>Ilustración 13: Componentes de un cilindro hidráulico (Ingemecanica, 2020)</i>	30	
<i>Ilustración 14: Diámetro teórico del vástago (Canalís martinez Paula, 2017)</i>	34	
<i>Ilustración 15: Diseño cilindro final en Solid Works</i>	<i>Ilustración 16:Ensamblaje cilindro en Solid Works</i>	37
<i>Ilustración 17: Bomba hidráulica tipo PGP (Glual hidráulica, 2009)</i>	38	
<i>Ilustración 18: Pasador de anclaje al cilindro en Solid Works</i>	40	
<i>Ilustración 19:Pasador de unión de tijeras en Solid Works</i>	42	
<i>Ilustración 20:Chapa de refuerzo de 4 mm</i>	42	
<i>Ilustración 21: Pasador de los extremos en Solid Works</i>	43	
<i>Ilustración 22:Chapa refuerzo pasador de 1 mm</i>	43	
<i>Ilustración 23: Ranurado en pasador</i>	<i>Ilustración 24: Arandela y anillo de seguridad en pasador</i>	44
<i>Ilustración 25: Medidas de los anillos de seguridad (Otia, 2005)</i>	45	
<i>Ilustración 26:Propiedades del material SAE 1070</i>	45	
<i>Ilustración 27: Dimensiones de arandelas (Wasi, 2020)</i>	46	
<i>Ilustración 28: Orejeta superior para el agarre del cilindro</i>	47	
<i>Ilustración 29: Orejeta inferior para los extremos de la tijera</i>	48	
<i>Ilustración 30:Perfiles de apoyo en el cilindro</i>	48	
<i>Ilustración 31:Sección más solicitada en perfil rectangular superior</i>	49	
<i>Ilustración 32:Sección más solicitada en perfil circular</i>	50	
<i>Ilustración 33:Sección más solicitada en perfil rectangular inferior</i>	51	
<i>Ilustración 34:Tensiones en la sección de la garganta</i>	52	
<i>Ilustración 35:Tensiones en la sección abatida de la garganta</i>	53	
<i>Ilustración 36:Medidas en los cordones de soldadura</i>	54	
<i>Ilustración 37:Sección más solicitada en los perfiles en U</i>	59	
<i>Ilustración 38: Perfil en U en Solid Works</i>	60	
<i>Ilustración 39:Ensamblaje plancha-perfiles en U</i>	60	
<i>Ilustración 40: Dimensiones iniciales de la plancha de acero</i>	60	
<i>Ilustración 41: Proceso de plegado (Laser mecafort, 2020)</i>	61	
<i>Ilustración 42:Dimensiones de la plancha tras el proceso de plegado</i>	61	
<i>Ilustración 43: Plataforma final</i>	61	
<i>Ilustración 44: Separación de plataforma en rectángulos para cálculo de inercia</i>	62	
<i>Ilustración 45:Ensamblaje rueda-barra</i>	63	
<i>Ilustración 46:Cambio de dimensiones en las orejetas extremos fijos</i>	64	

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

<i>Ilustración 47: Cambios de dimensiones en las orejetas de los cilindros</i>	64
<i>Ilustración 48: Cambios en los extremos de las barras</i>	64
<i>Ilustración 49: Cambio en las dimensiones de los perfiles en U</i>	65
<i>Ilustración 50:Ensamblaje final en Solid Works</i>	65
<i>Ilustración 51: Distribución de tensiones, caso 1 tijera abierta</i>	66
<i>Ilustración 52:Coeficiente de seguridad, caso 1 tijera abierta</i>	66
<i>Ilustración 53: Desplazamientos en y, caso 1 tijera abierta.</i>	67
<i>Ilustración 54:Distribución de tensiones, caso 1 tijera cerrada: completa</i>	67
<i>Ilustración 55:Distribución de tensiones, caso 1 tijera cerrada: barras y suelo</i>	67
<i>Ilustración 56:Coeficiente de seguridad, caso 1 tijera cerrada: completa</i>	68
<i>Ilustración 57:Coeficiente de seguridad, caso 1 tijera cerrada: barras y suelo</i>	68
<i>Ilustración 58:Desplazamiento en y, caso 1 tijera cerrada</i>	68
<i>Ilustración 59:Distribución de tensiones, caso 2 tijera abierta</i>	69
<i>Ilustración 60:Coeficiente de seguridad, caso 2 tijera abierta</i>	69
<i>Ilustración 61: Desplazamientos en y, caso 2 tijera abierta</i>	70
<i>Ilustración 62:Distribución de tensiones, caso 2 tijera cerrada: completa</i>	70
<i>Ilustración 63:Distribución de tensiones, caso 2 tijera cerrada: barras y suelo</i>	70
<i>Ilustración 64:Coeficiente de seguridad, caso 2 tijera cerrada: completa</i>	71
<i>Ilustración 65:Coeficiente de seguridad, caso 2 tijera cerrada: barras y suelo</i>	71
<i>Ilustración 66: Desplazamientos en y, caso 2 tijera cerrada</i>	71
<i>Ilustración 67:Distribución de tensiones, caso 3 tijera abierta</i>	72
<i>Ilustración 68:Coeficiente de seguridad, caso 3 tijera abierta</i>	72
<i>Ilustración 69:Distribución de tensiones, caso 3 tijera cerrada: completa</i>	73
<i>Ilustración 70:Distribución de tensiones, caso 3 tijera cerrada: barras y suelo</i>	73
<i>Ilustración 71:Coeficiente de seguridad, caso 3 tijera cerrada: completa</i>	74
<i>Ilustración 72:Coeficiente de seguridad, caso 3 tijera cerrada: barras y suelo</i>	74
<i>Ilustración 73:Desplazamientos en y, caso 3 tijera cerrada</i>	74
<i>Ilustración 74: Zona perfil rectangular con altas tensiones</i>	76
<i>Ilustración 75: Tensiones en perfiles rectangular y circular</i>	76
<i>Ilustración 76: Distribución de tensiones en la plataforma</i>	76
<i>Ilustración 77:DSL plataforma caso 3</i>	80
<i>Ilustración 78: Escritura utilizada para cálculos.</i>	80
<i>Ilustración 79:DSL plataforma caso 1</i>	80
<i>Ilustración 80:DSL plataforma caso 2</i>	80
<i>Ilustración 81:DSL barra 1 en función de la altura</i>	81
<i>Ilustración 82:DSL barra 2 en función de la altura</i>	81
<i>Ilustración 83:Medidas tijera para h=1210 mm</i>	84
<i>Ilustración 84:Medidas de la tijera para h=1000 mm</i>	84
<i>Ilustración 85:Medidas de la tijera para h=500 mm</i>	85
<i>Ilustración 86:Medidas de la tijera para h=500 mm</i>	85
<i>Ilustración 87: Diagrama de esfuerzo cortante</i>	85
<i>Ilustración 88:Diagrama momento flector</i>	86
<i>Ilustración 89:Diagrama esfuerzos axiles</i>	86
<i>Ilustración 90:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	86
<i>Ilustración 91:Diagrama de momento flector</i>	87
<i>Ilustración 92:Diagrama de esfuerzos axiles</i>	87
<i>Ilustración 93:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	87
<i>Ilustración 94:Diagrama momento flector</i>	88
<i>Ilustración 95:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	88
<i>Ilustración 96:Diagrama de momento flector</i>	88
<i>Ilustración 97:Diagrama de esfuerzos axiles</i>	88
<i>Ilustración 98:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	89

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

<i>Ilustración 99:Diagrama de momentos flectores</i>	89
<i>Ilustración 100:Diagrama de esfuerzos axiles</i>	89
<i>Ilustración 101:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	89
<i>Ilustración 102:Diagrama de momento flector</i>	89
<i>Ilustración 103:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	90
<i>Ilustración 104:Diagrama de momento flector</i>	90
<i>Ilustración 105:Diagrama esfuerzos axiles</i>	90
<i>Ilustración 106:Diagrama esfuerzos cortantes</i>	91
<i>Ilustración 107:Diagrama de momento flector</i>	91
<i>Ilustración 108:Diagrama esfuerzos axiles</i>	91
<i>Ilustración 109:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	92
<i>Ilustración 110:Diagrama de momento flector</i>	92
<i>Ilustración 111:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	92
<i>Ilustración 112:Diagrama de momento flector</i>	92
<i>Ilustración 113:Diagrama de esfuerzos axiles</i>	93
<i>Ilustración 114:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	93
<i>Ilustración 115:Diagrama de momento flector</i>	93
<i>Ilustración 116:Diagrama de esfuerzos axiles</i>	93
<i>Ilustración 117:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	93
<i>Ilustración 118:Diagrama de momento flector</i>	94
<i>Ilustración 119:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	94
<i>Ilustración 120:Diagrama de momento flector</i>	94
<i>Ilustración 121:Diagrama de esfuerzos axiles</i>	94
<i>Ilustración 122:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	95
<i>Ilustración 123:Diagrama de momento flector</i>	95
<i>Ilustración 124:Diagrama de esfuerzos axiles</i>	95
<i>Ilustración 125:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	96
<i>Ilustración 126:Diagrama de momento flector</i>	96
<i>Ilustración 127:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	96
<i>Ilustración 128:Diagrama de momento flector</i>	96
<i>Ilustración 129:Diagrama de esfuerzos axiles</i>	97
<i>Ilustración 130:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	97
<i>Ilustración 131:Diagrama de momento flector</i>	97
<i>Ilustración 132:Diagrama de esfuerzos axiles</i>	97
<i>Ilustración 133:Diagrama de esfuerzos cortantes</i>	97
<i>Ilustración 134:Diagrama de momento flector</i>	98
<i>Ilustración 135: Fórmula tensión equivalente Von mises (Wikipedia, la enciclopedia libre, 2020)</i>	98
<i>Ilustración 136:Fórmulas calculo tensiones en cilindro pared delgada (Sildeplayer , 2020)</i>	101
<i>Ilustración 137:Fórmulas tensiones cilindro de pared gruesa (Canalís martinez Paula, 2017)</i>	102
<i>Ilustración 138: Demostración de fuerzas y momentos en el perfil</i>	110
<i>Ilustración 139: Representación esfuerzos axiles</i>	110
<i>Ilustración 140:Representación esfuerzos cortantes</i>	110
<i>Ilustración 141:Representación momento flector</i>	111
<i>Ilustración 142: Esfuerzos axiles en orejeta inferior</i>	112
<i>Ilustración 143:Esfuerzos cortantes en orejeta inferior</i>	112
<i>Ilustración 144:Momento flector en orejeta inferior</i>	112
<i>Ilustración 145: Demostración fuerzas en el perfil circular y rectangular</i>	113
<i>Ilustración 146 : Explicación fuerzas actuando sobre soldadura en 3D</i>	115
<i>Ilustración 147: Explicación momentos en las soldaduras</i>	115
<i>Ilustración 148:Piezas y subensamblajes definidos</i>	118
<i>Ilustración 149: Relaciones de posición para ensamblaje</i>	119
<i>Ilustración 150: Explicación como seleccionar material</i>	119

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

<i>Ilustración 151: Lista de selección de materiales</i>	119
<i>Ilustración 152: Definición de conectores</i>	120
<i>Ilustración 153: Contactos entre componentes</i>	120
<i>Ilustración 154: Conjunto de contactos sin penetración</i>	121
<i>Ilustración 155: Tipos de conectores</i>	121
<i>Ilustración 156: Conector tipo pasador sin traslación</i>	122
<i>Ilustración 157: Sujeción fija</i>	122
<i>Ilustración 158: Definición cargas externas</i>	123
<i>Ilustración 159: División de la plataforma en 4 áreas</i>	123
<i>Ilustración 160: Parámetros de mallado</i>	123
<i>Ilustración 161: Detalles de la malla</i>	124
<i>Ilustración 162: Controles en el mallado</i>	124
<i>Ilustración 163: Ejecución del estudio</i>	124

## Resumen

El presente trabajo fin de grado engloba en las siguientes páginas, el cálculo y diseño de una plataforma de tijera elevadora de carga, con el principal objetivo de obtener una estructura final en 3D óptima para el uso cotidiano.

Para ello, se han realizado los cálculos analíticos de las medidas necesarias en los distintos elementos que componen la tijera, teniendo en cuenta una carga nominal máxima y unos determinados materiales y coeficientes de seguridad establecidos con anterioridad.

Posteriormente, con estas medidas se procede a generar un modelo 3D, realizando un ensamblaje de todos los elementos ya dimensionados. Con el desarrollo de este ensamblaje se intenta generar una estructura apropiada para los esfuerzos que debe soportar, para lo cual se llevan a cabo los cambios dimensionales necesarios y se realiza un análisis estático del conjunto, estudiando todos los casos posibles para la máxima carga aplicable.

Con este análisis y como resultado final del proyecto, se van a comparar los resultados obtenidos analíticamente y de forma práctica, observando los rangos de tensiones y coeficientes de seguridad para todos los casos planteados, y estableciendo posibles mejoras del modelo a la hora de reducirlos.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 ¿Qué es una mesa elevadora de tijera?

“Una plataforma elevadora de tijera es un dispositivo mecánico diseñado para permitir realizar trabajos en diferentes alturas. Disponen de una cesta donde el operario maneja la plataforma mediante un panel de control” (Alapont, soluciones logísticas, 2020)

Las plataformas o mesas elevadoras de tijera tienen como función principal cubrir las necesidades logísticas en situaciones que precisen de libertad de movimientos. Son útiles como herramienta de posicionamiento en los diferentes procesos productivos, como solución a las barreras arquitectónicas, o como elemento auxiliar para facilitar la ergonomía.



*Ilustración 1: Mesa de tijera elevadora de carga simple (Edmolift, 2020)*

Partes básicas que la componen:

- Base: La base soporta el resto del montaje. Debe de ser fuerte, rígida y estable. En la mayoría de los casos es diseñada para ser ubicada en el suelo, pero también puede ser instalada en un foso o suministrada con ruedas o con reforzamiento del chasis.
- Las tijeras: Las tijeras proporcionan un movimiento vertical preciso mientras soportan la plataforma. Cada par de tijeras están conectadas mediante ejes en el punto central de unión y en los extremos superior e inferior.
- La plataforma: La plataforma puede ser de cualquier tamaño siempre que sea compatible con la base y las tijeras. En concreto, la plataforma no puede ser menor que la longitud o anchura de las tijeras / base. La plataforma puede ser mayor que las tijeras / base. La plataforma puede ser equipada con una amplia gama de accesorios como caminos de rodillos, plataformas giratorias,

plataformas basculantes o plataformas equipadas para diferentes aplicaciones especiales.

- El grupo hidráulico: (normalmente electrohidráulico) consiste en un motor eléctrico, una bomba hidráulica, un tanque hidráulico, cilindro hidráulico, tuberías, válvulas y un sistema eléctrico de control. Cuando se pulsa el botón SUBIR, la bomba empuja el fluido del tanque a los cilindros provocando que el pistón se mueva. El pistón está mecánicamente unido a las tijeras causando la elevación de la plataforma. La válvula de seguridad ubicada en el circuito hidráulico entre la bomba y el cilindro evita que el fluido retroceda para que de esa forma la plataforma se mantenga a la altura en la que se encuentre cuando el botón SUBIR es soltado. Cuando el botón BAJAR es presionado, la electroválvula se abre, permitiendo así que el fluido retorne al tanque. El motor no funciona cuando la plataforma es bajada. El peso de la plataforma combinado con la gravedad genera presión en el cilindro retornando el fluido al tanque. La válvula de control de flujo VE 25 puede ser ajustada para proporcionar la velocidad de bajada deseada. Cuando el botón BAJAR es soltado, la válvula de seguridad se cierra y la mesa se mantiene a esa altura. El sistema de válvulas evita que la mesa se baje en caso de fallo de la energía. (Edmolift, 2020)

“Según las necesidades la tijera se puede clasificar en: simple, doble o múltiple” (Alapont, soluciones logísticas, 2020). Depende fundamentalmente de qué es lo que se quiere elevar y a qué altura. En el caso de este proyecto se va a estudiar una mesa de tijera simple.

Este tipo son plataformas destinadas a transportar o posicionar mercancías entre determinados niveles de elevación. Ofrecen una buena estabilidad y acceso libre en los 4 laterales lo que permite su incorporación como elemento de elevación en procesos productivos. Pueden manejar cargas de hasta 10.000 kg y es posible su fabricación con una longitud de hasta 5 metros. (Edmolift, 2020)

## 1.2 Objetivo, alcance y metodología

El principal objetivo de este trabajo fin de grado es crear, mediante el software Solid Works, un modelo 3D de una plataforma de tijera elevadora que simule el movimiento de levantamiento de una carga máxima. Para crear este diseño, el trabajo debe contar con los siguientes puntos:

- Cálculos teóricos para el dimensionamiento de los diferentes elementos que conforman la estructura.
- Aplicando los cálculos realizados con anterioridad, la selección comercial de algunos elementos. Realización del modelo 3D.
- Análisis de resultados prácticos claro y conciso, comparándolos con los resultados teóricos.

La metodología utilizada para llevar a cabo este proceso es la siguiente:

Selección sobre un catálogo, una plataforma de tijera elevadora de carga, conociendo así algunos de los principales datos para iniciar el diseño.

En función de la tijera escogida, se aplicará una norma específica que presentará varios casos de estudio a tener en cuenta a lo largo del proyecto.

El dimensionamiento de cada uno de los elementos que conforman la tijera va a realizarse para el caso más desfavorable en todos los aspectos. Para conocerlo, se plantean, con los datos ya conocidos, las ecuaciones de sólido libre utilizando el software EES, obteniendo las principales reacciones y fuerzas de enlace en cada punto de la tijera en función de la geometría variable de la tijera. Una vez conocidas las fuerzas, se calculan los diagramas de esfuerzo utilizando MEFI, consiguiendo así los casos más desfavorables. Todos los estudios se realizan únicamente para una de las tijeras, por presentar la misma geometría y fuerzas de enlace.

Se procede al dimensionamiento teórico de los distintos elementos, para los cuales se habrá elegido un tipo de material y un coeficiente de seguridad previamente, en función de sus características.

Para el cálculo de dimensiones, se utilizarán fundamentalmente las siguientes teorías, teniendo siempre en cuenta el punto más desfavorable de la sección a estudiar.

- Teoría de Cortante Máximo.
- Teoría de Von Mises.

Una parte fundamental de este proyecto es la selección tanto de los cilindros hidráulicos como de la bomba, estos cálculos se realizarán teóricamente para después hacer la selección comercial.

Además de los principales elementos como son las barras o la plataforma, también se va a estudiar las secciones de pasadores y orejetas utilizando teorías según los posibles fallos que se pueden dar:

- Fallo por cortante.
- Fallo por aplastamiento.

Conocidas todas las dimensiones de la tijera, se procederá al diseño en 3D con Solid Works de estas y su posterior ensamblaje. Una vez construida la tijera, y habiendo asegurado la inexistencia de interferencias en el modelo, se realizará una simulación estática de esta. Obteniendo una comparación entre los resultados analíticos y prácticos, llegando así a la conclusión de este proyecto.

Este trabajo de fin de grado contiene todos los temas tratados anteriormente en los siguientes puntos:

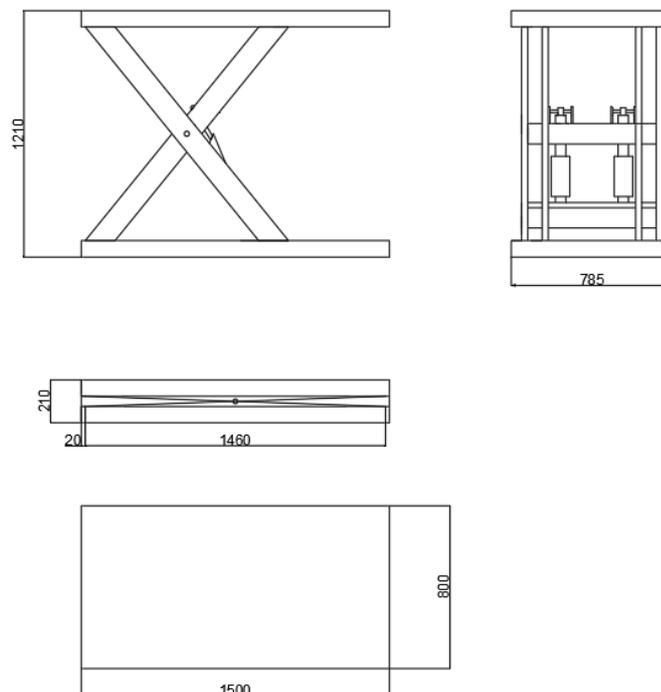
- Punto 2: Datos sobre la tijera elegida y norma aplicada.
- Puntos 3-5: Resultados de los diagramas de sólido libre y diagramas de esfuerzos, comparación de estos últimos y posiciones más desfavorables para los distintos elementos.

- Punto 6: Dimensionamiento de los principales elementos de la tijera: barras, cilindros bomba, pasadores, perfiles de apoyo, orejetas...Selección comercial de algunos de ellos y de los principales elementos de seguridad.
- Punto 7: Estudio de las principales uniones entre elementos: Uniones soldadas.
- Punto 8: Calculo de los distintos elementos que componen la plataforma de trabajo: ruedas, perfiles, la propia plataforma...y comprobaciones de los mismos.
- Punto 9: Ensamblaje en Solid Works y cálculos para los distintos casos y alturas y conclusión para estos resultados obtenidos.

## 2 CRITERIOS DE DISEÑO

### 2.1 Datos iniciales

La plataforma escogida para el trabajo es una plataforma de tijera simple, modelo CB 1500, que está pensada únicamente para el levantamiento de mercancía, perteneciente al catálogo de Edmolift. Las principales medidas y propiedades de la tijera se recogen en los planos representados en AutoCAD de la Ilustración 2 y en la Tabla 1 .



*Ilustración 2 Medidas iniciales plataforma*

<b>Modelo</b>	<b>Carga máxima</b>	<b>Variación de altura</b>	<b>Altura replegada</b>	<b>Largo de plataforma</b>	<b>Ancho de plataforma</b>	<b>Tiempo de subida</b>	<b>Kw</b>	<b>Peso en kg</b>
<b>CB1500</b>	1500 kg	1000 mm	210 mm	1500 mm	800 mm	17 seg	1,5	275

Tabla 1: Propiedades de la mesa elevadora de carga CB1500

## 2.2 Norma aplicada

Según el catálogo, esta mesa está fabricada siguiendo las indicaciones de la norma UNE 1570-1 referente a la seguridad en mesas elevadoras, que establece las siguientes pautas y casos a la hora de realizar el estudio de una plataforma como la que se estudia en este proyecto.

En la elaboración de esta norma se suponen los siguientes puntos:

- Solo manejan este tipo de mesas elevadoras los operarios formados que utilizan el equipo conforme a las instrucciones del fabricante.
- Las mesas funcionan sobre superficies sólidas, lisas, planas y preparadas.
- Cuando exista algún tipo de requisito de ruido se aplicarán las medidas especificadas por el fabricante.

Por otro lado, se tratan una serie de requisitos de seguridad:

- Los cálculos de resistencia deben satisfacer los siguientes puntos:

Se deben tener en cuenta todos los modos de fallo.

Los esfuerzos de cualquier parte de la mesa no deben superar, salvo que se indique lo contrario, los siguientes valores:

1. 0,66 veces el límite elástico
2. 0,5 veces la carga de ruptura del material

- Los esfuerzos deben calcularse para el supuesto de una carga nominal que se utilice según las instrucciones del fabricante.
- Las fuerzas dinámicas mínimas deben obtenerse a partir de:
  1. La carga vertical total
  2. Coeficiente de carga horizontal para la categoría de elevador.

En cuanto a la distribución de carga en la plataforma de trabajo, a no ser que haga el estudio para unos datos específicos, se deben tener en cuenta los tres siguientes casos:

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

- Caso 1: La totalidad de la carga nominal distribuida uniformemente en toda la superficie de la plataforma.

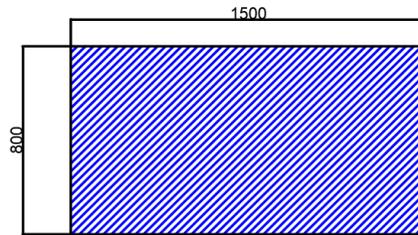


Ilustración 3 Distribución de carga caso 1

- Caso 2: La mitad de la carga nominal distribuida en la mitad de la longitud o largo más largo de la plataforma.

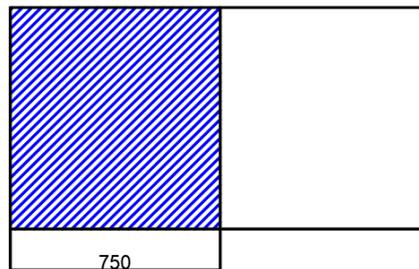


Ilustración 4 Distribución de carga caso 2

- Caso 3: Un tercio de la carga nominal en la mitad de la anchura o lado más corto de la plataforma. (UNE 1570-1, 2020)

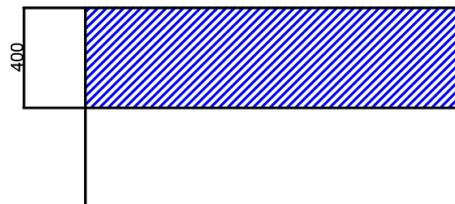


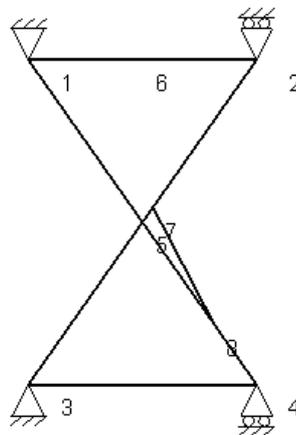
Ilustración 5 Distribución de carga caso 3

Conocidas todas las distancias, planteamos los diagramas de sólido libre para los distintos casos para conocer las principales fuerzas de enlace.

### 3 DIAGRAMAS DE SÓLIDO LIBRE

Para el planteamiento de los diagramas y sus ecuaciones, es necesario conocer todos los puntos donde van a aparecer reacciones o fuerzas de enlace. Estos puntos no están totalmente definidos en el catálogo del fabricante, por lo que, para conocerlos todos se han planteado las posiciones de los distintos puntos de la tijera para distintas alturas, obteniendo los valores constantes y definiéndola al completo, ver Anexo 2: Dibujos a distintas alturas.

En la Ilustración 6 se recogen los puntos donde se encuentran las reacciones y las fuerzas de enlace que se van a calcular.



*Ilustración 6 Puntos de fuerzas de enlace*

Las siguientes tablas recogen los resultados obtenidos para las ecuaciones de los diagramas de sólido libre. Todas ellas han sido planteadas en función de ángulos y altura variables, y se encuentran recogidas junto de los dibujos de los diagramas de sólido libre en el Anexo 1: Ecuaciones de sólido libre

### 3.1 Resultados caso 1

Para este primer caso, se plantean varias alturas para conocer así las más relevantes para el estudio.

#### 3.1.1 Tijera a una altura de H=1210 mm

VARIABLES	RESULTADOS
Rax	0 N
Ray	896,4 N
Rby	7189 N
Rcx	3830 N
Rcy	1093 N
Rex	0 N
Rey	896,4 N
Rfy	7189 N
Fcil x	3830 N
Fcily	7385 N
Fcil	<b>8319 N</b>
$\beta$	63 °

Tabla 2: Resultados DSL para caso 1 y altura 1210 mm

#### 3.1.2 Tijera a una altura de H=1000 mm

VARIABLES	RESULTADOS
Rax	0 N
Ray	2492 N
Rby	5593 N
Rcx	5461 N
Rcy	3256 N
Rex	0 N
Rey	2492 N
Rfy	5593 N
Fcil x	5461 N
Fcily	6356 N
Fcil	<b>8380 N</b>
$\beta$	49, 33°

Tabla 3: Resultados DSL para caso 1 y altura 1000 mm

### 3.1.3 Tijera a una altura de H=500 mm

VARIABLES	RESULTADOS
Rax	0 N
Ray	3715 N
Rby	4370 N
Rcx	12175 N
Rcy	5436 N
Rex	0 N
Rey	3715 N
Rfy	4370 N
Fcil x	12175 N
Fcily	6090 N
Fcil	<b>13613 N</b>
$\beta$	26, 58°

Tabla 4: Resultados DSL para caso 1 y altura 500 mm

### 3.1.4 Tijera a una altura de H=210 mm

VARIABLES	RESULTADOS
Rax	0 N
Ray	3932 N
Rby	4153 N
Rcx	24755 N
Rcy	6518 N
Rex	0 N
Rey	3932 N
Rfy	4153 N
Fcil x	24755 N
Fcily	6739 N
Fcil	<b>25656 N</b>
$\beta$	15,23

Tabla 5: Resultados DSL para caso 1 y altura 210 mm

Como se observa en los resultados, la fuerza del cilindro va en aumento conforme la altura de la tijera disminuye, por lo que, las dos principales alturas a estudiar van a ser: **Tijera totalmente abierta y tijera cerrada.**

## 3.2 Resultados caso 2

### 3.2.1 Tijera totalmente extendida H=1210 mm

VARIABLES	RESULTADOS
Rax	0 N
Ray	2245 N
Rby	1797 N
Rcx	1915 N
Rcy	4141 N
Rex	0 N
Rey	2245 N
Rfy	1797 N
Fcil x	1915 N
Fcily	3693 N
Fcil	<b>4160 N</b>
$\beta$	62,59 °

Tabla 6:Resultados DSL para caso 2 y altura 1210 mm

### 3.2.2 Tijera totalmente cerrada H=210 mm

VARIABLES	RESULTADOS
Rax	0 N
Ray	3004 N
Rby	1038 N
Rcx	12372 N
Rcy	5336 N
Rex	0 N
Rey	3004 N
Rfy	1038 N
Fcil x	12372 N
Fcily	3370 N
Fcil	<b>12823 N</b>
$\beta$	15, 24°

Tabla 7:Resultados DSL para caso 2 y altura 1210 mm

## 3.3 Resultado caso 3

En este caso, los diagramas de sólido libre se van a plantear de manera distinta. Como 1/3 de la carga se reparte en la mitad de lo ancho de la plataforma, no podemos asumir que la carga que se ejerce sobre las dos tijeras es la misma, como en casos anteriores. Por ello, se van a fijar dos apoyos en el ancho de la plataforma, representando las dos tijeras y con los valores obtenidos conocemos la tijera más desfavorable y a partir de ahí se plantean los diagramas de sólido libre como en los casos anteriores.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

Del diagrama de sólido libre inicial se obtienen las siguientes ecuaciones y resultados:

$$\begin{aligned} \sum F_y = 0; R1_y + R2_y &= (1500 * 1/3 * 1,1 * 9,8); \\ \sum M1 = 0; R2_y * 800 &= 1500 * 1/3 * 1,1 * 9,8 * 600; \end{aligned}$$

$$R1 = 1347.5 \text{ N}$$

$$R2 = 4042.5 \text{ N}$$

La segunda tijera es la más desfavorable, el estudio se realizará sobre ella. Con la reacción R2, es posible conocer la carga q2 distribuida a lo largo de la plataforma como se observa en la Ilustración 7 e Ilustración 8.

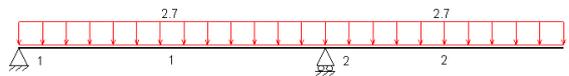


Ilustración 7: Diagrama sólido libre plataforma para caso 3 tijera abierta

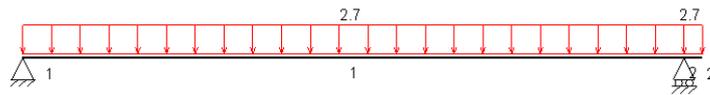


Ilustración 8: Diagrama sólido libre plataforma para caso 3 tijera cerrada

### 3.3.1 Tijera totalmente extendida h=1210 m

VARIABLES	RESULTADOS
Rax	0 N
Ray	2021 N
Rby	2021 N
Rcx	1915 N
Rcy	3693 N
Rex	0 N
Rey	2021 N
Rfy	2021 N
Fcil x	1915 N
Fcily	3693 N
Fcil	<b>4160 N</b>
$\beta$	62, 59°

Tabla 8: Resultados DSL para caso 3 y altura 1210 mm

### 3.3.2 Tijera totalmente cerrada h=210 mm

VARIABLES	RESULTADOS
Rax	0 N
Ray	2021 N
Rby	2021 N
Rex	12372 N
Rcy	3370 N
Rex	0 N
Rey	2021 N
Rfy	2021 N
Fcil x	12372 N
Fcily	3370 N
Fcil	<b>12823 N</b>
$\beta$	15, 24°

Tabla 9: Resultados DSL para caso 3 y altura 1210 mm

## 4 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS

Los diagramas de esfuerzos se calculan con MEFI para los mismos casos estudiados en el apartado anterior, los diagramas de esfuerzos se encuentran recogidas en el Anexo 3: Representación de diagramas de esfuerzos y en las siguientes tablas se recogen los resultados de los máximos valores obtenidos.

### 4.1 Caso 1

#### 4.1.1 Resumen resultados tijera abierta

Máximos esfuerzos	Plataforma	Barra 1	Barra 2
Axil	0 N	$2,14 \times 10^4$ N	$1,14 \times 10^4$ N
Cortante	$6,64 \times 10^3$ N	$2,88 \times 10^3$ N	$2,25 \times 10^4$ N
Flector	$2,11 \times 10^6$ Nxmm	$7,75 \times 10^5$ Nx mm	$7,92 \times 10^5$ Nxmm

Tabla 10: Resultados diagramas de esfuerzos caso 1 y tijera abierta

#### 4.1.2 Resumen resultados tijera cerrada

Máximos esfuerzos	Plataforma	Barra 1	Barra 2
Axil	0 N	$2,53 \times 10^4$ N	$2,37 \times 10^4$ N
Cortante	$7,16 \times 10^3$ N	$1,8 \times 10^3$ N	$8,85 \times 10^3$ N
Flector	$2,61 \times 10^6$ Nxmm	$8,3 \times 10^5$ Nxmm	$8,31 \times 10^5$ Nxmm

Tabla 11: Resultados diagramas de esfuerzos caso 1 y tijera cerrada

## 4.2 Caso 2

### 4.2.1 Resumen resultados tijera abierta

Máximos esfuerzos	Plataforma	Barra 1	Barra 2
Axil	$0 N$	$4,02 \times 10^3 N$	$1,67 \times 10^3 N$
Cortante	$4,08 \times 10^3 N$	$545 N$	$3,7 \times 10^3 N$
Flector	$8,5 \times 10^5 Nxmm$	$2,38 \times 10^5 Nxmm$	$2,13 \times 10^5 Nxmm$

Tabla 12: Resultados diagramas de esfuerzos caso 2 y tijera abierta

### 4.2.2 Resumen resultados tijera cerrada

Máximos esfuerzos	Plataforma	Barra 1	Barra 2
Axil	$0 N$	$1,28 \times 10^4 Nxmm$	$1,17 \times 10^4 N$
Cortante	$5,46 \times 10^3 N$	$1,93 \times 10^3 Nxmm$	$5,45 \times 10^3 N$
Flector	$1,52 \times 10^6 Nxmm$	$1,17 \times 10^6 Nxmm$	$1,17 \times 10^6 Nxmm$

Tabla 13: Resultados diagramas de esfuerzos caso 2 y tijera cerrada

## 4.3 Caso 3

### 4.3.1 Resumen resultados tijera abierta

Máximos esfuerzos	Plataforma	Barra 1	Barra 2
Axil	$0 N$	$3,84 \times 10^3 N$	$1,51 \times 10^3 N$
Cortante	$1,83 \times 10^3 N$	$413$	$3,58 \times 10^3 N$
Flector	$5,82 \times 10^5 Nxmm$	$1,44 \times 10^5 Nxmm$	$1,33 \times 10^5 Nxmm$

Tabla 14: Resultados diagramas de esfuerzos caso 2 y tijera abierta

### 4.3.2 Resumen resultados tijera cerrada

Máximos esfuerzos	Plataforma	Barra 1	Barra 2
Axil	$0 N$	$1,26 \times 10^4 N$	$1,19 \times 10^4 N$
Cortante	$1,97 \times 10^3 N$	$956 N$	$4,48 \times 10^3 N$
Flector	$7,18 \times 10^5 Nxmm$	$4,56 \times 10^5 Nxmm$	$4,56 \times 10^5 Nxmm$

Tabla 15: Resultados diagramas de esfuerzos caso 3 y tijera cerrada

A continuación, se va a hacer la comparación de los esfuerzos obtenidos para cada uno de los elementos que conforman la tijera, ya que se van a estudiar y dimensionar por separado a lo largo del proyecto.

## 5 POSICIONES MÁS DESFAVORABLES

### 5.1 Posición más desfavorable en la plataforma

Una vez conocidos resultados de los diagramas de esfuerzos es sencillo conocer la posición más desfavorable comparando los esfuerzos obtenidos para las dos posiciones planteadas y cada uno de los casos. Esta comparativa se encuentran recogida en el Anexo 5: Comparaciones resultados de los diagramas de esfuerzos y en las siguientes gráficas se plantea la variación de momento flector para cada caso y altura, quedando demostradas las posiciones más desfavorables.

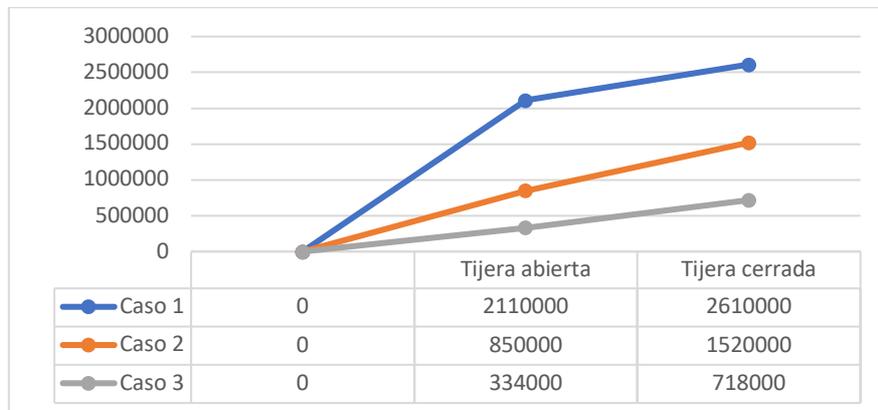


Ilustración 9 Comparativa momento flector plataforma

Los valores más altos, en los tres casos, aparecen cuando la tijera está completamente cerrada. Y comparando los tres, el caso más desfavorable será, con diferencia, el caso 1, por lo que es el que se utilizará a la hora de realizar el dimensionamiento.

### 5.2 Posición más desfavorable en las barras

Como en el estado de replegada es donde hemos obtenido una mayor fuerza del cilindro, probablemente sea nuestra posición más desfavorable para las barras. De todas formas, es necesario comprobarlo con los diagramas de esfuerzo.

### 5.2.1 Barra 1

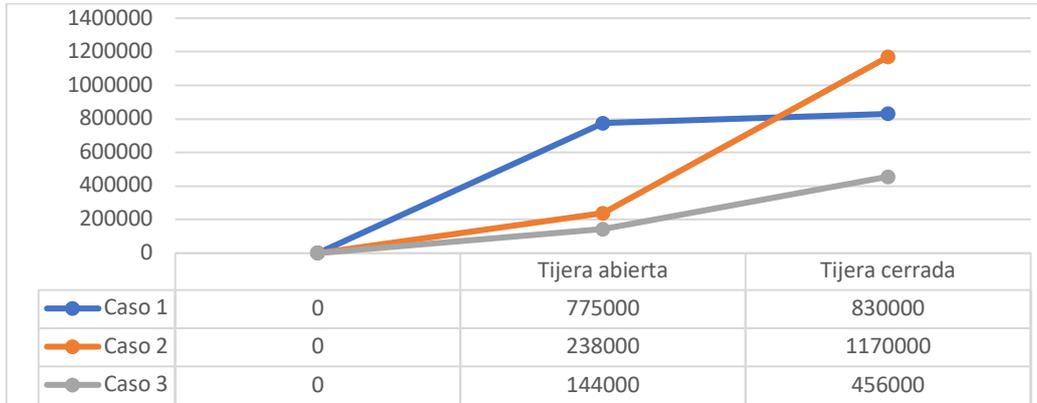


Ilustración 10 Comparativa momento flector barra1

El mayor valor de momento flector y, por tanto, caso más desfavorable, es el caso 2 para la posición de tijera cerrada.

### 5.2.2 Barra 2

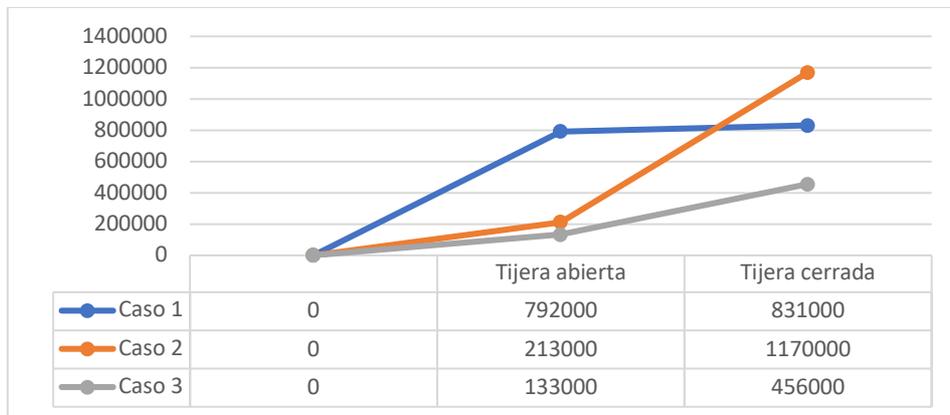


Ilustración 11 Comparativa momento flector barra 2

Al tener valores de esfuerzos prácticamente iguales al caso de la barra 1, vamos a tener el mismo caso y posición más desfavorables: Caso 2, tijera plegada.

## 6 DIMENSIONAMIENTO COMPONENTES DE LA TIJERA

### 6.1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS BARRAS

#### 6.1.1 Material utilizado en las barras

Escogemos uno de los aceros soldables de grano fino en condiciones de normalizado de la Tabla 16.

Grado \ Tipo	S 275	S 355	S 420	S 460
N	S 275 N	S 355 N	S 420 N	S 460 N
NL	S 275 NL	S 355 NL	S 420 NL	S 460 NL

Tabla 16 : Tipos de acero (Mitma.gob, s.f.)

En concreto el acero S 275N, el cual tiene las propiedades mostradas en las siguientes tablas:

Tipo	Espesor nominal t (mm)		
	t ≤ 63	63 < t ≤ 100	100 < t ≤ 250
S 275 N/NL	0,40	0,40	0,42
S 355 N/NL	0,43	0,45	0,45
S 420 N/NL	0,48	0,50	0,52
S 460 N/NL	0,53	0,54	0,55

Tabla 17: Porcentaje de carbono equivalente (CEV) (Mitma.gob, s.f.)

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S275 N, S355 N, S420 N, S460 N	0,035	0,030
S275 NL, S355 NL, S420 NL, S460 NL	0,030	0,025

Tabla 18: Porcentajes de azufre y fósforo (Mitma.gob, s.f.)

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

Tipo	Espesor nominal t(mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f <sub>y</sub>	f <sub>u</sub>	f <sub>y</sub>	f <sub>u</sub>
S 275 N/NL	275	370<f <sub>u</sub> <510	255	370<f <sub>u</sub> <510
S 355 N/NL	355	470 <f <sub>u</sub> <630	335	470<f <sub>u</sub> <630
S 420 N/NL	420	520<f <sub>u</sub> <680	390	520<f <sub>u</sub> <680
S 460 N/NL	460	540<f <sub>u</sub> <720	430	540<f <sub>u</sub> <720

Tabla 19:Propiedades mecánicas (Mitma.gob, s.f.)

### 6.1.2 Coeficiente de seguridad

El coeficiente de seguridad se va a escoger de la Tabla 20 , en función de la carga aplicada y el tipo de material que se ha escogido en el apartado anterior.

Valores orientativos del coeficiente de seguridad para cálculo estático			
Tipo de carga	Materiales DUCTILES		Materiales FRÁGILES
	Criterio de resistencia a la rotura	Criterio de resistencia a la fluencia	Criterio de resistencia a la rotura
Carga permanente	3 a 4	1,5 a 2	5 a 6
Carga repetida, en una dirección gradual	6	3	7 a 8
Carga repetida, invertida gradual	8	4	10 a 12
Carga con choque violento	10 a 15	5 a 7	15 a 20

Tabla 20:Valores orientativos coeficiente de seguridad (Canalís martinez Paula, 2017)

En el caso de una mesa elevadora de tijera se trata de una carga repetida en dirección gradual y al haber elegido un acero S 275 N, que es un material dúctil, se utilizará un coeficiente de seguridad más restrictivo para realizar los cálculos de diseño.

$$C_s, \text{fluencia} = 3$$

### 6.1.3 Cálculo sección de las barras

Para el caso más desfavorable en las barras se han obtenido los siguientes valores, que serán los utilizado en el cálculo de la sección.

- Axil:  $1,17 \times 10^4$  N
- Cortante:  $5,45 \times 10^3$  N
- Flector:  $1,17 \times 10^6$  N x mm

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

En cada una de las dos barras aparecen una serie de fuerzas de enlace que generan unos determinados esfuerzos sobre ellas, como se ha estudiado previamente. Estos esfuerzos a su vez generan una serie de tensiones en las secciones de las barras.

El punto más desfavorable en la sección, tanto de estos perfiles como de los que se van a estudiar posteriormente, es aquel en el que aparece un mayor cúmulo de tensiones generadas por los esfuerzos aplicados en el perfil. En este caso, analizando los diagramas de esfuerzos, ver Anexo 3: Representación de diagramas de esfuerzos, sabemos que el punto más desfavorable se encuentra en la parte inferior de la sección.

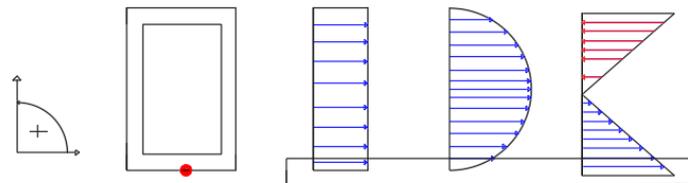


Ilustración 12: Sección más desfavorable perfil de las barras

Una vez conocido, se aplica la Teoría de máxima energía de distorsión, calculando la tensión equivalente de Von Mises.

Como no se conocen ni el área ni el módulo resistente de los perfiles, es necesario suponer que el axil es despreciable respecto al cortante. De esta manera, se obtiene un valor teórico del módulo resistente a partir del cual se entra a la tabla a seleccionar un perfil. Con los nuevos valores normalizados se comprobará si el perfil es válido, si no es así, se escogerá uno nuevo de la tabla y se volverá a realizar la comprobación anterior.

$r$  = Radio exterior de redondeo  
 $u$  = Perímetro  
 $A$  = Área de la sección  
 $S_x$  = Momento estático de media sección, respecto al eje X  
 $I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto al eje X  
 $W_y = 2I_y : a$  : Módulo resistente de la sección, respecto al eje Y  
 $i_x = \sqrt{I_x : A}$  : Radio de giro de la sección, respecto al eje X

$S_y$  = Momento estático de media sección, respecto al eje Y  
 $I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto al eje Y  
 $W_x = 2I_x : b$  : Módulo resistente de la sección, respecto al eje X  
 $i_y = \sqrt{I_y : A}$  : Radio de giro de la sección, respecto al eje Y  
 $I_t$  = Módulo de torsión de la sección

Perfil	Dimensiones					Términos de sección										Peso	
	a mm	b mm	e mm	r mm	u mm	A cm <sup>2</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> cm	S <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>		p kp/m
× 60. 40.2	60	40	2	5	191	3,70	3,70	18,1	6,03	2,21	2,80	9,69	4,85	1,62	20,7	2,91	P
× 60. 40.3	60	40	3	8	187	5,33	5,18	24,7	8,23	2,15	3,91	13,10	6,56	1,57	29,2	4,18	P
× 60. 40.4	60	40	4	10	183	6,81	6,42	29,7	9,91	2,09	4,84	15,70	7,86	1,52	36,1	5,35	P
× 70. 40.2	70	40	2	5	211	4,10	4,67	26,4	7,55	2,54	3,18	11,10	5,57	1,65	25,8	3,22	C
× 70. 40.3	70	40	3	8	207	5,93	6,59	36,4	10,40	2,48	4,47	15,20	7,59	1,60	36,4	4,66	C
× 70. 40.4	70	40	4	10	203	7,61	8,23	44,3	12,60	2,41	5,56	18,30	9,16	1,55	45,3	5,97	C
× 70. 50.2	70	50	2	5	231	4,50	5,35	31,1	8,87	2,63	4,26	18,50	7,42	2,03	37,5	3,53	C
× 70. 50.3	70	50	3	8	227	6,53	7,59	43,1	12,30	2,57	6,03	25,60	10,30	1,98	53,6	5,13	C
× 70. 50.4	70	50	4	10	223	8,41	9,55	53,0	15,10	2,51	7,57	31,40	12,50	1,93	67,6	6,60	C
× 80. 40.3	80	40	3	8	227	6,53	8,15	51,0	12,80	2,79	5,02	17,20	8,62	1,62	43,8	5,13	P
× 80. 40.4	80	40	4	10	223	8,41	10,20	62,6	15,60	2,73	6,28	20,90	10,50	1,58	54,7	6,60	P
× 80. 40.5	80	40	5	13	219	10,14	12,00	71,6	17,90	2,66	7,33	23,70	11,90	1,53	63,6	7,96	C
× 80. 60.3	80	60	3	8	267	7,73	10,50	68,8	17,20	2,98	8,60	44,20	14,70	2,39	88,5	6,07	P

Tabla 21: Propiedades de perfiles rectangulares huecos para las barras (Ingemecanica, 2020)

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

El perfil final seleccionado con los cálculos realizados en el Anexo 4: Cálculos en la selección del perfil de las barras, es el siguiente:

$$S = 80 \times 60 \times 3 \text{ mm.}$$

## 6.2 DIMENSIONAMIENTO CILINDRO HIDRÁULICO

En este apartado se van a dimensionar los principales elementos de un cilindro hidráulico.

- Pistón
- Vástago
- Cuerpo

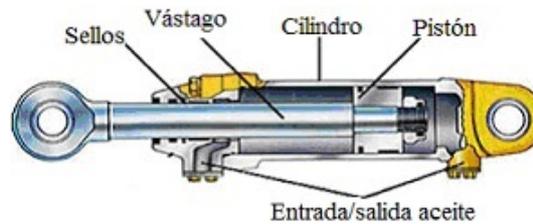


Ilustración 13: Componentes de un cilindro hidráulico (Ingemecanica, 2020)

### 6.2.1 Material del pistón

Escogemos un acero F-1140 cuyas principales propiedades son las que se comentan a continuación:

- “No tiene buenas condiciones de soldabilidad.
- Puede ser sometido a temple y revenido.
- En el tratamiento de temple por inducción se alcanzan durezas de 55-61 HRC, capaces de soportar desgastes localizados.” (Ipargama, 2020)

$\varnothing$ en mm	$\varnothing = 0 < 16$	$16 < \varnothing = 0 < 40$	$40 < \varnothing = 0 < 100$
R (kg/mm <sup>2</sup> )	71-91	67-87	63-83
E (kg/mm <sup>2</sup> ) min.	48	42	38
A (5d) % min.	13	15	16
KCU (kg/cm <sup>2</sup> ) min.	6	6	6

Tabla 22: Propiedades mecánicas acero F-1140 (Graubassas, 2020)

Principales aplicaciones de este tipo de acero:

- “Elementos mecánicos de responsabilidad media.
- Piezas de resistencia media, pequeños espesores y formas poco complicadas.

- Piezas de forja que posteriormente se mecanizan y no están sometidos a esfuerzos directos, fatigas, desgastes, etc.” (Ipargama, 2020)

### 6.2.2 Material del vástago

Una barra cromada es una barra de acero sólido que está cubierta por una capa de cromo. Las barras cromadas, por su resistencia, dureza y su superficie tersa, son un medio excelente para transmitir fuerza y por eso son utilizadas para la fabricación o reparación de cilindros. La capa de cromo que tienen las barras cromadas les da propiedades contra la corrosión, cosa que hace que las barras cromadas sean más resistentes al medio ambiente.

Un vástago de un cilindro requiere una superficie muy tersa para evitar fugas de aceite en los sellos y también para mantenerse sin corrosión para lograr una vida prolongada del cilindro. Con la capa de cromo, las barras tienen una excelente protección contra la corrosión. (Roydisa, 2018)

Es por ello por lo que, se va a utilizar un acero F-1140 también, pero esta vez rectificado y cromado.

### 6.2.3 Dimensionamiento teórico del pistón

“De forma general, los cilindros hidráulicos presentan las siguientes características:

- Hasta 700 bar de presión.
- Medianas-grandes fuerzas
- Incompresible “ (Canalís martinez Paula, 2017)

Se emplea la mayor fuerza ejercida en el cilindro obtenida en el apartado 3. Se trata de caso 1, con  $F_{cilindro} = 25656 \text{ N}$ .

Para hacer un cálculo estimado del diámetro del pistón, se supone una presión de 170 bares.

Calculamos el diámetro utilizamos la siguiente fórmula:

$$F_a(N) = \frac{p(\text{bar}) * \frac{\pi * D^2}{4} (\text{mm}^2)}{10 \left( \frac{\text{bar}}{\text{Mpa}} \right)}$$

$$D = 43,84 \text{ mm}$$

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

Este diámetro D, es un diámetro teórico cogemos el más próximo por encima en la siguiente tabla, obteniendo los siguientes resultados:

Diámetro del pistón (D = mm)	Area Pistón (mm <sup>2</sup> )
25	491
32	804
40	1257
50	1963
63	3117
80	5027
100	7854
125	12272
160	20106
200	31416

Tabla 23: Diámetro y área de pistón normalizados (Canalís martinez Paula, 2017)

$$D_{real} = 50 \text{ mm}$$

$$A_{pistón} = 1963 \text{ mm}^2$$

#### 6.2.4 Dimensionamiento teórico del vástago

Como se trata un cilindro hidráulico, el vástago “empuja” el elemento que pretende mover, presentando las siguientes características:

- “Por acción-reacción trabaja a compresión.
- Posible fallo a pandeo. Se dimensionará mediante gráficas.
- La carga máxima soportable depende de los siguientes factores:
  - Coeficiente  $\beta$
  - Carrera del cilindro: distancia recorrida por el vástago.
  - Fuerza ejercida por el cilindro.” (Canalís martinez Paula, 2017)

#### 6.2.5 Cálculo coeficiente $\beta$

Conociendo el tipo de fijación del cilindro se conoce el valor de  $\beta$  a partir de la Tabla 24.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

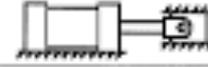
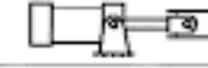
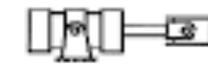
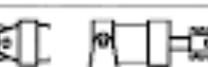
Tiempo de montaje	Conexión del extremo del vástago	Tipo de conexión	Factor de pandeo
Grupos 1 o 3 - Los cilindros de gran longitud de carrera deben montarse usando en un extremo una base rígida y alineada para soportar la fuerza principal y en el extremo opuesto un soporte pivoteado. Se aconseja un soporte intermedio para el caso de carreras muy largas.	Fijo y guiado rígido	I 	0,5
	Pivote y guiado rígido	II 	0,7
	Soporte sin guiado rígido	III 	2
Grupo 2	Pivote y guiado rígido	IV 	1
	Pivote y guiado rígido	V 	1,5
	Pivote y guiado rígido	VI 	2

Tabla 24: Coeficiente beta (Canalis martinez Paula, 2017)

$$\beta = 2$$

### 6.2.5.1 Cálculo de la longitud de pandeo

El dimensionamiento del vástago se va a realizar utilizando dos variables, la máxima fuerza del cilindro y la longitud de pandeo. Esta última se conoce a partir de la carrera del cilindro, que se obtiene al comparar las posiciones del cilindro para las dos principales alturas, ver dibujos en Anexo 2: Dibujos a distintas alturas, obteniendo los siguientes resultados:

Tijera totalmente extendida (h=1210 mm)

- $L_{cilindro} = 490,644 \text{ mm}$

Tijera totalmente plegada (h=210 mm)

- $L_{cilindro} = 410,446 \text{ mm}$

$$\text{Carrera cilindro } L = 490,644 - 410,446 = 80,2 \text{ mm}$$

$$\text{longitud pandeo} = \text{carrera} * \beta$$

$$\text{longitud pandeo} = 80,2 * 2 = 160,4 \text{ mm}$$

### 6.2.5.2 Cálculo del diámetro del vástago

El diámetro teórico del vástago se obtiene a partir de la siguiente gráfica, la cual relaciona el valor de la fuerza obtenida para el cilindro con la carrera calculada.

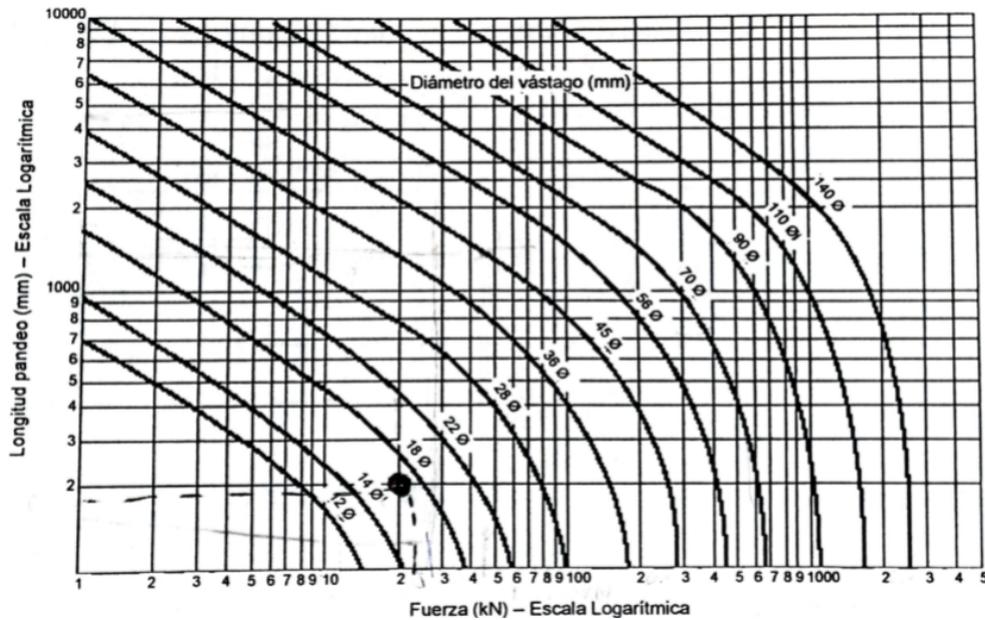


Ilustración 14: Diámetro teórico del vástago (Canalís martinez Paula, 2017)

La curva más próxima por encima es la de 18 mm.

$$d = 18 \text{ mm}$$

### 6.2.6 Selección de un cilindro comercial

Se ha seleccionado el siguiente cilindro hidráulico de la imagen del catálogo de GLUAL hidráulica. Cuyas propiedades son las contenidas en la Tabla 25.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg



CARACTERÍSTICAS KR																						
Norma	ISO 6020/1																					
Tipo de construcción	Con brida																					
Presión nominal	160 bar (presión más elevada sobre demanda)																					
Presión de prueba	240 bar																					
Posición de montaje	indiferente																					
Temperatura ambiente	-20°C...+80°C con estanqueidad tipo 1-3-8																					
	-20°C...+160°C con estanqueidad vitón tipo 2-5																					
Temperatura del fluido	-20°C...+80°C con estanqueidad tipo 1-3-8																					
	-20°C...+160°C con estanqueidad vitón tipo 2-5																					
Fluido	Aceite mineral – Otros fluidos bajo demanda																					
Viscosidad	12...90 cSt																					
Filtración	Grado de filtración según NAS 1638 clase 9...10 a obtener con filtro $B_{10} = 75$																					
Estanqueidad vástago y pistón	Ver codificación para pedido																					
Ø Pistón (mm)	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200												
Ø Vástago (mm)	14	18	18	22	28	28	36	36	45	45	56	70	70	90	90	110	110	140				
Velocidad máxima (m/s) Juntas tipo 1-3-5	0,5						0,4															
Velocidad máxima (m/s) Juntas tipo 8-2	1																					
Longitud de amortiguación (mm)	Delantera		20	20	20	20	27	27	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	39	39	45	45
	Trasera		20	20	27	30	35	35	35	35	38	43	43	45	50							
Tolerancia de carrera	ISO 8135																					

Tabla 25: Propiedades del cilindro hidráulico KR ISO 6020/1. (Glual hidráulica, 2009)

A partir del diámetro teórico calculado, elegimos el del vástago más próximo al valor teórico. Las dimensiones finales del cilindro serán:

- $D_{\text{pistón}} = 50 \text{ mm}$
- $d_{\text{vástago}} = 28 \text{ mm}$

Se recalcula la presión en el cilindro para los diámetros normalizados escogidos.

$$\text{Precalculada} = 130,65 \text{ bar}$$

No es necesario calcular la presión de retroceso, ya que el cilindro va a retroceder por el propio peso de la tijera al cerrarse. Se utilizará entonces la presión de avance para escoger una bomba hidráulica y calcular el espesor de la camisa del cilindro.

### 6.2.7 ESPESOR PARED DEL CILINDRO

Antes de calcular el espesor del cilindro, se necesitan datos sobre el material del que está hecho y el coeficiente de seguridad utilizado.

En cuanto al material del cuerpo del cilindro se elige un acero ST-52, cuyas propiedades se ven recogidas en la siguiente imagen.

Norma	Limite Elástico - Rm (N/mm <sup>2</sup> )						Resistencia - Re (N/mm <sup>2</sup> )				A Mín. (%)	
	Espesores (mm)										Long.	Trasv.
	≤ 16	>16 ≤ 40	>40 ≤ 65	>65 ≤ 80	>80 ≤ 100	≤ 16	>16 ≤ 40	>40 ≤ 65	>65 ≤ 100			
ST-52.0	DIN-1629	355	345	335	315	295	510-650	510-650	510-650	470	21	19
ST-52.3	DIN-17121	470	460	430	430	-	650	620	600	550	22	20

Tabla 26: Propiedades mecánicas acero ST-52 (Ferrocortes, 2015)

Para conocer las tensiones en la pared del cilindro utilizaremos las dos siguientes hipótesis:

- Cilindro de pared delgada.
- Cilindro de pared gruesa.

#### 6.2.7.1 Cilindro pared delgada

Para resolver esta hipótesis, es posible utilizar las dos siguientes teorías en función de los datos conocidos:

- Teoría del Cortante máximo.
- Teoría de Von Mises.

En este caso, se **utilizará la teoría de Von Mises**, en la cual es necesario conocer  $\sigma_f$  y  $\sigma_{eq}$ . Las operaciones realizadas para el cálculo del espesor se encuentran recogidas en Anexo 12.6.1.

$$\sigma_f = 355 \text{ Mpa}$$

$$C_{s,f} = 3$$

La condición que debe cumplir el espesor es la siguiente:

$$e < \frac{d}{40}$$

$$1,34 > 0,7$$

No se cumple, por lo que pasamos a suponer la hipótesis de cilindro de pared gruesa y se comprueba de nuevo.

#### 6.2.7.2 Cilindro pared gruesa

Existen dos casos posibles para este tipo de cilindro.

- La presión externa es despreciable y solo se encuentra sometido a la presión interior.
- La presión interior se aproxima a cero y solo se considera la exterior.

En el caso de este estudio se trata de la primera posibilidad en la que se utilizará la presión calculada en el apartado 6.2.6

En el caso de utilizar el criterio de Von Mises en pared gruesa, habría que hacer una interpolación e ir suponiendo espesores hasta calcular un  $C_s$  apropiado. Sin embargo, con la teoría del cortante máximo, se puede obtener un valor de espesor directamente, por lo que es la que se va a utilizar en los cálculos del Anexo 12.6.2. Una vez conocidos los valores comprobamos si es válido el espesor.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

$$e \geq \frac{di}{40}$$

$$1,86 \geq 0,7$$

$$e = 1,86 \text{ mm}$$

El espesor calculado es correcto y se trata de un cilindro de pared gruesa.

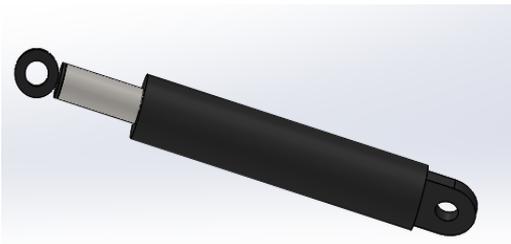


Ilustración 15: Diseño cilindro final en Solid Works

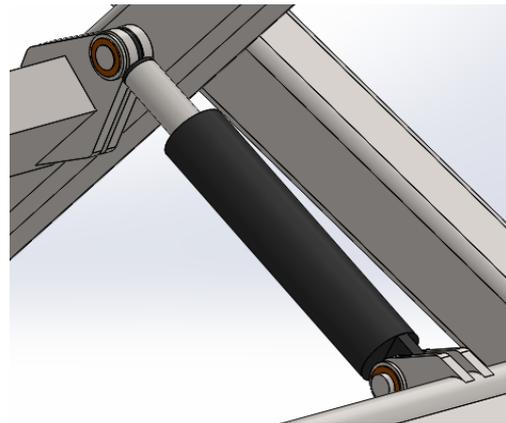


Ilustración 16: Ensamblaje cilindro en Solid Works

### 6.3 SELECCIÓN BOMBA HIDRÁULICA

El tipo de bomba utilizada en la mesa original no aparece en el catálogo, por lo que se selecciona una a partir de los datos conocidos, que se encuentran recogidos en la Tabla 27.

Recorrido	1000 mm
Tiempo de subida	17 seg
Pmax recalculada	130,65 bar
Dpistón comercial	63 mm

Tabla 27: Datos conocidos para selección de bomba hidráulica

Se calcula entonces un caudal aproximado utilizando el área y la velocidad media de este. A partir de estos valores se calculará la potencia y la cilindrada y se podrá seleccionar un cilindro comercial, ver cálculos en el Anexo 7: Cálculos en la selección de la bomba.

Sobre el catálogo comercial de Glual Hidráulica, se escoge una bomba de desplazamiento fijo tipo **PGP 505 /0060**.

## Componentes Hidráulicos

### Bombas-Desplazamiento fijo

#### Engranaje

PGP 500, 600



- Altas prestaciones.
- Alta eficiencia.
- Bajo ruido a altas presiones de trabajo.
- Montaje y conexiones universales.
- Opción de válvula integrada.
- Misma conexión para diferentes configuraciones de bomba.

Ilustración 17: Bomba hidráulica tipo PGP (Glual hidráulica, 2009)

Tipo PGP 505	0030	0040	0060	0080	0100	0120							
Cilindrada (cm <sup>3</sup> /rev)	3	4	6	8	10	12							
Presión máx. continuo (bar)	275	275	275	275	250	220							
Velocidad máx. de trabajo (rpm)	4000	4000	3600	3000	2800	2400							
Potencia de entrada (kW)	2.3	3.0	4.5	6.0	6.9	7.5							
Peso (kg)	2.22	2.27	2.38	2.48	2.58	2.68							

Tabla 28: Características principales de la bomba PGP 505 (Glual hidráulica, 2009)

A continuación, se comprueba si la bomba escogida es válida comparando con la presión y cilindrada requerida para este caso.

$$275 \text{ bar} > 130.65 \text{ bar}$$

$$6 \left( \frac{\text{rev}}{\text{m}^3} \right) > 4.72 \left( \frac{\text{rev}}{\text{m}^3} \right)$$

**La bomba es apta para la instalación.**

## 6.4 CÁLCULO SECCIÓN DE PASADORES

En la estructura encontraremos la siguiente distribución de pasadores.

- 2 pasadores en los anclajes del cilindro con las barras.
- 2 pasadores de unión central de ambas tijeras.
- 8 pasadores en los extremos de la estructura que 4 unen las barras con la plataforma de trabajo y 4 las unen con las ruedas que permiten el desplazamiento de las barras.

### 6.4.1 Metodología utilizada para dimensionar.

La sección de los pasadores se calcula mediante el estudio de todas las posibilidades de fallo.

- Fallo por cortante directo.
- Fallo por aplastamiento.

Una vez calculadas las dimensiones para ambas posibilidades, se escogerá un cilindro de dimensiones normalizadas de la Tabla 29 perteneciente al catálogo de Opac componentes.

Antes de comenzar con los cálculos de la sección del pasador, se va a escoger un material determinado y un coeficiente de seguridad, el cual será el mismo que para el resto de la estructura,  $Cs, f = 3$ .

### 6.4.2 Selección material para los pasadores.

Se elige de nuevo un acero F-1140. Sus propiedades mecánicas estableciendo un diámetro menor de 16 mm están recogidas en el apartado 6.1.1 de donde se obtiene la siguiente tensión de fluencia.

$$\sigma_f = 412 \text{ MPa}$$

A continuación, se explica con detalle la metodología empleada para cada fallo.

#### 6.4.2.1 Fallo por cortante directo

Aplicando este tipo de fallo se obtiene un valor para el diámetro del pasador directamente, despejando el área de corte de la fórmula.

Se utilizará la Teoría de Cortante Máximo a la hora de hacer los cálculos. Además, se tiene en cuenta que en los pasadores de la base, plataforma y centro de la tijera únicamente existe un plano de corte, mientras que en el caso de los pasadores de unión con el cilindro aparecen dos planos de corte.

$$Cs, f = \frac{\tau_f}{\tau_{max}}$$

Donde  $\tau_f$  se obtendrá a partir de la tensión de fluencia, o bien del material de las barras, o del material de los pasadores. Se escoge la menor de las dos para realizar cálculos más limitantes.

$$\tau_{max} = \frac{F_{max}}{n^{\circ} \times A}$$

$N.^{\circ}$ = número de planos de corte.

$A$ = área del pasador.

Despejando el área encontraremos el diámetro del pasador necesario para evitar el fallo por corte. Una vez se conozca el valor teórico, se elegirá un valor normalizado de pasador próximo al obtenido.

#### 6.4.2.2 Fallo por aplastamiento

Una vez calculado y escogido un diámetro de pasador normalizado, calcularemos el espesor de las orejetas en el caso de que las haya, si no, se calculará el espesor necesario de la pieza en contacto con el pasador. En algunas ocasiones, este espesor ya es conocido, por lo que, en caso de obtener un valor menor, tendremos que plantear algún tipo de refuerzo en el pasador. Estos cálculos se llevan a cabo utilizando la teoría de fallo por aplastamiento, aplicando las siguientes fórmulas para el coeficiente de seguridad escogido.

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{\sigma_f}{C_s}$$

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{F}{dxe}$$

Todas las operaciones utilizadas en el cálculo del dimensionamiento se encuentran recogidas en el Anexo 8: Cálculos dimensiones pasadores. Mientras que en los siguientes apartados se recogen los resultados finales y las dimensiones escogidas de catálogo.

#### 6.4.3 Pasadores de anclaje al cilindro.

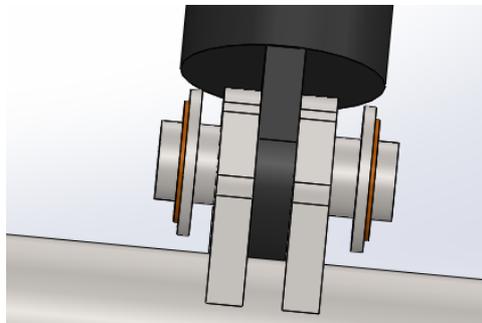


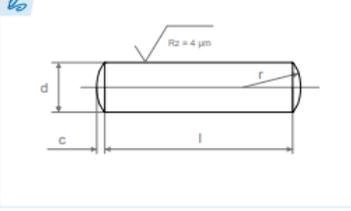
Ilustración 18: Pasador de anclaje al cilindro en Solid Works

### 6.4.3.1 Fallo por cortante directo

$$d = 18,87 \text{ mm}$$

Selección de un diámetro normalizado del catálogo de Opac Componentes.





**Pasador cilíndrico**  
*Parallel pins*  
*Goupille cylindrique*  
*Cavilha cilíndrica*

**Material: 9SMnPb28K**  
*Material: 9SMnPb28K*  
*Matière: 9SMnPb28K*  
*Material: 9SMnPb28K*

**Tolerancia: m6**  
*Tolerance: m6*  
*Tolérance: m6*  
*Tolerância: m6*

d	m6	0,8*	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	25	30	40	50	m6	d
c	max.	0,12	0,15	0,18	0,23	0,3	0,4	0,45	0,6	0,75	0,9	1,2	1,5	1,8	2	2,5	3	4	4,5	6	7,5	max.	c
r	=	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	16	20	25	32	40	50	=	r
02	03	03	03	04	04	04	05	05	06	08	10	10	14	16	20	24	32	40	50				
03	04	04	04	05	05	05	06	06	08	10	12	12	16	18	22	28	36	45	55				
04	05	05	05	06	06	06	08	08	10	12	14	14	18	20	24	32	40	50	60				
05	06	06	06	08	08	08	10	10	12	14	16	16	20	22	26	36	45	55	70				
06	08	08	08	10	10	10	12	12	14	16	18	18	22	24	28	40	50	60	80				
08	10	10	10	12	12	12	14	14	16	18	20	20	24	26	30	45	55	70	90				
	12	12	12	14	14	14	16	16	18	20	22	22	26	28	32	50	60	80	100				
	14	14	14	16	16	16	18	18	20	22	24	24	28	30	36	55	70	90	120				
	16	16	18	18	18	20	20	22	24	26	28	28	32	36	40	60	80	100	140				
	18		18	20	20	22	22	24	26	28	28	32	36	45	70	90	120	160					
	20		20	22	22	22	24	24	26	28	30	30	36	40	50	80	100	140	180				
			22	24	24	24	26	26	28	30	32	32	40	45	55	90	120	160	200				
			24	26	26	26	28	28	30	32	36	36	45	50	60	100	140	180					
			26	28	28	28	30	30	32	36	40	40	50	55	70	120	160	200					
			28	30	30	30	32	32	36	40	45	45	55	60	80	140	180						
			30	32	32	32	36	36	40	45	50	50	60	70	90	150	200						
			32		36	36	40	40	45	50	55	55	70	80	100	160							
					40	40	45	45	50	55	60	60	80	90	120	180							
					45	50	55	55	60	70	70	90	100	140	200								

Tabla 29: Medidas de pasadores normalizadas (Opac componentes, 2020)

Esta misma tabla es la que se utilizará para escoger las dimensiones del resto de pasadores también.

Dimensiones finales:

- $d = 20 \text{ mm}$
- $c = 3 \text{ mm}$
- $r = 20 \text{ mm}$
- $l = 60 \text{ mm}$

### 6.4.3.2 Fallo por aplastamiento

Cálculo del espesor de la orejeta.

$$e = 9,34 \text{ mm}$$

#### 6.4.4 Pasadores de unión entre tijeras.

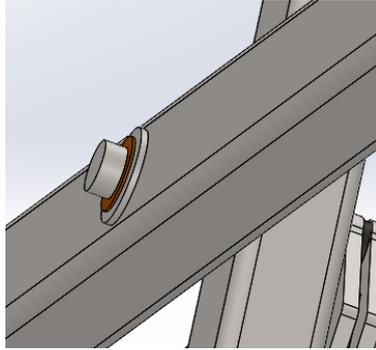


Ilustración 19: Pasador de unión de tijeras en Solid Works

##### 6.4.4.1 Fallo por cortante directo.

$$d = 26,67 \text{ mm}$$

Dimensiones finales:

- $d = 30 \text{ mm}$
- $c = 4,5 \text{ mm}$
- $r = 32 \text{ mm}$
- $l = 140 \text{ mm}$

##### 6.4.4.2 Fallo por aplastamiento.

$$e = 6,98 \text{ mm}$$

El espesor exigido por el pasador para no fallar por aplastamiento es mayor que el del perfil escogido anteriormente. Para solucionar este problema, se realiza una soldadura de una chapa de refuerzo de 4 mm, aumentando así el espesor en la zona del pasador.

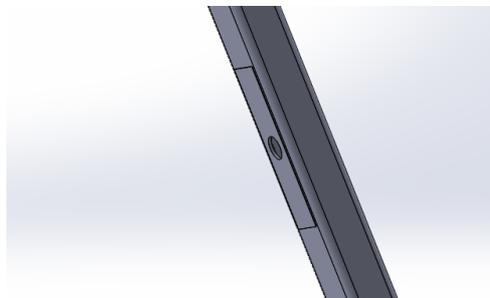


Ilustración 20: Chapa de refuerzo de 4 mm

#### 6.4.5 Pasadores de unión de la tijera con la base y la plataforma.

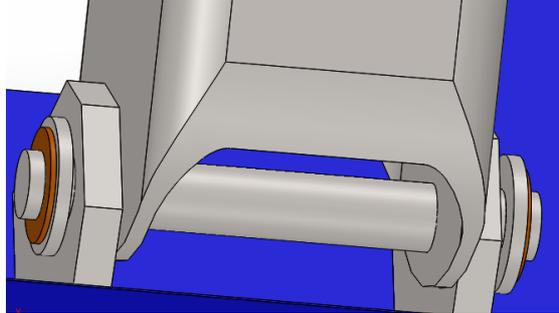


Ilustración 21: Pasador de los extremos en Solid Works

##### 6.4.5.1 Pasadores en extremo móvil

$$d = 10,74 \text{ mm}$$

Dimensiones finales:

- $d=12 \text{ mm}$
- $c= 1,8 \text{ mm}$
- $r= 12 \text{ mm}$
- $l= 70 \text{ mm}$

##### 6.4.5.1.1 Fallo por aplastamiento.

$$e = 3,78 \text{ mm}$$

Se refuerza otra vez con una chapa del mismo material que las barras, en este caso de 1 mm, para que soporte el fallo por aplastamiento.

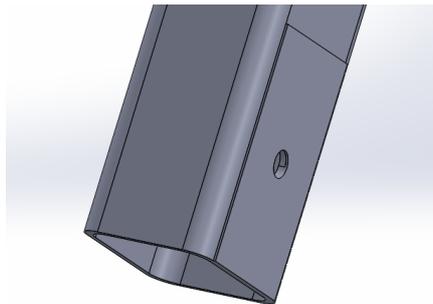


Ilustración 22:Chapa refuerzo pasador de 1 mm

#### 6.4.5.2 Pasador en extremo fijo

$$d = 10,45 \text{ mm}$$

Dimensiones finales:

- $d = 12 \text{ mm}$
- $c = 1,8 \text{ mm}$
- $r = 12 \text{ mm}$
- $l = 60 \text{ mm}$

##### 6.4.5.2.1 Fallo por aplastamiento.

Cálculo del espesor de la orejeta.

$$e = 3,58 \text{ mm}$$

## 6.5 SELECCIÓN DE ANILLOS Y ARANDELAS

En los extremos de los pasadores se lleva a cabo un ranurado para permitir la inserción de un anillo elástico para proporcionar seguridad a la estructura. Estos anillos irán acompañados de una serie de arandelas planas a presión para asegurar la posición del pasador.

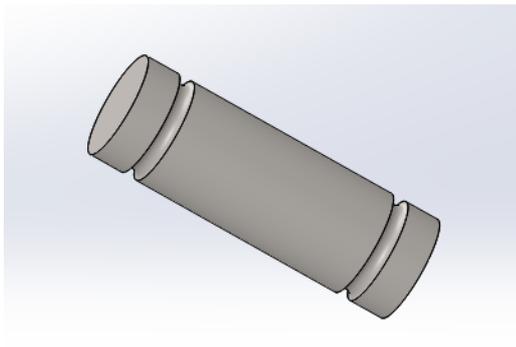


Ilustración 23: Ranurado en pasador

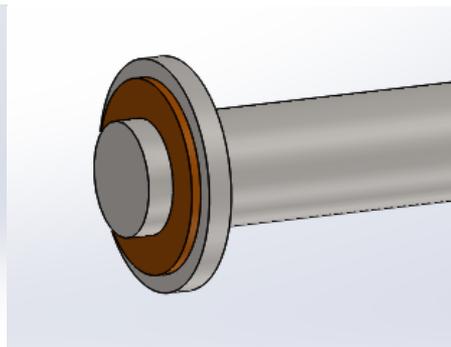


Ilustración 24: Arandela y anillo de seguridad en pasador

Las dimensiones de ambos elementos vienen determinadas por los diámetros de pasador calculados en los apartados anteriores. Se eligen con medidas normalizadas utilizando las tablas recogidas en los siguientes apartados.

### 6.5.1 Material y dimensiones de los anillos de seguridad.

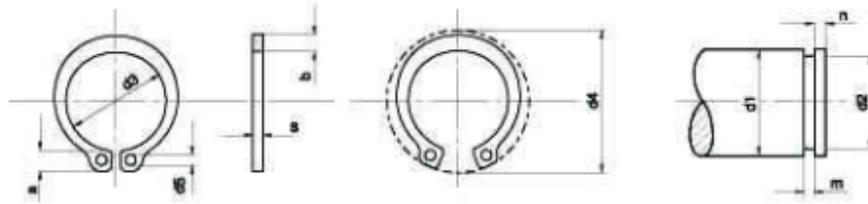


Ilustración 25: Medidas de los anillos de seguridad (Otia, 2005)

En el caso de los anillos de seguridad tendremos en cuenta las tolerancias a la hora de aproximar al diámetro necesario. Las medidas se eligen de un catálogo de anillos normalizados, ver Anexo 12.9.1.

Las dimensiones finales de los anillos están recogidas en la siguiente tabla.

<b>Medidas en mm</b>	<b>S</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>d3</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>d4</b>	<b>d5</b>
Pasadores cilindros	1,2	4,2	2,8	20,5	+0,13 -0,42	30,8	2
Pasadores unión tijeras	1,5	5,2	3,7	30,5	+0,25 -0,50	44	2,5
Pasadores en los extremos	1	3,4	2	11,9	+0,10 -0,36	20,2	1,7

Tabla 30: Medidas finales de anillo seleccionadas

Las principales características del material utilizado son las siguientes:

- MATERIAL: SAE 1070 IRAM-IAS U 500-179 (SIMILAR C 67, C 75, CK 75 SEGUN DIN 17222)
- DUREZA: HRC: 47 ÷ 54 (d1 4 ÷ d1 48); HRC: 44 ÷ 51 (d1 50 ÷ d1 200)
- Disponible también en acero inoxidable.
- Anillos DIN 471 de mayor espesor: Consultar.

Ilustración 26: Propiedades del material SAE 1070

### 6.5.1.1 Material y dimensiones de las arandelas.

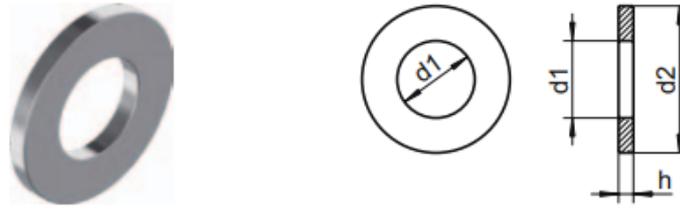


Ilustración 27: Dimensiones de arandelas (Wasi, 2020)

Las tablas de selección de arandelas normalizadas se encuentran recogidas en el Anexo 12.9.2. Las medidas escogidas para cada uno de los pasadores se recogen en la Tabla 31.

Medidas en mm	d1	d2	h
Pasadores cilindros	21	37	3
Pasadores unión tijeras	31	56	4
Pasadores en los extremos	13	24	2,5

Tabla 31: Medidas finales seleccionadas para arandelas

El material de las arandelas es un acero inoxidable DIN 125 A.

## 6.6 DIMENSIONAMIENTO OREJETAS

Con el estudio de los pasadores, se han obtenido algunas de las principales medidas de las orejetas: el diámetro interior, el radio de la curvatura superior y el espesor. A continuación, se va a calcular la altura teniendo en cuenta que van a estar sometidas a flexión compuesta en un solo eje.

A la hora de dimensionar, se va a utilizar para cada orejeta el caso y posición para el cual aparezca unos mayores esfuerzos en el punto donde esté situadas ambas. Para las orejetas del cilindro, tanto superiores como inferiores será el caso 2 para tijera plegada, y, en el caso de los extremos será para caso 2 barra 1 con tijera plegada.

El material utilizado en las orejetas es el mismo que en las barras, es decir, un acero S-275N.

### 6.6.1 Orejetas de pasadores en el cilindro

Datos conocidos:

- $N_x = 1,17 \times 10^4 \text{ N}$
- $M_z = 1,98 \times 10^5 \text{ N x mm}$
- $D = 20 \text{ mm}$
- $r = 20 \text{ mm}$
- $e = 9,34 \text{ mm}$

$$\sigma_x = \frac{N_x}{A} + \frac{M_z}{W_z}$$

$$91,6 = \frac{1,17 \times 10^4}{9,34 \times h} + \frac{1,98 \times 10^5}{\frac{9,34 \times h^2}{6}}$$

$$h = 45 \text{ mm}$$

Esta orejeta presenta un hueco en la parte inferior donde va colocado el perfil rectangular de apoyo de los cilindros.

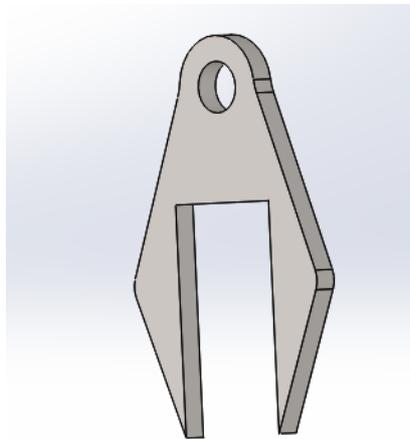


Ilustración 28: Orejeta superior para el agarre del cilindro

### 6.6.2 Orejetas de pasadores de extremos fijos

- $N_x = 3932 \text{ N}$
- $M_z = 0 \text{ N x mm}$
- $D = 12 \text{ mm}$
- $r = 12 \text{ mm}$
- $e = 3,78 \text{ mm}$

$$\sigma_x = \frac{N_x}{A} + \frac{M_z}{W_z}$$

$$91,6 = \frac{3932}{3,78 \times h}$$

$$h = 12 \text{ mm}$$

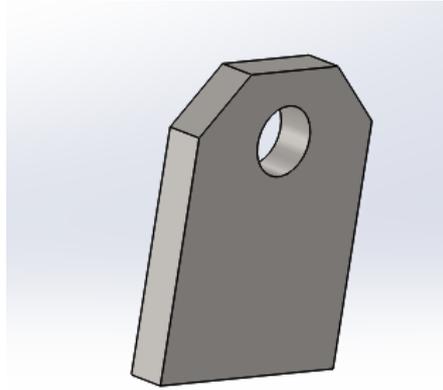


Ilustración 29: Orejeta inferior para los extremos de la tijera

## 6.7 PERFILES DE APOYO EN EL CILINDRO

Las orejetas, tanto inferiores como superiores, que van unidas a los pasadores de sujeción de los cilindros, van a su vez unidas mediante soldadura a dos perfiles, uno rectangular y otro circular, este último a su vez irá unido a uno rectangular de las mismas dimensiones que el primero.

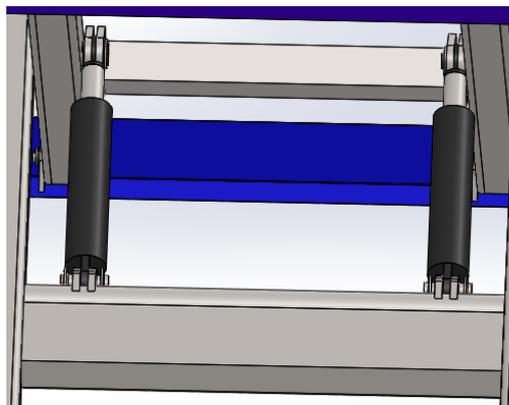


Ilustración 30:Perfiles de apoyo en el cilindro

Las dimensiones necesarias para estos perfiles son conocidas, por lo que se va a emplear la misma metodología que para la selección de los perfiles de las barras, pero de manera inversa. A partir de un perfil escogido de una tabla de perfiles, se van a realizar los cálculos, para el punto de la sección que se demuestre como más desfavorable, del

coeficiente de seguridad. Si el resultado es mayor o igual al impuesto, el perfil seleccionado será válido

El material utilizado en todos los perfiles es el mismo que para el resto de la estructura, acero S-275N.

### 6.7.1 Perfil rectangular superior

Las medidas necesarias son las siguientes:

- Largo: 471 mm
- Ancho: 94,2 mm

Ajustamos estas medidas a las normalizadas en la tabla de perfiles rectangulares huecos utilizada en el apartado 6.1.3.

h	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
b	50	75	100	125	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000
t	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250
I <sub>x</sub>	100	200	300	400	500	800	1000	1200	2000	3000	4000	6000	8000	10000	15000	20000	30000	40000	60000	80000
I <sub>y</sub>	10	20	30	40	50	80	100	120	200	300	400	600	800	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
W <sub>x</sub>	10	20	30	40	50	80	100	120	200	300	400	600	800	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
W <sub>y</sub>	10	20	30	40	50	80	100	120	200	300	400	600	800	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
A	10	20	30	40	50	80	100	120	200	300	400	600	800	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
γ <sub>x</sub>	50	75	100	125	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000
γ <sub>y</sub>	50	75	100	125	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000
λ <sub>01</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>02</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>03</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>04</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>05</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>06</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>07</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>08</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>09</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>10</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>11</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>12</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>13</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>14</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>15</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>16</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>17</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>18</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>19</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>20</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>21</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>22</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>23</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>24</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>25</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>26</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>27</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>28</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>29</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>30</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>31</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>32</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>33</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>34</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>35</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>36</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>37</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>38</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>39</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>40</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>41</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>42</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>43</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>44</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>45</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>46</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>47</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>48</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>49</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
λ <sub>50</sub>	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000

Tabla 32: Sección de la tabla de propiedades de perfiles rectangulares (Ingemeconica, 2020)

Medidas escogidas de la Tabla 32: **100 x 50 x 3 mm.**

En este perfil el punto de la sección más desfavorable se encuentra en la parte superior del perfil como se puede observar en la Ilustración 31. Para conocer este punto, es necesario conocer los esfuerzos que se dan a lo largo del perfil, todos los cálculos y representaciones de los diagramas de esfuerzos se encuentran recogidos en el Anexo 10: Cálculos para la selección de los perfiles.

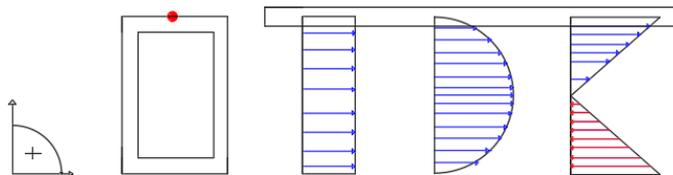


Ilustración 31: Sección más solicitada en perfil rectangular superior

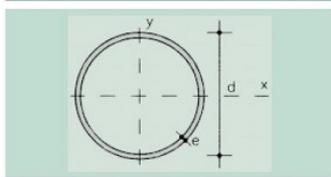
Finalmente, el coeficiente de seguridad obtenido es el siguiente, muy superior al necesario, por lo que el perfil escog

## 6.7.2 Perfiles inferiores

### 6.7.2.1 Perfil circular hueco

Medidas requeridas inicialmente:

- Largo: 581 mm
- Diámetro: 45 mm



u = Perímetro  
A = Área de la sección  
S = Momento estático de media sección, respecto a un eje baricéntrico  
I = Momento de inercia de la sección, respecto a un eje baricéntrico  
W = 2I : d. Módulo resistente de la sección, respecto a un eje baricéntrico  
i =  $\sqrt{I/A}$ . Radio de giro de la sección, respecto a un eje baricéntrico  
I<sub>t</sub> = Módulo de torsión de la sección

Perfil	Dimensiones			Términos de sección						Peso	
	d mm	e mm	u mm	A cm <sup>2</sup>	S cm <sup>3</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	p kp/m	
∅ 40.2	40	2	126	2,39	1,44	4,33	2,16	1,35	8,66	1,88	P
∅ 40.3	40	3	126	3,49	2,05	6,01	3,00	1,31	12,00	2,74	P
∅ 40.4	40	4	126	4,52	2,60	7,42	3,71	1,28	14,80	3,55	C
∅ 45.2	45	2	141	2,70	1,85	6,26	2,78	1,52	12,50	2,12	P
∅ 45.3	45	3	141	3,96	2,65	8,77	3,90	1,49	17,50	3,11	P
∅ 45.4	45	4	141	5,15	3,37	10,90	4,84	1,45	21,80	4,04	C
∅ 50.2	50	2	157	3,02	2,30	8,70	3,48	1,69	17,40	2,37	P
∅ 50.3	50	3	157	4,43	3,31	12,20	4,91	1,66	24,50	3,47	P
∅ 50.4	50	4	157	5,78	4,23	15,40	6,16	1,63	30,80	4,53	P
∅ 55.2	55	2	173	3,33	2,81	11,70	4,25	1,87	23,40	2,61	C
∅ 55.3	55	3	173	4,90	4,06	16,60	6,04	1,84	33,20	3,85	C

Tabla 33: Propiedades perfil circular (Ingemecanica, 2020)

Datos finales del perfil:

- D= 45 mm
- A= 515 mm<sup>2</sup>
- W=4840 mm<sup>3</sup>

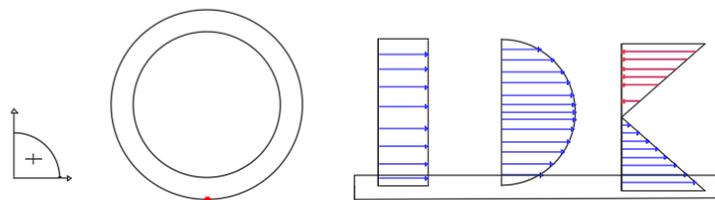


Ilustración 32: Sección más solicitada en perfil circular

$$Cs, f \leq 9,74$$

Coefficiente de seguridad mayor a 3, perfil válido.

### 6.7.2.2 Perfil rectangular hueco

Como se ha comentado con anterioridad, este perfil irá unido al perfil circular dimensionado en el apartado anterior, y las medidas iniciales y finalmente escogidas van a ser las mismas que para el primer perfil rectangular, variando únicamente la longitud que será de 581 mm como en el caso anterior.

Las tensiones generadas y el punto más desfavorable serían los siguientes:

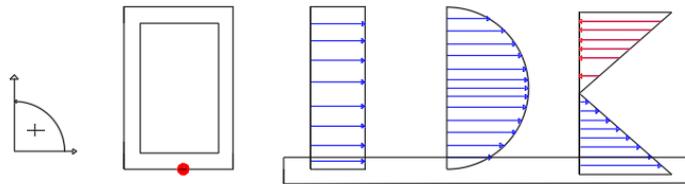


Ilustración 33: Sección más solicitada en perfil rectangular inferior

$$Cs, f \leq 28, 24$$

## 7 ESTUDIO SOLDADURAS

La soldadura es uno de los procesos de ensamblaje de piezas más extendido en la actualidad. Consiste en poner en contacto las superficies a unir estando estas a la temperatura de soldadura.

Presenta las siguientes ventajas frente al resto de uniones:

- Ventajas económicas.
- Se eliminan los tornillos y el proceso de mecanizar el agujero.
- Ensamblado más sencillo.
- Unión ligera en comparación con la unión atornillada. (Canalís martinez Paula, 2017)

A continuación, se va a llevar a cabo el estudio de las principales soldaduras en la estructura, estas se encuentran en los siguientes puntos:

- Soldadura de unión de la orejeta de agarre de los cilindros con sus respectivos perfiles, tanto agarre superior como inferior.
- La soldadura de estos perfiles con las barras que conforman la tijera. Esta soldadura es la misma que se emplea en el soldado de perfil-orejeta, por lo que el estudio de ambas se realizará conjuntamente.

Dentro de la unión por soldadura existen los siguientes tipos:

- Unión soldada a tope.
- Uniones soldadas en ángulo.

En el caso de nuestra estructura, todas las soldaduras son uniones soldadas en ángulo.

## 7.1 Metodología utilizada para dimensionar.

En primer lugar, se debe conocer a qué tipo de esfuerzos están sometidos los cordones de la soldadura.

Ya que los valores de los cordones no son conocidos, pero si lo es el coeficiente de seguridad, escogido en el siguiente apartado, los cálculos se van a realizar de forma inversa. Para el coeficiente de seguridad establecido se obtendrá un  $\sigma_{eq}$  determinado, a partir del cual, realizando una serie de sistemas de ecuaciones se calcularán las siguientes tensiones:

$$C_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_{eq}}$$
$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)}$$

Las tensiones trasladadas a la sección de la garganta:

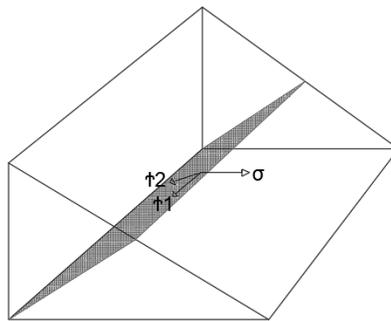


Ilustración 34: Tensiones en la sección de la garganta

$$\tau_1 = \frac{t_1 - n}{\sqrt{2}}$$
$$\sigma = \frac{t_1 + n}{\sqrt{2}}$$

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

$$t_2 = \tau_2 \frac{N}{mm^2}$$

Las tensiones en la sección abatida de la garganta:

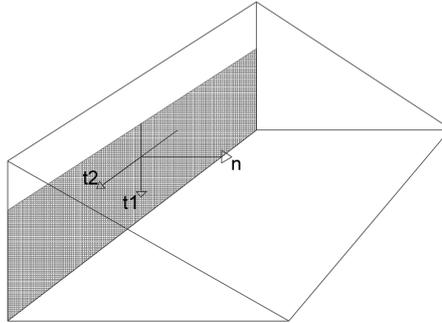


Ilustración 35: Tensiones en la sección abatida de la garganta

$$t_1 = \tau' + \tau'' * \cos\alpha$$

$$t_2 = \tau'' * \cos\alpha$$

$$n = 0$$

Donde

$$\tau' = \frac{P}{A_{total\ soldadura}}$$

$$\tau' = \frac{P \times d}{I_{polar\ total}}$$

Y  $\alpha$  es el ángulo formado por la horizontal donde se encuentra el CG de todos los cordones y el extremo del cordón horizontal.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

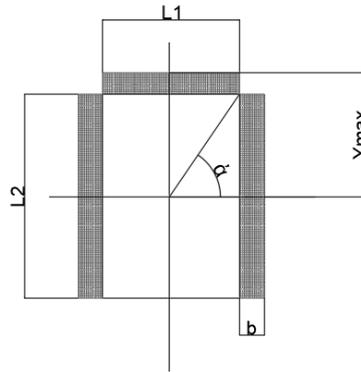


Ilustración 36: Medidas en los cordones de soldadura

Los valores de las dimensiones de los cordones se obtienen a partir del área y de la inercia. Estos valores van a cambiar en función de la posición de los cordones y de las dimensiones de los cordones.

El cálculo de la inercia depende del eje en el que se encuentren situados los cordones. Si los cordones no se encuentran en el mismo eje, se debe aplicar Steiner.

Inercias cordones rectangulares situados en el eje:

$$I_z = \frac{L \times b^3}{12}$$
$$I_o = \frac{b \times h}{12} (b^2 + L^2)$$

Inercias aplicando Steiner:

$$I_z = \frac{L \times b^3}{12} + (b \times L \times d^2)$$
$$I_o = \frac{b \times h}{12} (b^2 + L^2) + (b \times L \times d^2)$$

Las inercias que se utilizan en los cálculos son las inercias totales, por lo que, se calculan por separado agrupando los cordones que se encuentren en los mismos ejes y posteriormente se realiza el sumatorio.

## 7.2 Coeficiente de seguridad en soldaduras

La siguiente tabla muestra los valores mínimos de coeficientes de seguridad para los distintos tipos de soldadura.

Tipo de soldadura, carga	n s
<b>Soldaduras a tope con carga de tracción</b>	1.6 ... 2.2
<b>Soldaduras a tope con carga de plegado</b>	1.5 ... 2.0
<b>Soldaduras a tope con carga de corte</b>	2.0 ... 3.0
<b>Soldaduras a tope con carga</b>	1.4 ... 2.7
<b>Soldaduras de empalme en el plano de unión de la pieza</b>	2.0 ... 3.0
<b>Soldaduras de empalme con carga espacial</b>	1.4 ... 2.7
<b>Soldaduras en tapones y para acanalado</b>	2.0 ... 3.0
<b>Soldaduras en tapones (resistentes) con carga de corte</b>	1.6 ... 2.2
<b>Soldaduras en tapones (resistentes) con carga de desgarramiento</b>	2.5 ... 3.3

Tabla 34: Coeficientes de seguridad dependiendo del tipo de soldadura (Autodesk, 2020)

Escogemos el mayor coeficiente de seguridad de las soldaduras de empalme en el plano de unión, de tal manera que, los coeficientes que se van a calcular posteriormente no podrán ser inferiores a 3.

## 7.3 Cálculo de soldaduras

En ambos perfiles y orejetas, tanto los superiores como los inferiores, encontramos que las soldaduras están sometidas a torsión combinada con cortante, generadas por las fuerzas ejercidas por el cilindro. En los siguientes apartados se recogen los resultados de tensiones y dimensiones obtenidos en las ecuaciones planteadas en el Anexo 12: Ecuaciones soldaduras .

### 7.3.1 Soldaduras perfil superior

<b>Variables</b>	<b>Resultados</b>
<b><math>t_1</math></b>	$64,82 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>A</math></b>	$396,1 mm^2$
<b><math>t_2</math></b>	$0,09941 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>n</math></b>	$\pm 0 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>I_z</math></b>	$908805 mm^4$
<b><math>W_z</math></b>	$17618 mm^3$
<b><math>M_o</math></b>	$1,01 \times 10^5 Nxmm$
<b><math>\tau'</math></b>	$64,77 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>\tau''</math></b>	$0,1111 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>\alpha</math></b>	$63,44^\circ$
<b><math>\tau_1</math></b>	$45,83 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>\sigma</math></b>	$45,83 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>\tau_2</math></b>	$0,09941 Mpa$
<b><math>\sigma_{eq}</math></b>	$91,67 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>b</math></b>	<b><math>1,584 mm</math></b>

Tabla 35:Resultados soldadura perfil superior sometido a torsión

Las medidas finales de los cordones de soldadura van a ser **50 x 1,584 mm**.

### 7.3.2 Soldaduras perfil inferior

Mismo procedimiento que en el caso anterior, ya que las fuerzas y esfuerzos que llegan a los cordones tienen el mismo valor. La única diferencia va a ser los valores del área e inercia ya que cambian las dimensiones del perfil.

<b>Variables</b>	<b>Resultados</b>
<b><math>t_1</math></b>	$64,82 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>A</math></b>	$396,3 mm^2$
<b><math>t_2</math></b>	$0,08289 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>n</math></b>	$\pm 0 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>I_z</math></b>	$861645 mm^4$
<b><math>W_z</math></b>	$33875 mm^3$
<b><math>M_o</math></b>	$1,01 \times 10^5 Nxmm$
<b><math>\tau'</math></b>	$64,74 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>\tau''</math></b>	$0,1172 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>\alpha</math></b>	$45^\circ$
<b><math>\tau_1</math></b>	$45,83 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>\sigma</math></b>	$45,83 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>\tau_2</math></b>	$0,08289 Mpa$
<b><math>\sigma_{eq}</math></b>	$91,67 \frac{N}{mm^2}$
<b><math>b</math></b>	<b>2,936 mm</b>

Tabla 36:Resultados soldadura perfil inferior sometido a torsión

Las medidas finales de los cordones de soldadura van a ser **50 x 2,936 mm**.

Como se puede observar, los cordones de soldadura tendrán un mayor espesor, ya que la superficie del perfil al que van soldados es menor soportando las mismas fuerzas y momentos.

## 8 DISEÑO PLATAFORMA

La plataforma de trabajo va a estar compuesta por los siguientes elementos:

- Dos perfiles en U que servirán de guía para los dados de los apoyos móviles.
- Una plancha de acero que se pedirá a fabricante y se someterá a un plegado posteriormente.

### 8.1 Selección material plancha y perfiles.

Este tipo de tijera simple únicamente puede ser utilizada para elevar materia, no es apta para el traslado de personas, por lo que la máxima carga a elevar va a ser de 14700 N. Se elige un acero S-275 como el utilizado en las barras, cuyas propiedades se encuentran recogidas en el apartado 6.1.1 y son aptas para soportar este tipo de carga.

$$\sigma_f = 275 \text{ MPa}$$

En cuanto al coeficiente de seguridad, se utilizará el mismo que para el resto de la estructura.

### 8.2 Caso más desfavorable en plataforma.

En vez de estudiar los 3 casos en sus posiciones más desfavorables, se selecciona el caso en el cual aparece un mayor momento flector a lo largo de la plataforma. De esta forma se asegura que la plataforma va a soportar los demás esfuerzos. Se trata del caso 1 y cuando la tijera está totalmente cerrada.

- Axil = 0 N
- Cortante =  $4,04 \times 10^3$  N
- Flector =  $2,95 \times 10^6$  N

### 8.3 Selección perfiles en U

Estos perfiles irán soldados a la plancha de acero que actúa como plataforma, sirviendo de guía para los apoyos móviles de las tijeras.

Para escoger un perfil, se va a utilizar el mismo procedimiento usado para las barras, escogiendo un perfil y comprobando si es apto. Todos estos cálculos se encuentran recogidos en el Anexo 11: Cálculos selección perfiles en U. A continuación, se muestran tanto el punto más desfavorable como el perfil seleccionado.

Para conocer el punto más desfavorable de la sección se utilizan los diagramas de esfuerzos del caso más desfavorable para la plataforma como se ha indicado en el caso

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

anterior. Estos diagramas están recogidos en el Anexo 3: Representación de diagramas de esfuerzos

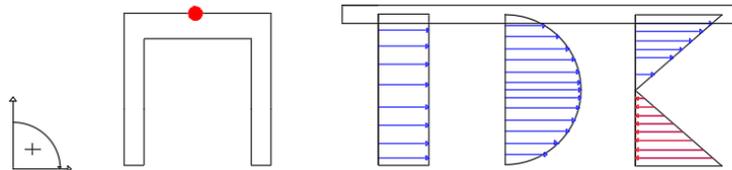
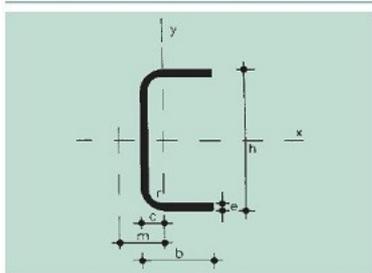


Ilustración 37: Sección más solicitada en los perfiles en U



- u = Perímetro
- c = Posición del eje Y
- m = Distancia al centro de esfuerzos cortantes
- A = Área de la sección
- $I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a x
- $I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a y
- $I_t$  = Momento de torsión de la sección
- $I_a$  = Módulo de alabeo de la sección
- $W_x$  = Módulo resistente, respecto a x
- $W_y$  = Módulo resistente, respecto a y
- $i_x$  = Radio de giro, respecto a x
- $i_y$  = Radio de giro, respecto a y

Perfil	Dimensiones							Términos de sección							Peso p kp/m			
	h mm	b mm	e mm	r mm	u mm	c cm	m cm	A cm <sup>2</sup>	$I_x$ cm <sup>4</sup>	$I_y$ cm <sup>4</sup>	$I_t$ cm <sup>4</sup>	$I_a$ cm <sup>6</sup>	$W_x$ cm <sup>3</sup>	$W_y$ cm <sup>3</sup>		$i_x$ cm	$i_y$ cm	
UF 60.3	60	30	3	3	226	0,890	1,85	3,30	17,5	2,85	0,0991	14,8	5,85	1,35	2,31	0,93	2,59	C
UF 60.4	60	30	4	6	218	0,954	1,85	4,20	21,1	3,51	0,2240	15,8	7,03	1,72	2,24	0,91	3,30	C
UF 80.3	80	40	3	3	306	1,140	2,48	4,50	43,9	7,03	0,1350	69,0	11,00	2,46	3,12	1,25	3,53	P
UF 80.4	80	40	4	6	298	1,200	2,49	5,80	54,3	8,88	0,3100	79,3	13,60	3,17	3,06	1,24	4,55	C
UF 80.5	80	40	5	8	292	1,260	2,48	7,04	63,4	10,50	0,5870	85,7	15,90	3,84	3,00	1,22	5,52	C
UF 100.3	100	50	3	3	386	1,390	3,10	5,70	88,4	14,10	0,1710	223,0	17,70	3,90	3,94	1,57	4,48	P
UF 100.4	100	50	4	6	378	1,450	3,12	7,40	111,0	18,00	0,3950	226,0	22,20	5,07	3,88	1,56	5,81	C
UF 100.5	100	50	5	8	372	1,510	3,12	9,04	132,0	21,60	0,7540	299,0	26,40	6,19	3,82	1,55	7,09	C
UF 120.4	120	60	4	6	458	1,700	3,75	9,00	198,0	31,90	0,4800	702,0	33,10	7,42	4,70	1,88	7,06	P
UF 120.5	120	60	5	8	452	1,750	3,75	11,00	238,0	38,60	0,9210	808,0	39,60	9,08	4,64	1,87	8,66	C
UF 120.6	120	60	6	10	446	1,810	3,75	13,00	273,0	44,80	1,5600	886,0	45,50	10,70	4,58	1,86	10,20	C
UF 140.4	140	70	4	6	538	1,950	4,38	10,60	322,0	51,60	0,5660	1.580,0	46,00	10,20	5,51	2,21	8,32	P
UF 140.5	140	70	5	8	532	2,000	4,38	13,00	388,0	62,70	1,0900	1.850,0	55,50	12,50	5,46	2,19	10,20	C
UF 140.6	140	70	6	10	526	2,060	4,38	15,40	449,0	73,10	1,8500	2.060,0	64,20	14,80	5,40	2,18	12,10	C

Tabla 37: Propiedades de los perfiles en U (Ingemecanica, 2020)

$$Cs, f \leq \frac{275}{89,12}$$

Las dimensiones escogidas son válidas.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

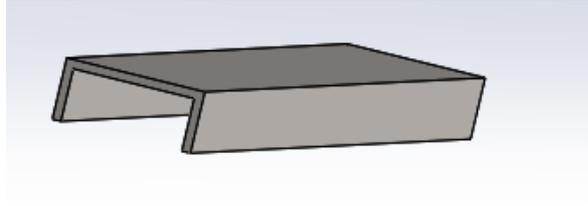


Ilustración 38: Perfil en U en Solid Works

Estos perfiles irán soldados a lo largo del largo de la plancha de acero que actúa como plataforma de trabajo una vez esta haya pasado por el proceso de plegado.

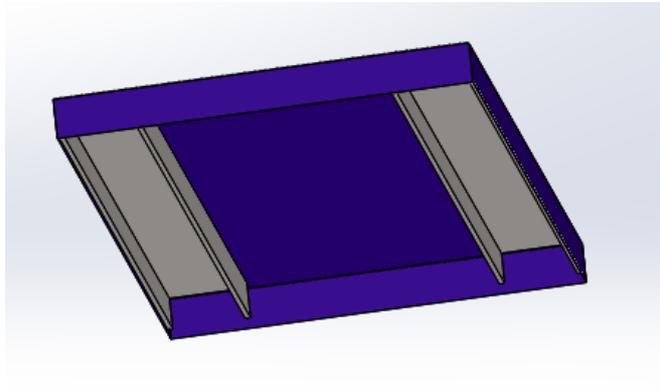


Ilustración 39: Ensamblaje plancha-perfiles en U

## 8.4 Características y dimensiones de la placa inicial

Para el caso de la plataforma, se pide a una empresa la fabricación de una plancha del acero escogido de las medidas que se necesitan, es decir, las especificadas por el catálogo inicial, teniendo en cuenta las medidas del plegado que se va a realizar.

Medidas pedidas a fabricante: **1579 x 879 x 0,5 mm.**

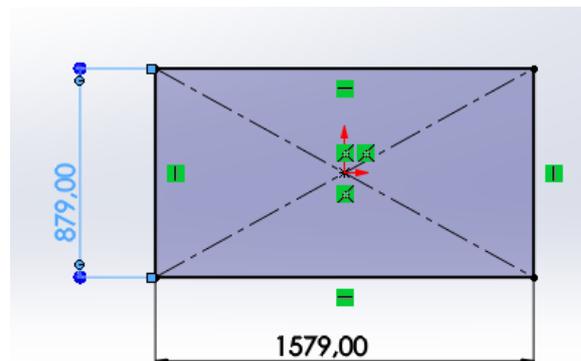


Ilustración 40: Dimensiones iniciales de la plancha de acero

### 8.4.1 Proceso de plegado

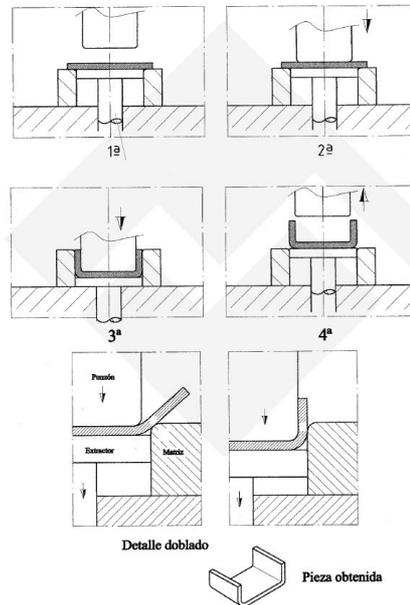


Ilustración 41: Proceso de plegado (Laser mecafort, 2020)

El área de la plancha después del plegado será: **1500 x 800 x 0,5 mm.**

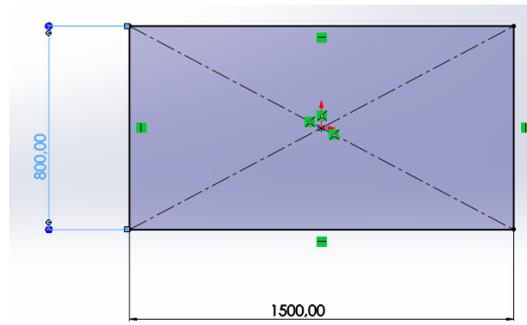


Ilustración 42: Dimensiones de la plancha tras el proceso de plegado

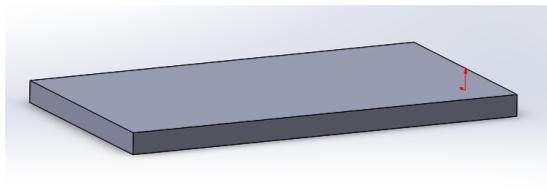


Ilustración 43: Plataforma final

#### 8.4.2 Comprobación de dimensiones plataforma.

La comprobación sobre las medidas de la plataforma se va a calcular mediante las tensiones generadas por el momento flector para el caso más desfavorable, obteniendo un valor de coeficiente de seguridad que debe ser superior a 3. Los cálculos de las tensiones y de las inercias asociadas a las dimensiones de la Ilustración 44 se encuentran también recogidas en el Anexo 13: Cálculos para las comprobaciones de la mesa .

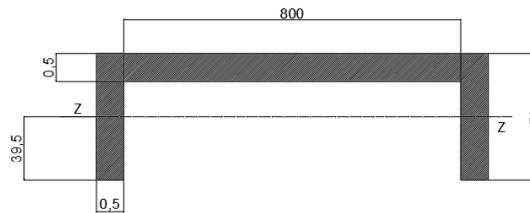


Ilustración 44: Separación de plataforma en rectángulos para cálculo de inercia

$$C_{s, f} = \frac{275}{161} = 1,71$$

$$3 \geq 1,71$$

Las dimensiones de la plataforma no son válidas para un coeficiente de seguridad de 3. Como solución, se plantea un aumento del espesor hasta un 1 mm, solicitando estas nuevas dimensiones directamente al fabricante.

$$C_{s, f} = \frac{275}{80,54} = 3,41$$

$$3,41 \geq 3$$

**Las nuevas dimensiones válidas de la plataforma son las siguientes: 1500 x 800 x 1 mm.**

#### 8.5 Selección dado móvil

Se trata de unas ruedas de material sintético unidas a los dos apoyos móviles de la plataforma. Se desplazan por unas guías, cuyas dimensiones se estudiarán en apartados posteriores, permitiendo así que la tijera se abra y cierre con la fuerza ejercida por el cilindro.

Se elige una rueda con una mínima resistencia a la rodadura y que soporte cargas elevadas. En el catálogo de Blickle aparece una opción de material sintético que presenta las propiedades que necesita la estructura.

**Ruedas de material sintético para carga pesada Blickle - Serie SPO**

Las ruedas de material sintético de la serie SPO están fabricadas con poliamida para carga pesada de fundición inyectada. Tienen una escasa resistencia a la rodadura, presentan una alta resistencia frente a medios agresivos y están libres de mantenimiento en condiciones de uso normales; las ruedas con rodamiento de bolas están lubricadas con grasa de larga duración. Estas ruedas de material sintético se suministran en color blanco natural. Si se emplean como ruedas finales, debe tenerse en cuenta su capacidad de carga en el dimensionamiento del muñón del eje.

- Ø rueda: 75 - 250 mm
- Capacidad de carga: hasta 2000 kg (Blickle, 2020)

Escogemos la rueda con un diámetro de **100 mm**, evitando así interferencias de las barras y las chapas del suelo y de la plataforma.

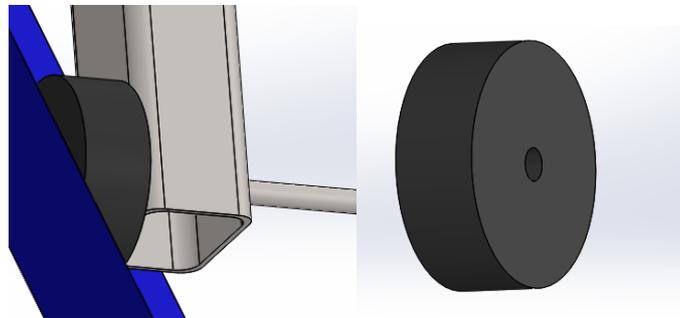


Ilustración 45: Ensamblaje rueda-barra

## 9 RESULTADOS SOLID WORKS

### 9.1 Ensamblaje solid works

Finalmente, se han representado en 3D todos los componentes de la tijera, con las respectivas dimensiones que se han ido obteniendo a lo largo del proyecto, ver desarrollo en Anexo 14: Descripción del proceso en Solid Works .

Al generar el diseño en 3D y para poder obtener unos cálculos óptimos y que la tijera diseñada pueda ser lo más eficiente posible en la vida real, hay que evitar las diversas interferencias y problemas de cálculo que pueden surgir en este proceso. En el caso de este proyecto, se han reforzado y cambiado algunas de las dimensiones que se habían calculado teóricamente, las cuales son las siguientes:

- Se aumenta la altura de las orejetas de los extremos fijos, para evitar interferencias de suelo y barras.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

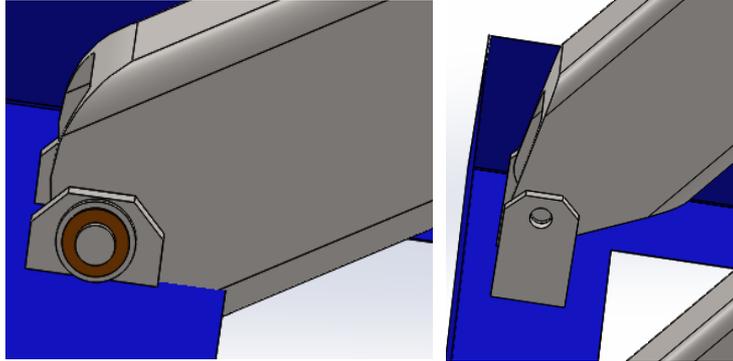


Ilustración 46: Cambio de dimensiones en las orejetas extremos fijos

- Las orejetas de los cilindros se aumentan de altura, de esta manera, se reducen las tensiones generadas en los vástagos del cilindro, que eran extremadamente elevadas.

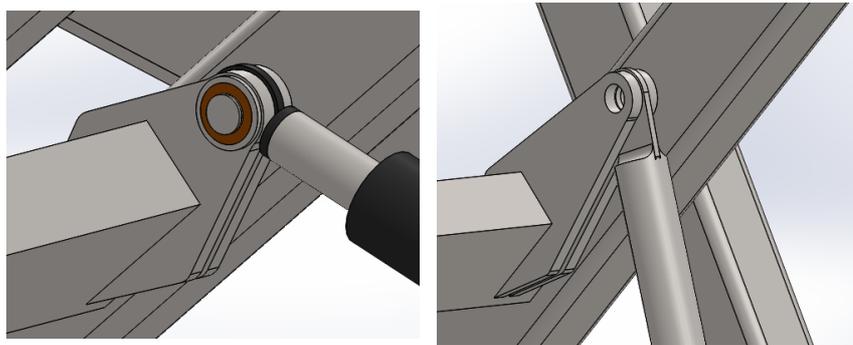


Ilustración 47: Cambios de dimensiones en las orejetas de los cilindros

- En las barras, se crean unos solapes estrechando el ancho de la barra con acabado en pico, de tal manera que, las barras no interfieren con el suelo, evitando al mismo quitar material de las propias barras ya diseñadas.

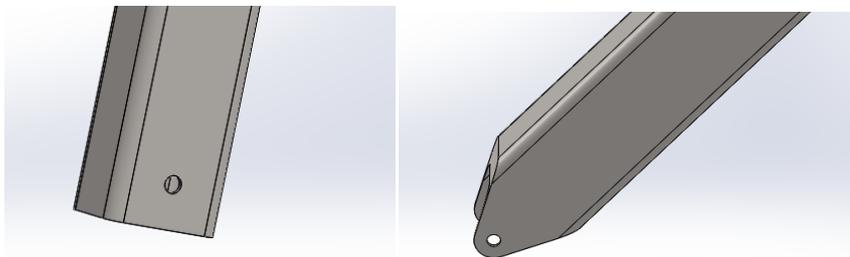


Ilustración 48: Cambios en los extremos de las barras

- Los perfiles en U unidos a la plataforma se aumentan el ancho de 120 a 140 mm, para asegurar el correcto posicionamiento de ambas barras.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

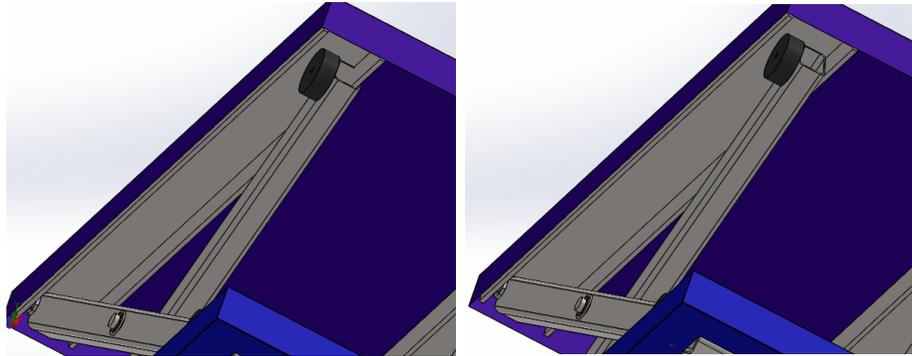


Ilustración 49: Cambio en las dimensiones de los perfiles en U

- Se aumenta la sección de las barras, de 80 a 100 mm, de esta forma se aumenta el área resistente y se obtienen mejores resultados, en cuanto a distribución de tensiones en las barras.

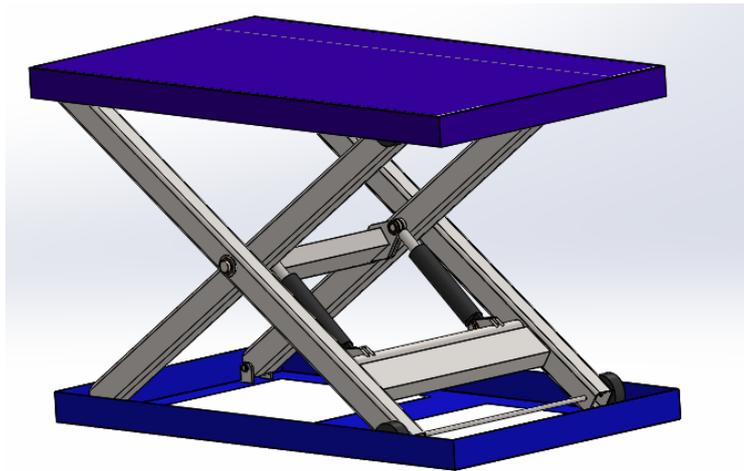


Ilustración 50: Ensamblaje final en Solid Works

Para llevar a cabo los siguientes cálculos, se ha ajustado la escala, tanto para tensiones como coeficientes de seguridad, con la idea de tener una visión más clara de la distribución de tensiones. Por defecto, la escala llega al pico más alto calculado, por lo que puede dar una falsa impresión de que el conjunto está descargado. Como en la parte analítica, se ha establecido, para casi todos los elementos, un coeficiente de seguridad de 3 y un acero 275-N, se ha redondeado el margen de las tensiones a 100 MPa.

## 9.2 Cálculos Solid Works

### 9.2.1 Caso 1

#### 9.2.1.1 Tijera abierta

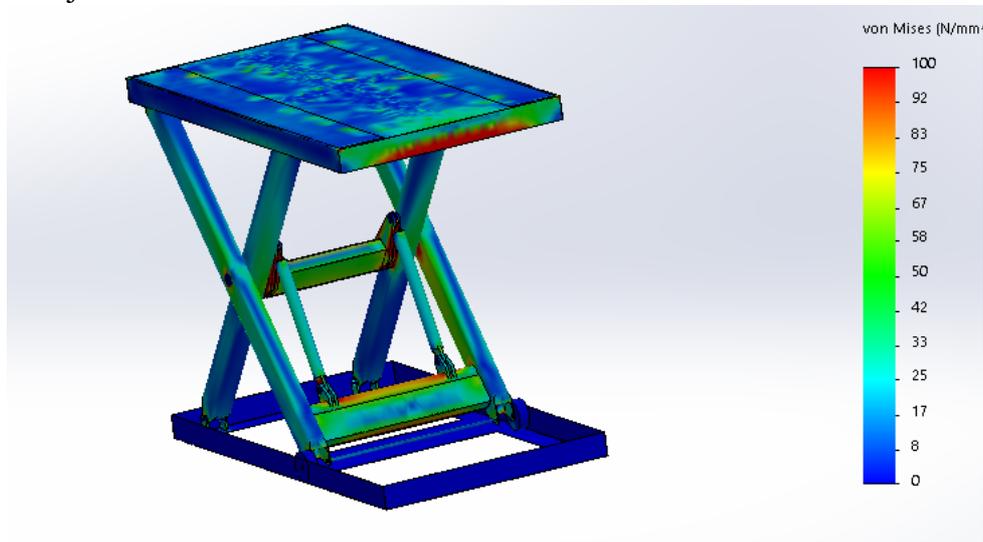


Ilustración 51: Distribución de tensiones, caso 1 tijera abierta

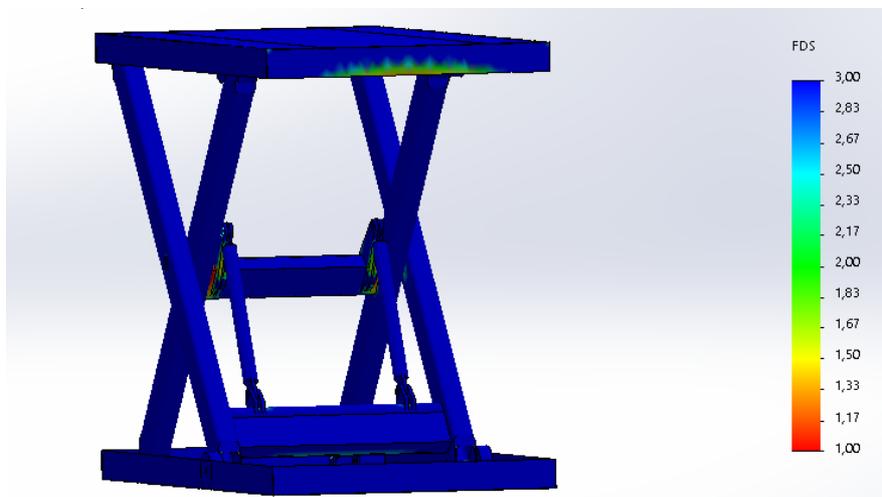


Ilustración 52: Coeficiente de seguridad, caso 1 tijera abierta

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

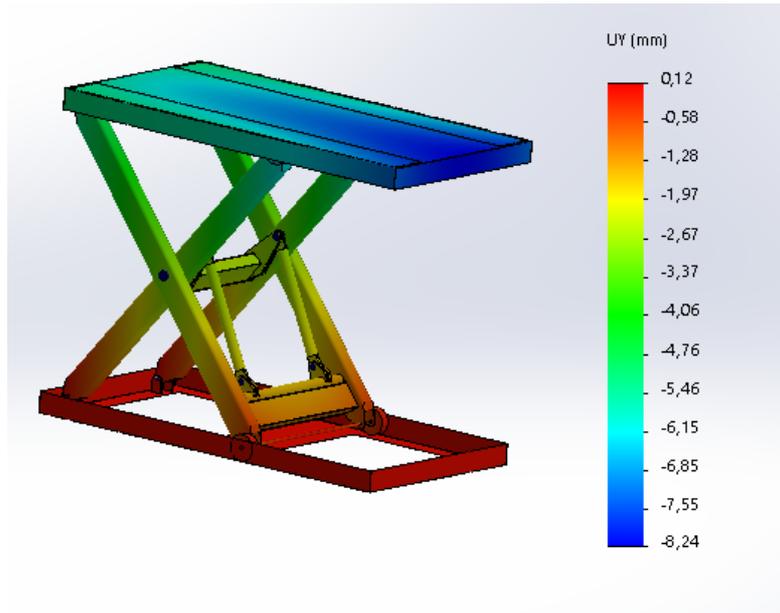


Ilustración 53: Desplazamientos en y, caso 1 tijera abierta.

9.2.1.2 Tijera cerrada

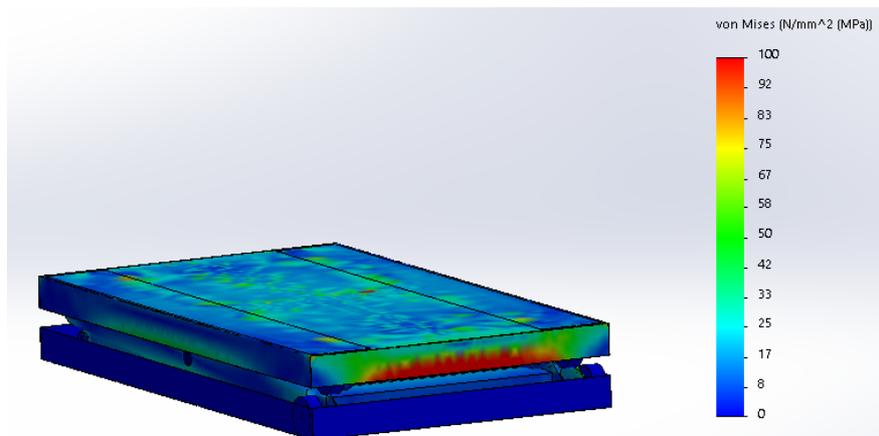


Ilustración 54: Distribución de tensiones, caso 1 tijera cerrada: completa

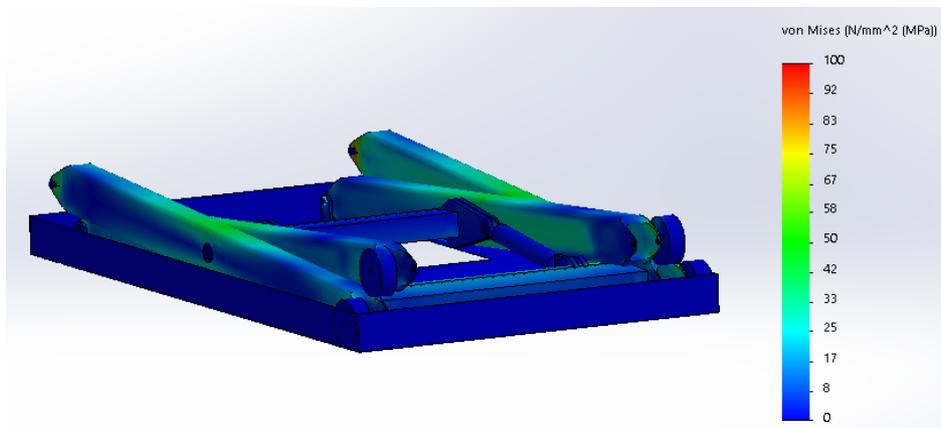


Ilustración 55: Distribución de tensiones, caso 1 tijera cerrada: barras y suelo

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

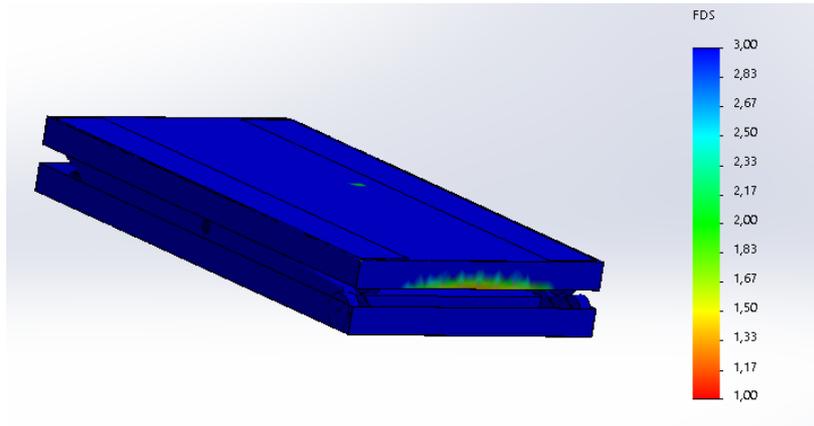


Ilustración 56: Coeficiente de seguridad, caso 1 tijera cerrada: completa

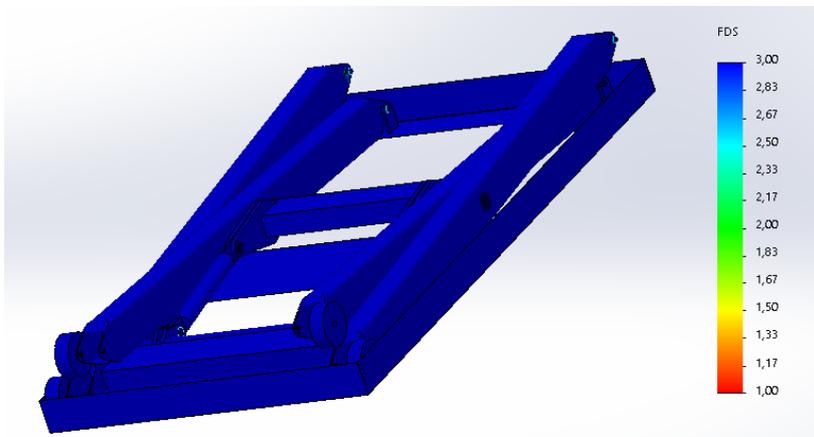


Ilustración 57: Coeficiente de seguridad, caso 1 tijera cerrada: barras y suelo

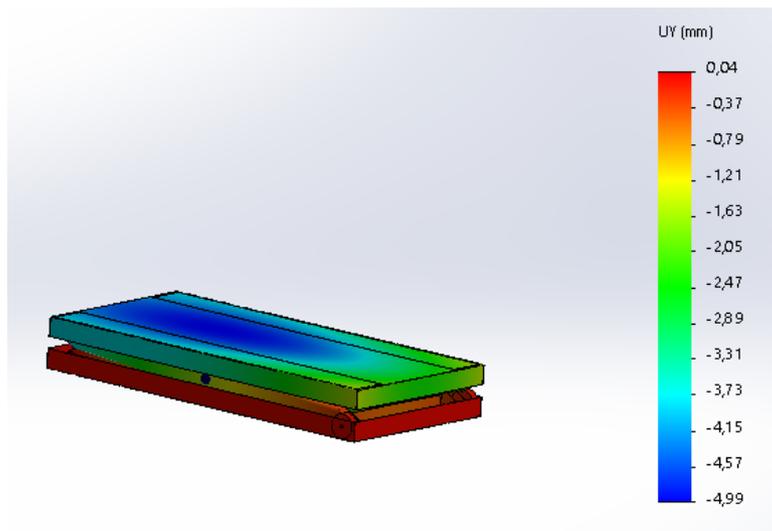


Ilustración 58: Desplazamiento en y, caso 1 tijera cerrada

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

9.2.2 Caso 2

9.2.2.1 Tijera abierta

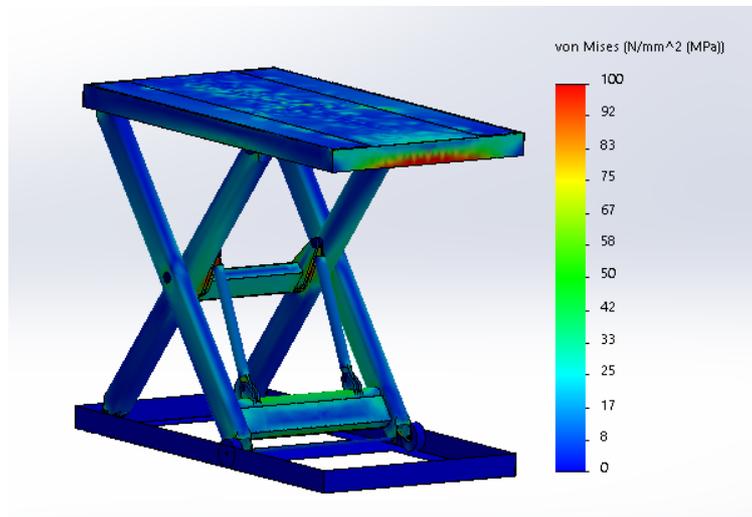


Ilustración 59: Distribución de tensiones, caso 2 tijera abierta

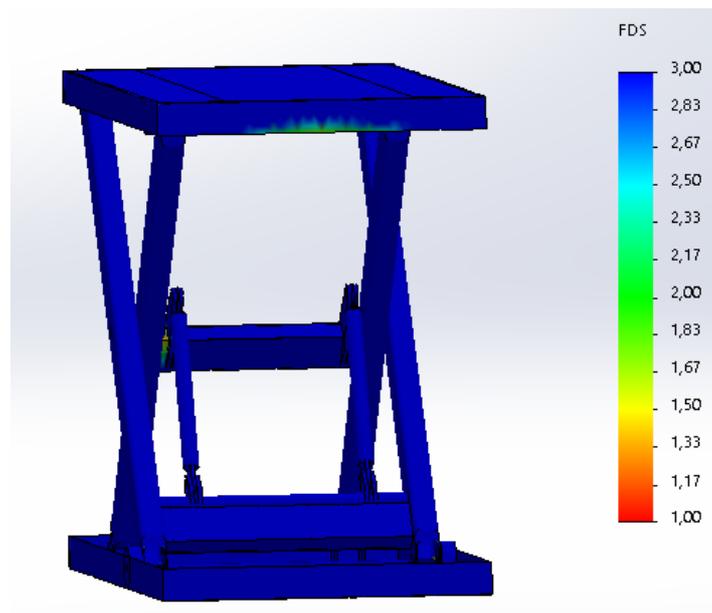


Ilustración 60: Coeficiente de seguridad, caso 2 tijera abierta

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

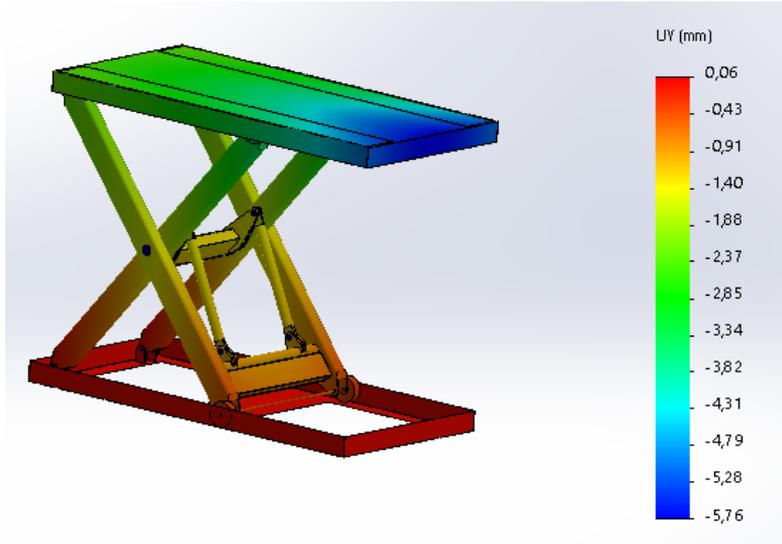


Ilustración 61: Desplazamientos en y, caso 2 tijera abierta

9.2.2.2 Tijera cerrada

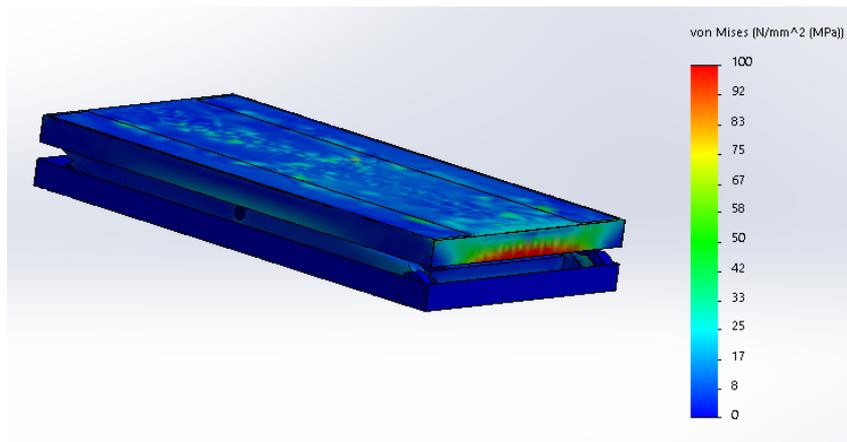


Ilustración 62: Distribución de tensiones, caso 2 tijera cerrada: completa

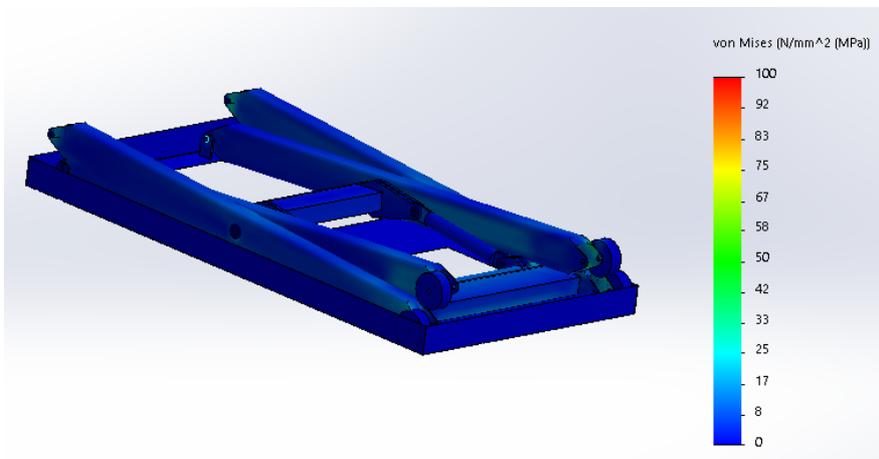


Ilustración 63: Distribución de tensiones, caso 2 tijera cerrada: barras y suelo

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

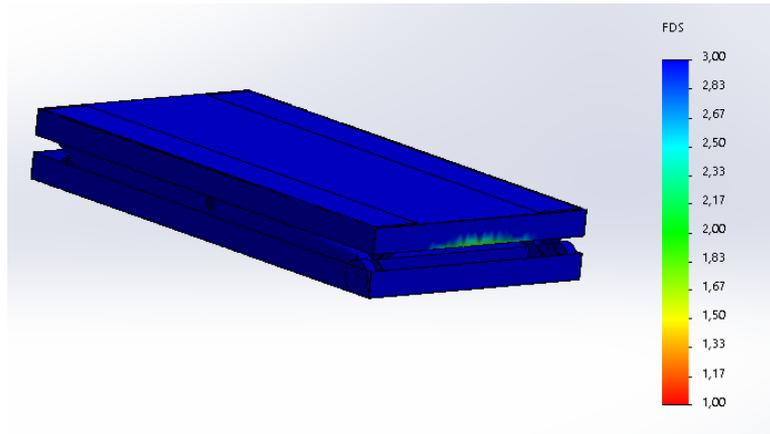


Ilustración 64: Coeficiente de seguridad, caso 2 tijera cerrada: completa

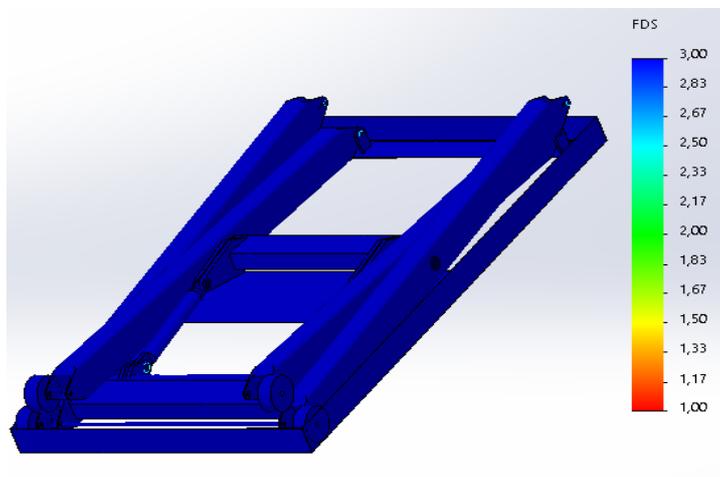


Ilustración 65: Coeficiente de seguridad, caso 2 tijera cerrada: barras y suelo

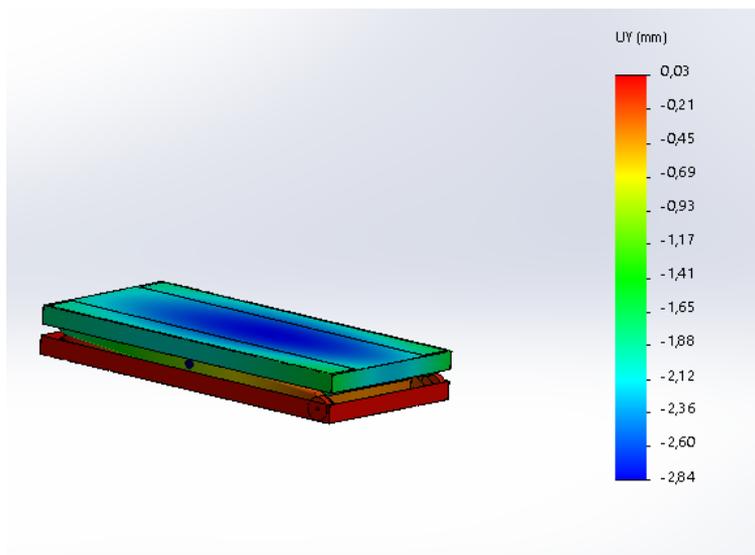


Ilustración 66: Desplazamientos en y, caso 2 tijera cerrada

### 9.2.3 Caso 3

#### 9.2.3.1 Tijera abierta

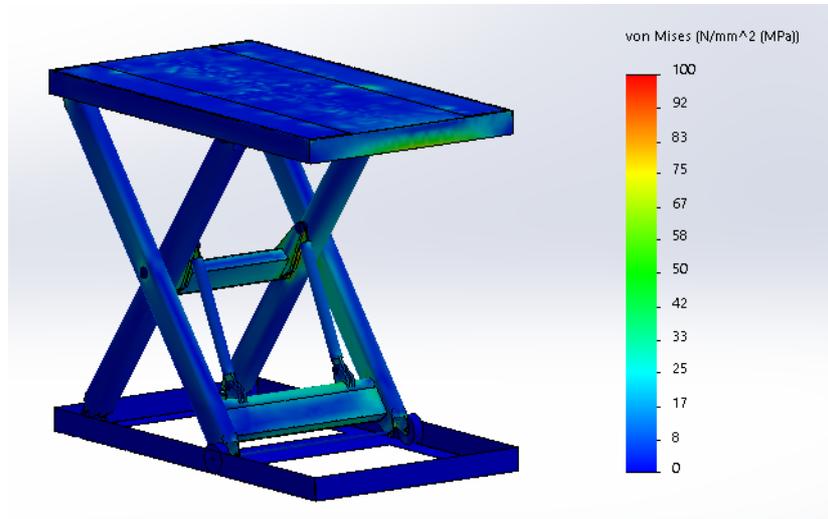


Ilustración 67: Distribución de tensiones, caso 3 tijera abierta

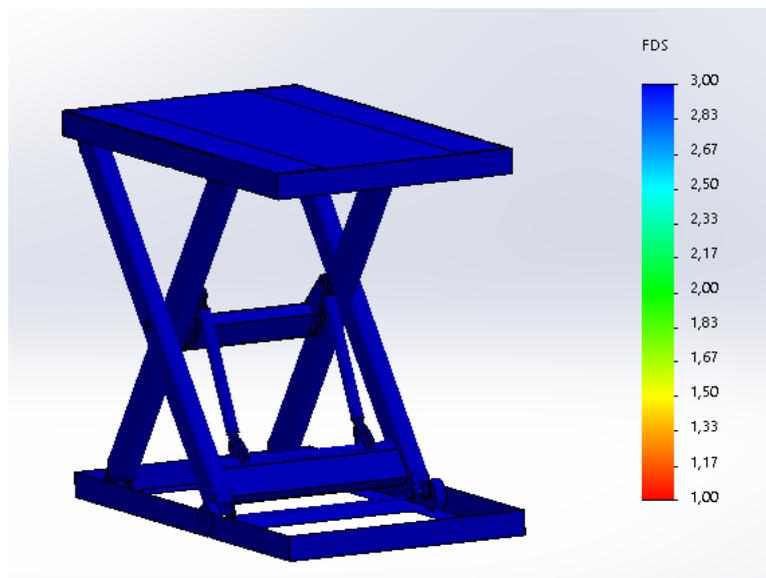
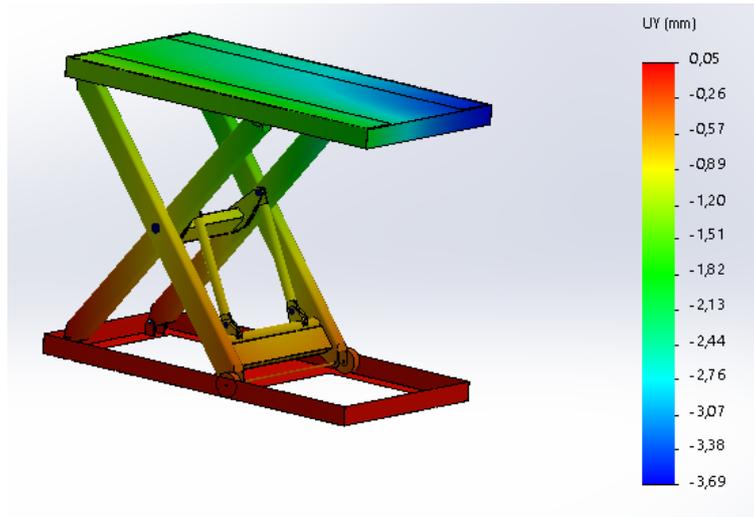


Ilustración 68: Coeficiente de seguridad, caso 3 tijera abierta

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg



9.2.3.2 Tijera cerrada

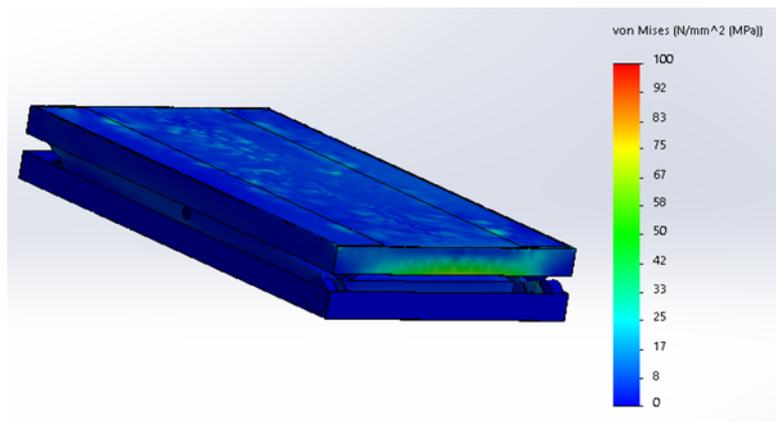


Ilustración 69: Distribución de tensiones, caso 3 tijera cerrada: completa

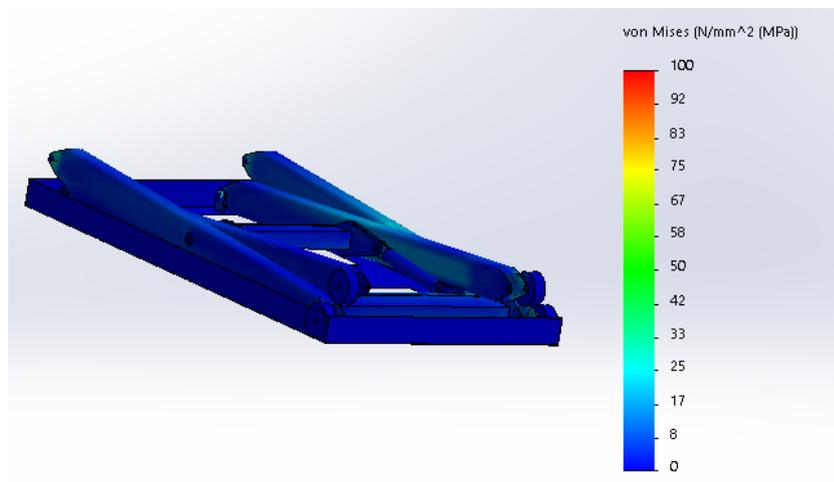


Ilustración 70: Distribución de tensiones, caso 3 tijera cerrada: barras y suelo

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

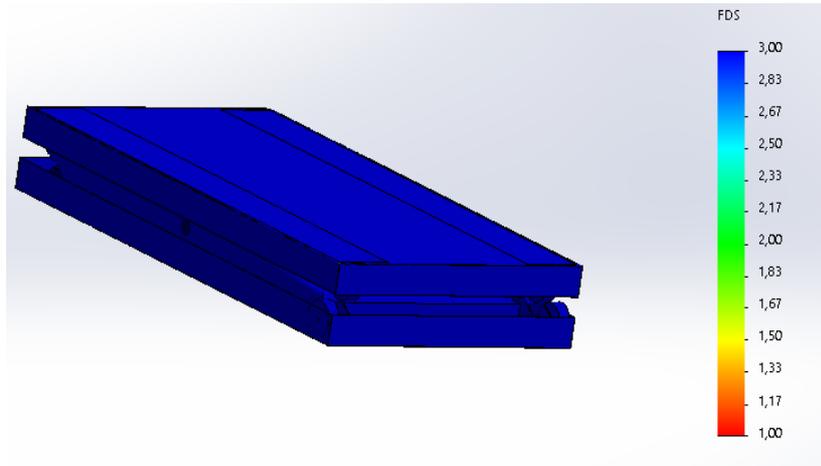


Ilustración 71: Coeficiente de seguridad, caso 3 tijera cerrada: completa

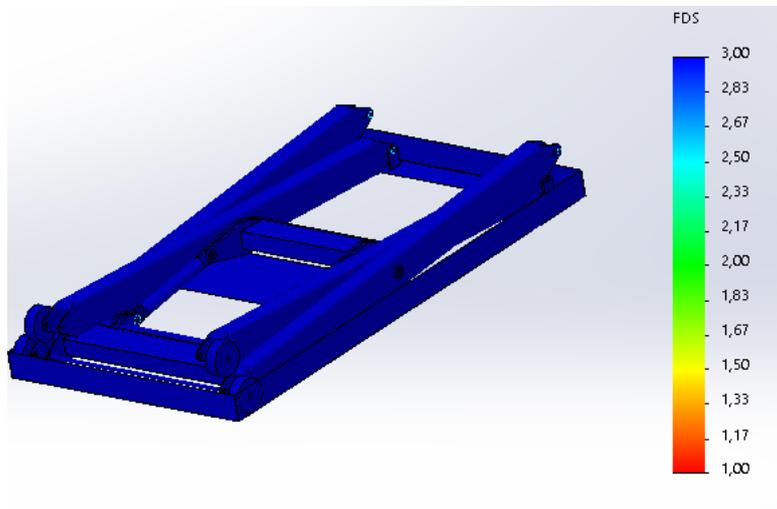


Ilustración 72: Coeficiente de seguridad, caso 3 tijera cerrada: barras y suelo

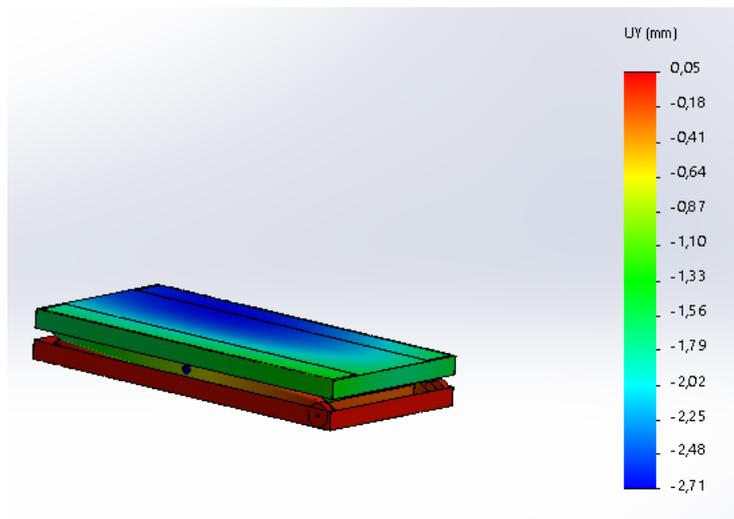


Ilustración 73: Desplazamientos en y, caso 3 tijera cerrada

En las imágenes anteriores se pueden observar los puntos en los que se alcanzan las mayores tensiones y los coeficientes de seguridad más bajos, viendo así los casos reales más desfavorables para la tijera.

Y, en cuanto a los desplazamientos, los valores obtenidos están dentro de unos límites razonables, encontrando un valor máximo de 0,06 mm y siendo la zona más afectada la parte inferior de la tijera, para todos los casos estudiados.

## 10 CONCLUSIONES

La principal función del estudio en Solid Works en este proyecto era la comprobación, y, en caso de ser necesario, la corrección de dimensiones a la hora de generar el modelo 3D de tijera final, con la idea de conseguir una estructura final adecuada para su función.

En cuanto a lo primero, se ha obtenido que el caso 1 es el más desfavorable con diferencia para la plataforma y para las barras, quedando el caso 3 como el más favorable para todas las variables estudiadas. Este resultado no es totalmente coincidente con los resultados analíticos, ya que en estos últimos se ha obtenido, para las barras, el caso 2 como el más desfavorable. Esta variación de resultados puede explicarse de dos formas:

- En primer lugar, al hacer los cálculos de diagramas de sólido libre y de esfuerzos se ha llevado a cabo una simplificación analítica, ver Ilustración 6, de tal manera que, el cilindro va directamente amarrado a la barra, cuando en el modelo real y el generado en 3D va unido a una orejeta y esta a un perfil que se suelda directamente a la barra, Ilustración 74, añadiendo un flector adicional.
- También puede ser debido a que en el modelo de SolidWorks el reparto entre ambas tijeras sea mucho más equilibrado siendo el modelo analítico especialmente conservador.

Además, la variación de valores más concretos en el cálculo puede deberse al cambio de geometría en algunos de los elementos como se ha mencionado anteriormente.

Viendo los resultados obtenidos y como punto final del trabajo, se podría plantear una optimización del diseño tomando algunas medidas como las siguientes:

La parte más dañada y que presenta un mayor cúmulo de tensiones, es la zona del perfil rectangular donde se sueldan las orejetas de los cilindros.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

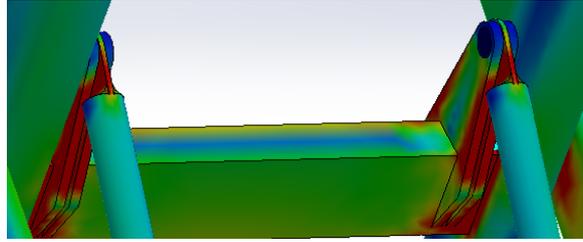


Ilustración 74: Zona perfil rectangular con altas tensiones

De cara a un diseño de la vida real, se puede plantear aumentar el espesor de este perfil o añadir alguna chapa que sirva de refuerzo en esta zona, de esta manera se podrían disminuir las tensiones generadas en esa zona y alrededores.

En cuanto a la zona de agarre inferior, podría plantearse cambiar el perfil circular por uno rectangular, al aumentar el área y módulo resistente, esta zona estaría más relajada y como consecuencia también lo estarían las barras interiores.

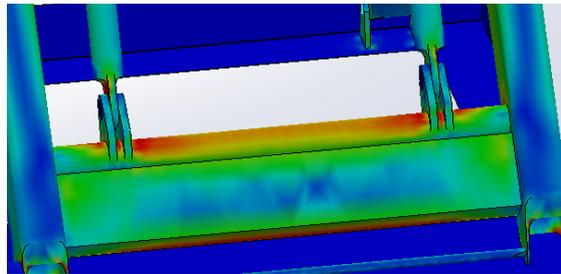


Ilustración 75: Tensiones en perfiles rectangular y circular

Por último, con la idea de disminuir tensiones en la zona de la plataforma, se podría plantear un mayor espesor de esta. Se podría llevar a cabo el mismo procedimiento para la base inferior.

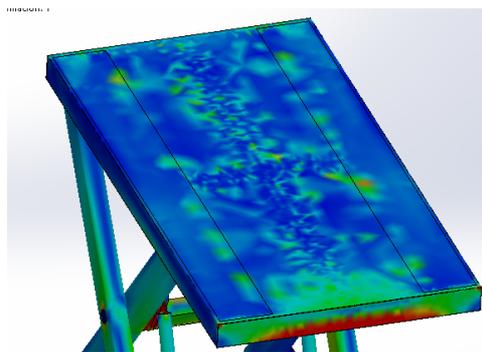


Ilustración 76: Distribución de tensiones en la plataforma

## 11 BIBLIOGRAFÍA

Edmolift (2020). Mesa elevadora de tijera simple. Recuperado de <http://www.edmolift.es/mesas-elevadoras/mesa-elevadora-de-tijera-simple>

Edmolift (2020). Mesa elevadora de tijera simple – CB 1500. Recuperado de [http://www.edmolift.es/mesas-elevadoras/mesa-elevadora-de-tijera-simple/CB\\_1500](http://www.edmolift.es/mesas-elevadoras/mesa-elevadora-de-tijera-simple/CB_1500)

Canalís Martínez Paula, Abad Blasco Javier (2017). *Criterios de diseño de máquinas, grado en ingeniería mecánica*. Zaragoza

Mitma.gob (2020). Propiedades tecnológicas de los materiales y su durabilidad. Recuperado de ([https://www.fomento.gob.es/recursos\\_mfom/06\\_0.pdf](https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/06_0.pdf))

Sumifluid (2018). Materiales y características técnicas de los cilindros hidráulicos. Recuperado de <https://sumifluid.com/2018/07/10/materiales-caracteristicas-tecnicas-los-cilindros-hidraulicos/>

Glual hidráulica (junio de 2009). Catálogo industrial Recuperado de [https://www.glual.com/pdf/catalogos/catalogo\\_industrial.pdf](https://www.glual.com/pdf/catalogos/catalogo_industrial.pdf)

Teorías de falla (21 de abril de 2020). *Wikipedia la enciclopedia libre*. Recuperado el 9 de marzo de 2020 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADas\\_de\\_falla](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADas_de_falla)

Slideplayer (2020). Chapter 10: Tensiones y deformaciones de cilindros. Recuperado de <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fslideplayer.es%2Fslide%2F4040559%2F&psig=AOvVaw0tGXHTjhiOtu9FWFpS95KV&ust=1580566251143000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhxqFwoTCKDwl6WCrucCFQAAAAAdAAAAABAD>

Roydisa (2018). Vástago cromado. Recuperado de <https://www.roydisa.es/archivos/productos/vastago-cromado>

Ferrocortes (2015). Propiedades mecánicas acero ST-52. Recuperado de <https://www.ferrocortes.com.co/wp-content/uploads/2015/02/stb2.jpg>

Graubassas (2020). Acero f1140. Recuperado de <http://www.graubassas.com/aceros/f1140.htm>

Mecasinc (2020). El proceso de plegado al mecanizar. Recuperado de <https://www.mecanizadossinc.com/proceso-plegado-doblado/>

Blickle (2020). Ruedas de material sintético de Blickle. Recuperado de [https://www.blickle.es/es-es/grupos-de-productos/ruedas-sint%C3%A9tico?gclid=Cj0KCQiAs67yBRC7ARIsAF49CdW4LOiDbGLBa0E0jC-VrYrVJrQn6ht-fjP2LhDxFLS-3XtzTN4DWGkaAifJEALw\\_wcB](https://www.blickle.es/es-es/grupos-de-productos/ruedas-sint%C3%A9tico?gclid=Cj0KCQiAs67yBRC7ARIsAF49CdW4LOiDbGLBa0E0jC-VrYrVJrQn6ht-fjP2LhDxFLS-3XtzTN4DWGkaAifJEALw_wcB)

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

Wasi (2020). Catálogo de productos normalizados. Recuperado de [https://www.wasi.de/fileadmin/user\\_upload/Downloadbereich/kataloge/Catalogo\\_normalizado\\_2011.pdf](https://www.wasi.de/fileadmin/user_upload/Downloadbereich/kataloge/Catalogo_normalizado_2011.pdf)

Opac Componentes (2020). Pasadores. Recuperado de <https://www.opac.net/pdf/DIN%207.pdf>

Otia (2005). Catálogo de productos. Recuperado de <http://www.otia.com.ar/otia/CATALOGO%2006-2005.pdf>

Ingemecánica (2020). Prontuario de perfiles mecánicos. Recuperado de <https://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#redondos>

Ingemecánica (2020). Cálculo mecánico de las uniones soldadas. Recuperado de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial46.pdf>

Autodesk (2020). Coeficiente de seguridad de uniones por soldadura con carga estática. Recuperado de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ESP/Inventor/files/GUID-C5A6A27F-8E81-4BD3-B9D9-8EDAE031B3B5-htm.html>

Ipargama (2020). Acero de construcción al carbono. Recuperado de <https://www.ipargama.com/pdf/F-1140.pdf>

Alapont, soluciones logísticas (2020). Plataforma elevadora de tijera: funciones y modelos. Recuperado de <https://alapontlogistics.com/plataforma-elevadora-tijera-funciones-tipos/>

Edmolift (2020). ¿Qué es una mesa elevadora? Recuperado de [http://www.edmolift.es/what\\_is\\_a\\_lift\\_table.aspx](http://www.edmolift.es/what_is_a_lift_table.aspx)

Laser mecafort (2020). Cómo se realiza un plegado de chapa metálica. Recuperado de <https://www.corteporlasermadrid.com/plegado-de-chapa-metalica/>

Ingemecánica (2020). Prontuario de perfiles mecánicos. Recuperado de <https://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#huecorectangular>

Ingemecánica (2020). Prontuario de perfiles mecánicos. Recuperado de <https://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#conforu>

Ingemecánica (2020). Sistemas hidráulicos de transmisión de potencia. Recuperado de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>

# 12 ANEXOS

## 12.1 Anexo 1: Ecuaciones de sólido libre

Se plantean a continuación las ecuaciones utilizadas en el cálculo de los diagramas de sólido libre. Se han resuelto en función de la altura y del ángulo que forma el cilindro con la horizontal, de tal forma que basta con cambiar estos valores para las distintas posiciones.

Lo que si va a cambiar en estas ecuaciones es la forma de distribuir la carga para los tres distintos casos comentados. En los siguientes apartados se van a recoger las ecuaciones para los 3.

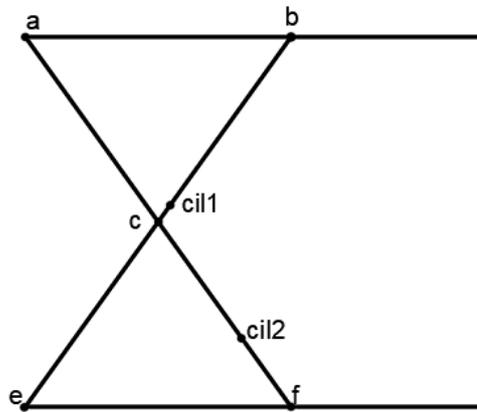


Ilustración 78: Escritura utilizada para cálculos.

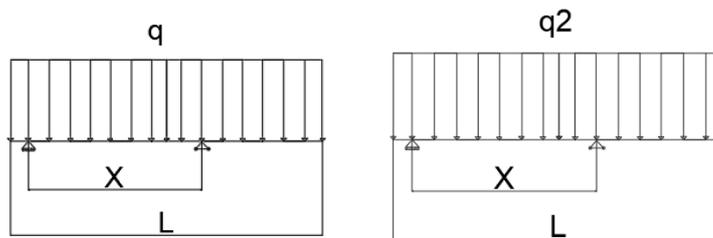


Ilustración 79:DSL plataforma caso 1

Ilustración 77:DSL plataforma caso 3

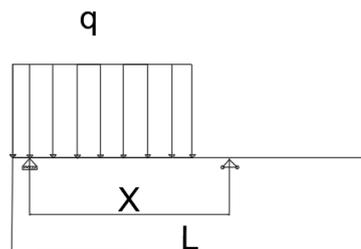


Ilustración 80:DSL plataforma caso 2

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

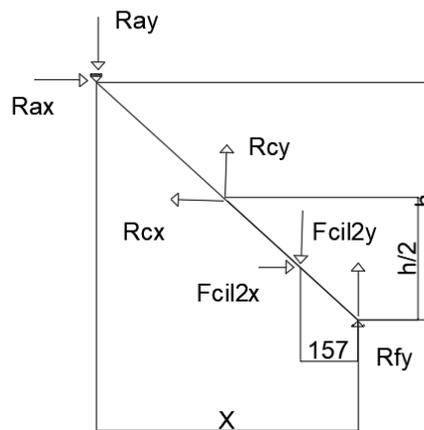


Ilustración 81:DSL barra 1 en función de la altura

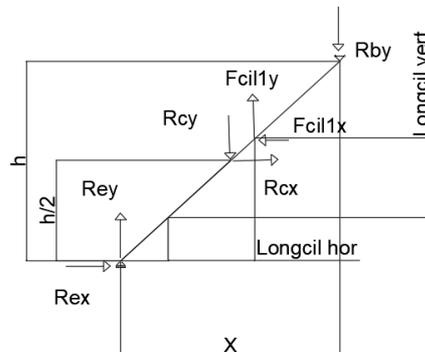


Ilustración 82:DSL barra 2 en función de la altura

### 12.1.1 Ecuaciones caso 1

" EQUILIBRIO EN LA PLATAFORMA "

"  $F_x=0$ ";  $R_{ax}=0$ ;

" $F_y=0$ ";  $R_{by} = (1500/2 * 9,8 * 1,1) + R_{ay}$ ;

" $M_a=0$ ";  $R_{by} * x = (1500/2 * 9,8 * 1,1) * (1500/2)$ ;

"EQUILIBRIO PLATAFORMA ENTERA AISLANDO FUERZAS EXTERNAS"

$R_{by} = R_{ey} + R_{fy} + R_{ay}$ ;

$R_{ex} + R_{ax} = 0$ ;

$(R_{by} * x) = +(R_{fy} * x) + (R_{ex} * h)$ ;

"EQUILIBRIO BARRA 1 "

" $F_x=0$ ";  $0 = F_{cil2x} + R_{cx}$ ;

" $F_y=0$ ";  $+R_{fy} + R_{ay} = +F_{cil2y} + R_{cy}$ ;

$$" Ma=0f"; (Rcx*h/2) +(Rcy*x/2) +(Fcil2y*(686,52)) +(Fcil2x*984,8)=+(Rfy*x);$$

"EQUILIBRIO BARRA 2"

$$" Fx=0"; Rex=Fcil1x+Rcx;$$

$$"Fy=0"; Fcil1y+Rcy+Rey= Rby;$$

$$beta=arcsin (Longcilrect/Longcilrect);$$

$$Fcil1x=Fcil*cos(beta);$$

$$Fcil1y=Fcil*sin(beta);$$

### 12.1.2 Ecuaciones caso 2

$$Longbarra=sqrt(h^2+x^2);$$

$$Longcilrect=435,56;$$

$$Longcilvert=490,64;$$

" EQUILIBRIO EN LA PLATAFORMA "

$$" Fx=0"; Rax=0;$$

$$"Fy=0"; Rby= 1500/4*9,8*1,1+Ray;$$

$$"Ma=0"; Rby*x= (1500/4*9,8*1,1) *(1500/4);$$

"EQUILIBRIO PLATAFORMA ENTERA AISLANDO FUERZAS EXTERNAS"

$$Rby=Rey+Rfy+Ray;$$

$$Rex+Rax=0;$$

$$(Rby*x) =+(Rfy*x) +(Rex*h);$$

"EQUILIBRIO BARRA 1 "

$$"Fx=0"; 0=Fcil2x+Rcx;$$

$$"Fy=0"; +Rfy+Ray=+Fcil2y+Rcy;$$

$$" Ma=0f"; (Rcx*h/2) +(Rcy*x/2) +(Fcil2y*(x-157)) +(Fcil2x*984,78) =+(Rfy*x);$$

"EQUILIBRIO BARRA 2"

$$" Fx=0"; Rex=Fcil1x+Rcx;$$

$$"Fy=0"; Fcil1y+Rcy+Rey= Rby;$$

$$beta=arcsin (Longcilrect/Longcilvert);$$

$$\text{Longcilh}=\cos(\beta)*\text{Longcilvert};$$

$$\text{Fcil1x}=\text{Fcil}*\cos(\beta);$$

$$\text{Fcil1y}=\text{Fcil}*\sin(\beta);$$

### 12.1.3 Ecuaciones caso 3

$$\text{Longbarra}=\sqrt{h^2+x^2};$$

$$\text{Longcilrect}=435,56;$$

$$\text{Longcilvert}=490,64;$$

"EN PRIMER LUGAR VEMOS CUAL DE LAS TIJERAS VA A SER MÁS DESFAVORABLE AL DISTRIBUIR 1/3 DE LA CARGA A LO ANCHO"

$$"F_y=0"; R_{1y}+R_{2y}=(1500*1/3*1,1*9,8);$$

$$"M_1=0"; R_{2y}*800=1500*1/3*1,1*9,8*600;$$

" EQUILIBRIO EN LA PLATAFORMA "

$$"F_x=0"; R_{ax}=0;$$

$$R_{ay}=-R_{2y}/2;$$

$$R_{by}=R_{2y}/2;$$

"EQUILIBRIO PLATAFORMA ENTERA AISLANDO FUERZAS EXTERNAS"

$$R_{by}=R_{ey}+R_{fy}+R_{ay};$$

$$R_{ex}+R_{ax}=0;$$

$$(R_{by}*x)=+(R_{fy}*x)+(R_{ex}*h)$$

"EQUILIBRIO BARRA 1 "

$$"F_x=0"; 0=\text{Fcil2x}+R_{cx};$$

$$"F_y=0"; +R_{fy}+R_{ay}=\text{Fcil2y}+R_{cy};$$

$$"M_a=0f"; (R_{cx}*h/2)+(R_{cy}*x/2)+(\text{Fcil2y}*(x-157))+(\text{Fcil2x}*984,78)=+(R_{fy}*x)$$

"EQUILIBRIO BARRA 2"

$$"F_x=0"; R_{ex}=\text{Fcil1x}+R_{cx};$$

$$"F_y=0"; \text{Fcil1y}+R_{cy}+R_{ey}=R_{by};$$

$$"(\text{Fcilx}*(543,6))+(\text{Fcily}*(347,5))+(\text{Rex}*h)=(\text{Rey}*x)+(\text{Rcx}*h/2)+(\text{Rcy}*x/2);$$

$$\beta=\arcsin(\text{Longcilrect}/\text{Longcilvert});$$

$$\text{Longcilh}=\cos(\beta)*\text{Longcilvert};$$

$$F_{cil1x} = F_{cil} \cdot \cos(\beta);$$

$$F_{cil1y} = F_{cil} \cdot \sin(\beta);$$

## 12.2 Anexo 2: Dibujos a distintas alturas

En los datos recogidos en el catálogo no aparecen los puntos de agarre del cilindro. Con el objetivo de llevar a cabo los diagramas de sólido libre, se van a calcular estos puntos para las distintas alturas a estudiar. Estos puntos se pueden calcular puesto que se trata de puntos fijos y tanto la distancia del punto de agarre del cilindro inferior como el ángulo que forma el cilindro con la barra 1 ( $7^\circ$ ) va a ser constante para todas las alturas, pudiendo obtener así el resto de medidas.

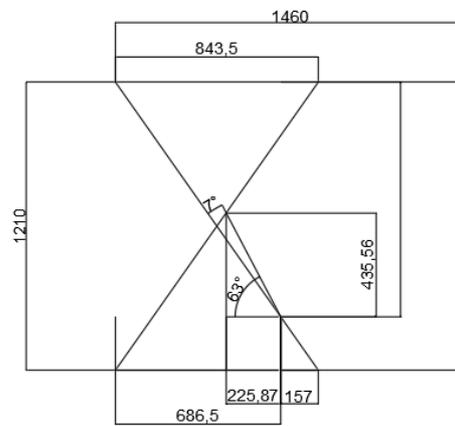


Ilustración 83: Medidas tijera para  $h=1210$  mm

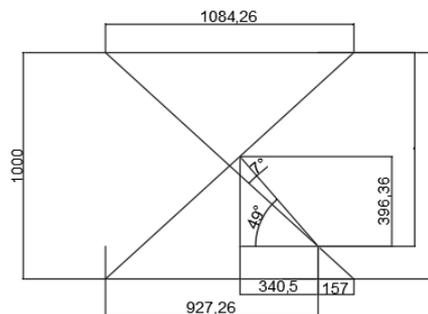


Ilustración 84: Medidas de la tijera para  $h=1000$  mm

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

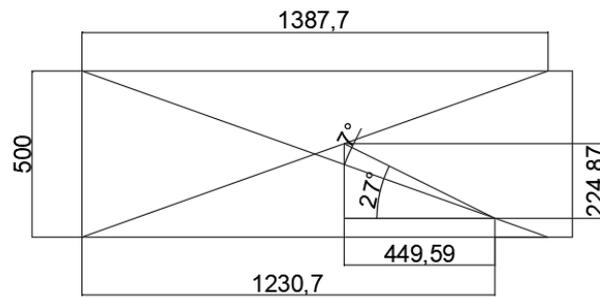


Ilustración 85: Medidas de la tijera para  $h=500$  mm

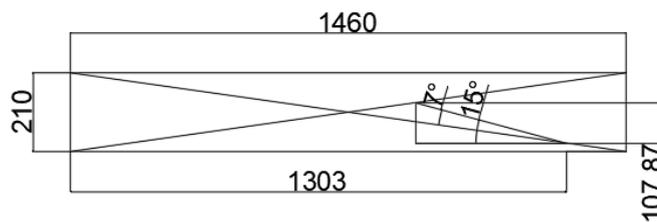


Ilustración 86: Medidas de la tijera para  $h=500$  mm

## 12.3 Anexo 3: Representación de diagramas de esfuerzos

### 12.3.1 Diagramas de esfuerzos Caso 1

#### 12.3.1.1 Tijera abierta

##### 12.3.1.1.1 Plataforma

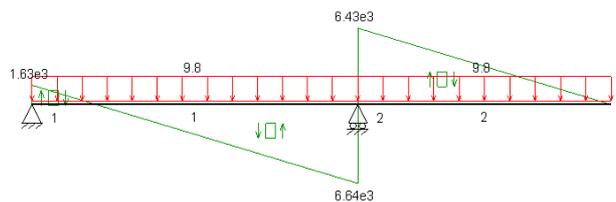


Ilustración 87: Diagrama de esfuerzo cortante

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

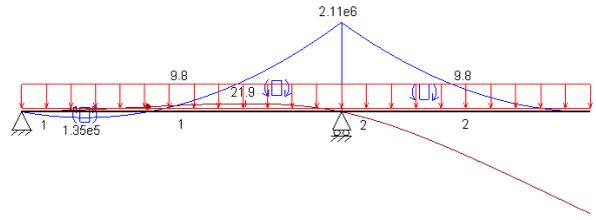


Ilustración 88: Diagrama momento flector

12.3.1.1.2 Barra 1

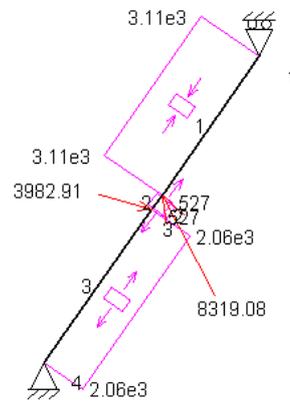


Ilustración 89: Diagrama esfuerzos axiales

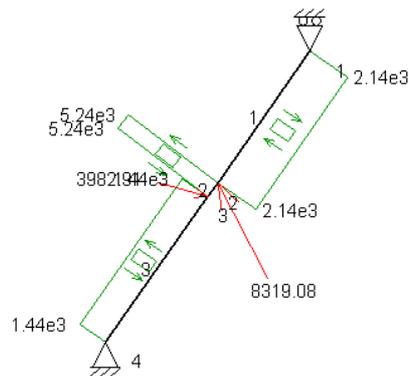


Ilustración 90: Diagrama de esfuerzos cortantes

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

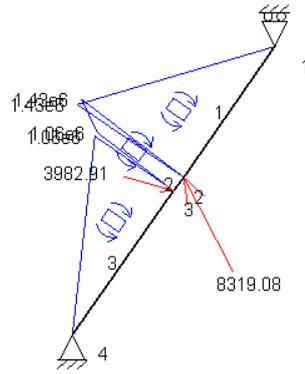


Ilustración 91: Diagrama de momento flector

12.3.1.1.3 Barra 2

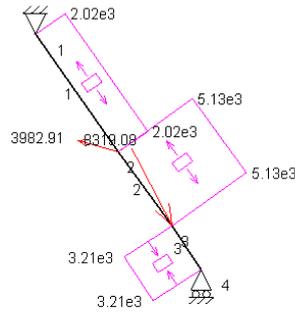


Ilustración 92: Diagrama de esfuerzos axiales

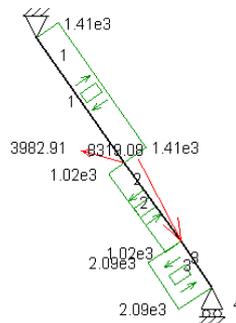


Ilustración 93: Diagrama de esfuerzos cortantes

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

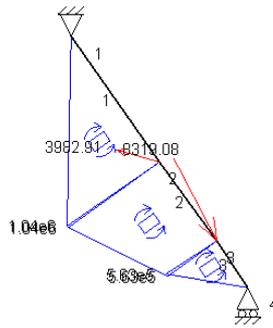


Ilustración 94: Diagrama momento flector

12.3.1.2 Tijera cerrada

12.3.1.2.1 Plataforma

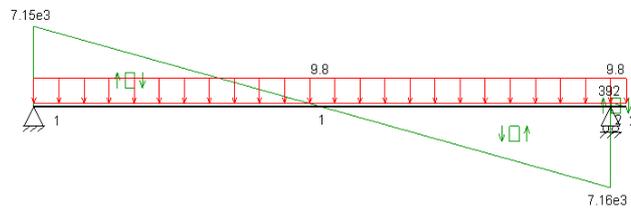


Ilustración 95: Diagrama de esfuerzos cortantes

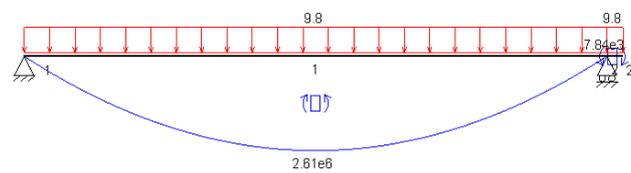


Ilustración 96: Diagrama de momento flector

12.3.1.2.2 Barra 1

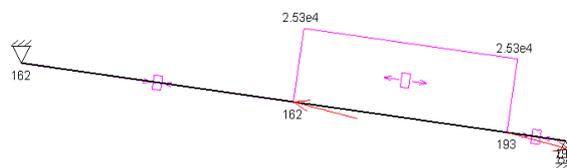


Ilustración 97: Diagrama de esfuerzos axiales

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

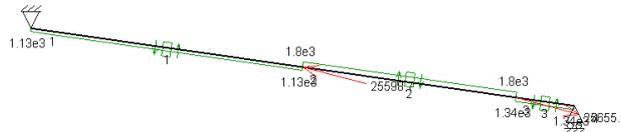


Ilustración 98: Diagrama de esfuerzos cortantes

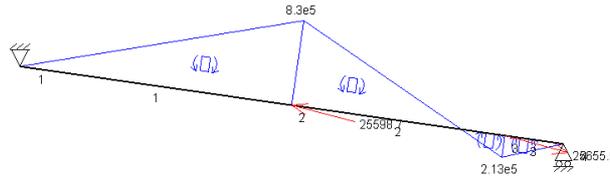


Ilustración 99: Diagrama de momentos flectores

12.3.1.2.3 Barra 2

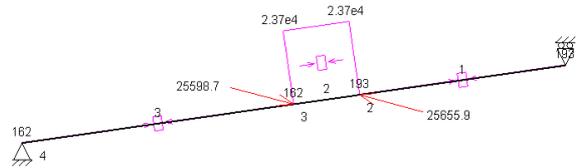


Ilustración 100: Diagrama de esfuerzos axiales

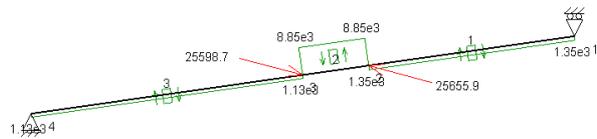


Ilustración 101: Diagrama de esfuerzos cortantes

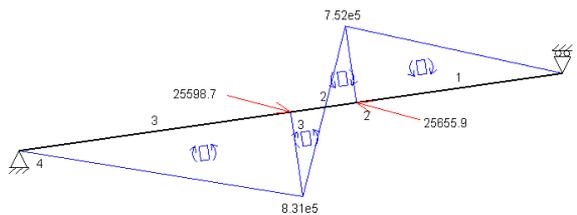


Ilustración 102: Diagrama de momento flector

### 12.3.2 Diagramas de esfuerzos Caso 2

#### 12.3.2.1 Tijera abierta

##### 12.3.2.1.1 Plataforma

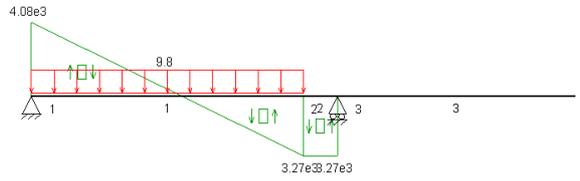


Ilustración 103: Diagrama de esfuerzos cortantes

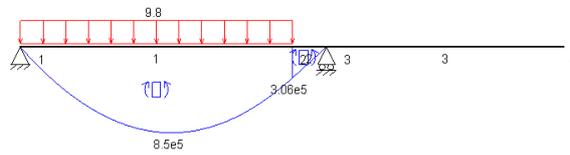


Ilustración 104: Diagrama de momento flector

##### 12.3.2.1.2 Barra 1

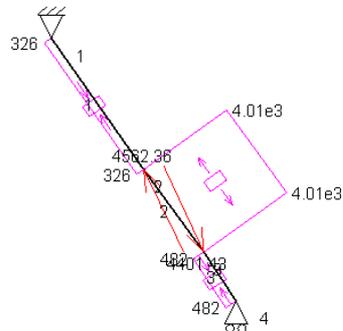


Ilustración 105: Diagrama esfuerzos axiales

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

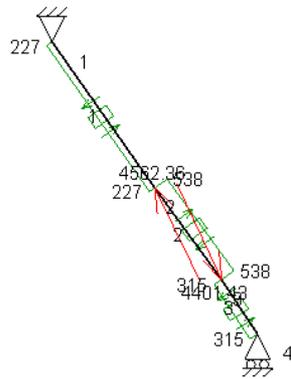


Ilustración 106: Diagrama esfuerzos cortantes

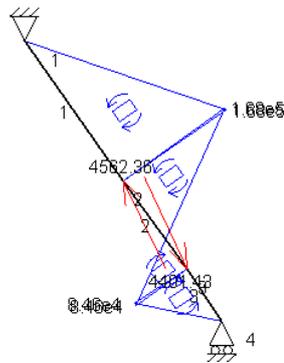


Ilustración 107: Diagrama de momento flector

12.3.2.1.3 Barra 2

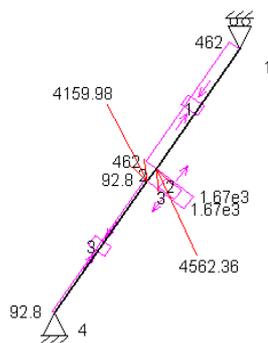


Ilustración 108: Diagrama esfuerzos axiales

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

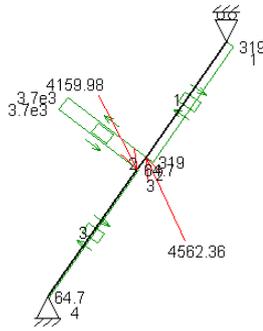


Ilustración 109: Diagrama de esfuerzos cortantes

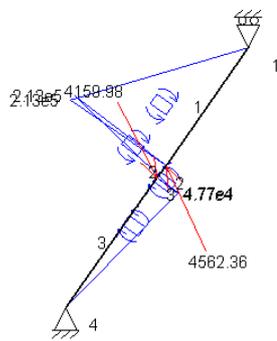


Ilustración 110: Diagrama de momento flector

12.3.2.2 Tijera cerrada

12.3.2.2.1 Plataforma

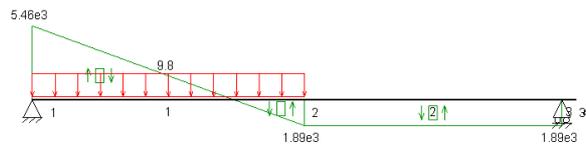


Ilustración 111: Diagrama de esfuerzos cortantes

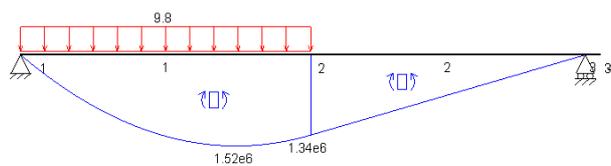


Ilustración 112: Diagrama de momento flector

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

12.3.2.2.2 Barra 1

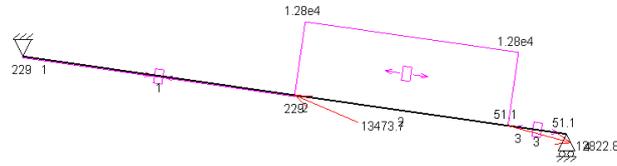


Ilustración 113: Diagrama de esfuerzos axiales



Ilustración 114: Diagrama de esfuerzos cortantes

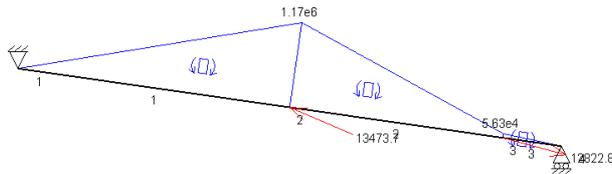


Ilustración 115: Diagrama de momento flector

12.3.2.2.3 Barra 2

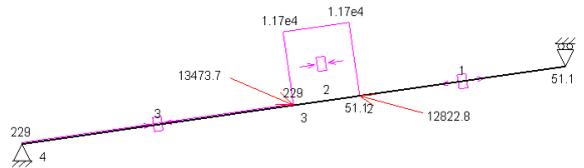


Ilustración 116: Diagrama de esfuerzos axiales

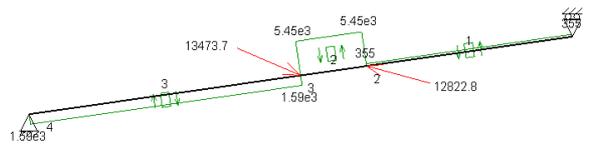


Ilustración 117: Diagrama de esfuerzos cortantes

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

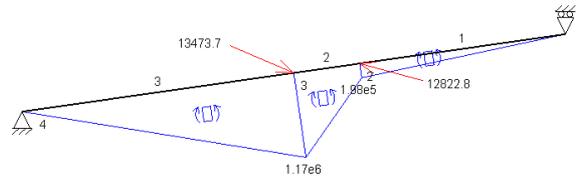


Ilustración 118: Diagrama de momento flector

### 12.3.3 Diagramas de esfuerzos Caso 3

#### 12.3.3.1 Tijera abierta

##### 12.3.3.1.1 Plataforma

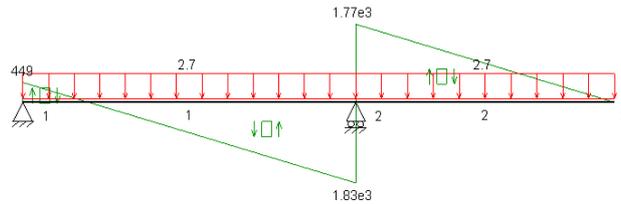


Ilustración 119: Diagrama de esfuerzos cortantes

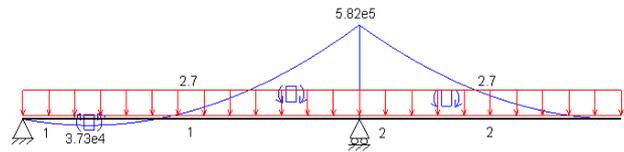


Ilustración 120: Diagrama de momento flector

##### 12.3.3.1.2 Barra 1

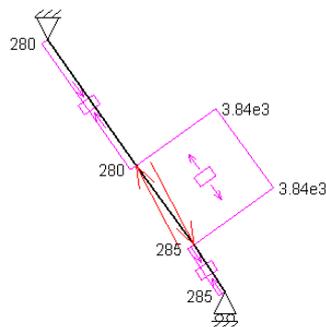


Ilustración 121: Diagrama de esfuerzos axiales

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

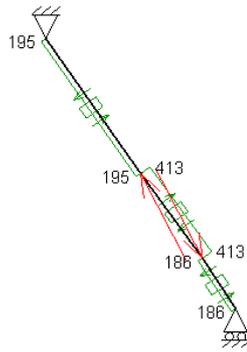


Ilustración 122: Diagrama de esfuerzos cortantes

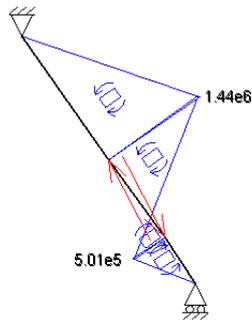


Ilustración 123: Diagrama de momento flector

12.3.3.2 Barra 2

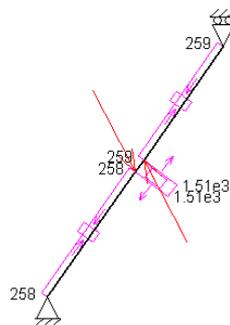


Ilustración 124: Diagrama de esfuerzos axiales

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

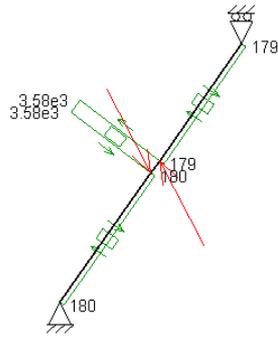


Ilustración 125: Diagrama de esfuerzos cortantes

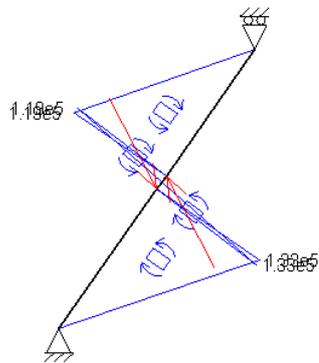


Ilustración 126: Diagrama de momento flector

12.3.3.3 Tijera cerrada

12.3.3.4 Plataforma

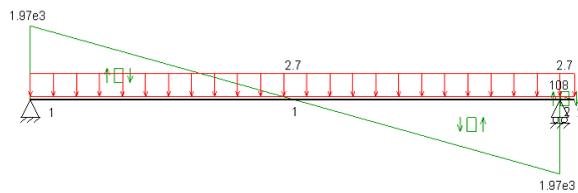


Ilustración 127: Diagrama de esfuerzos cortantes

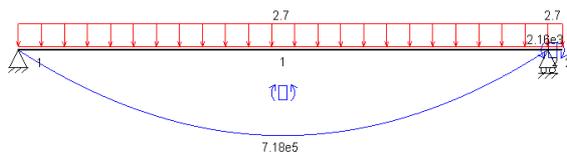


Ilustración 128: Diagrama de momento flector

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

12.3.3.4.1 Barra 1

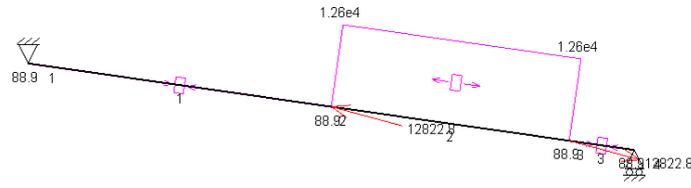


Ilustración 129: Diagrama de esfuerzos axiales



Ilustración 130: Diagrama de esfuerzos cortantes

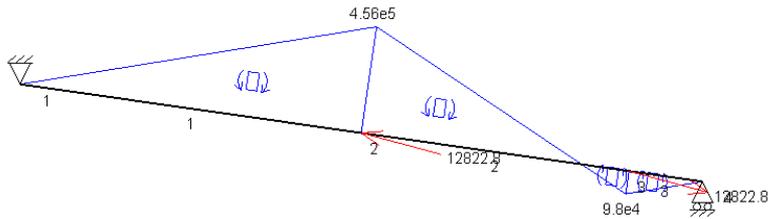


Ilustración 131: Diagrama de momento flector

12.3.3.4.2 Barra 2

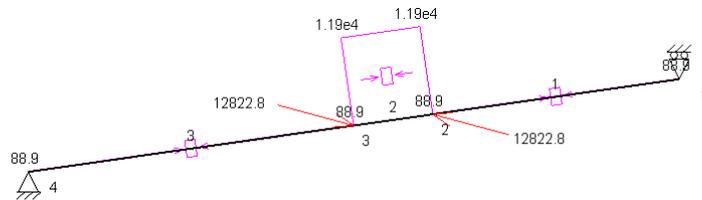


Ilustración 132: Diagrama de esfuerzos axiales

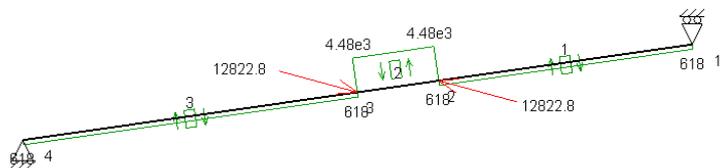


Ilustración 133: Diagrama de esfuerzos cortantes

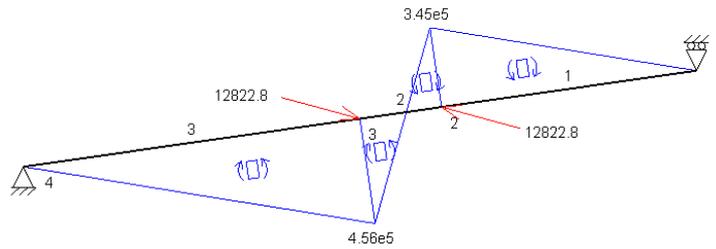


Ilustración 134: Diagrama de momento flector

## 12.4 Anexo 4: Cálculos en la selección del perfil de las barras

Para el punto más desfavorable de la sección, se va a calcular la tensión de Von Mises.

$$\sigma_{vM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_Y$$

Ilustración 135: Fórmula tensión equivalente Von mises (Wikipedia, la enciclopedia libre, 2020)

donde  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  son las tensiones principales en el punto escogido y  $\sigma_Y$  es la tensión de fluencia del material.

Solo hay una componente en X por lo que, en nuestro caso, la tensión equivalente será igual a la tensión de trabajo en x.

$$\sigma_{equ} = \sigma_x$$

Conocido el coeficiente de seguridad y la tensión de fluencia establecida por el material escogido anteriormente, obtenemos se llega a conocer  $\sigma_{equivalente}$ .

$$C_{s,f} = \frac{\sigma_f}{\sigma_{equ}}$$

$$3 = \frac{275}{\sigma_{equ}}$$

$$\sigma_x = \frac{Nx}{A} + \frac{Mz}{Wz} \leq \frac{\sigma_f}{C_{s,f}}$$

El axil es extremadamente pequeño en comparación con el flector por lo que se desprecia, obteniendo la siguiente ecuación, de la cual se obtiene el módulo resistente.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

$$91,6 \geq \frac{Mz}{Wz}$$

$$Wz \geq 12772,93 \text{ mm}^3$$

Para este valor teórico de módulo resistente, se escoge uno lo más aproximado de la Tabla 21, comprobando si es apto con los siguientes cálculos.

$$S = 80 \times 40 \times 3.$$

$$91,6 \geq \frac{1,17 \times 10^4}{6,53 \times 10^2} + \frac{1,17 \times 10^6}{12,80 \times 10^3}$$

$$91,6 \geq 109,32$$

El perfil que se ha seleccionado no es válido. Se selecciona un perfil mayor y se vuelve a realizar la comprobación.

$$S = 80 \times 60 \times 3.$$

$$91,6 \geq \frac{1,17 \times 10^4}{7,73 \times 10^2} + \frac{1,17 \times 10^6}{17,20 \times 10^3}$$

$$91,6 \geq 83,16$$

El nuevo perfil seleccionado si es válido.

## 12.5 Anexo 5: Comparaciones resultados de los diagramas de esfuerzos

### 12.5.1 Plataforma

#### 12.5.1.1 Resultados caso 1

Tipo de esfuerzo	Tijera extendida	Tijera plegada
Axil	0 N	0 N
Cortante	$7 \times 10^3 \text{ N}$	$4,04 \times 10^3 \text{ N}$
Flector	$7,94 \times 10^5 \text{ Nxmm}$	$2,95 \times 10^6 \text{ Nxmm}$

Tabla 38: Comparación de resultados de esfuerzos para la plataforma en caso 1

#### 12.5.1.2 Resultados caso 2

Tipo de esfuerzo	Tijera extendida	Tijera plegada
Axil	0 N	0 N
Cortante	$2,34 \times 10^3 \text{ N}$	$2,29 \times 10^3 \text{ N}$
Flector	$8,37 \times 10^5 \text{ N}$	$1,11 \times 10^6 \text{ Nxmm}$

Tabla 39: Comparación de resultados de esfuerzos para la plataforma en caso 2

### 12.5.1.3 Resultados caso 3

Tipo de esfuerzo	Tijera extendida	Tijera plegada
Axil	0 N	0 N
Cortante	$4,04 \times 10^3$ N	$4,04 \times 10^3$ N
Flector	$8,52 \times 10^5$ Nxmm	$1,47 \times 10^6$ Nxmm

Tabla 40: Comparación de resultados de esfuerzos para la plataforma en caso 3

### 12.5.2 Barra 1

#### 12.5.2.1 Tijera totalmente extendida

Tipo de esfuerzo	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Axil	$2,14 \times 10^4$ N	$4,02 \times 10^3$ N	$3,84 \times 10^3$ N
Cortante	$2,88 \times 10^3$ N	545 N	413 N
Flector	$7,75 \times 10^5$ Nxmm	$2,38 \times 10^5$ Nxmm	$1,44 \times 10^5$ N

Tabla 41: Comparación resultados de esfuerzos en barra 1 para los distintos casos con la tijera abierta

#### 12.5.2.2 Tijera totalmente plegada

Tipo de esfuerzo	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Axil	$2,53 \times 10^4$ N	$1,28 \times 10^4$ N	$1,26 \times 10^4$ N
Cortante	$1,8 \times 10^3$ N	$1,93 \times 10^3$ N	956 N
Flector	$8,3 \times 10^5$ N xmm	$1,17 \times 10^6$ Nxmm	$4,56 \times 10^5$ Nxmm

Tabla 42: Comparación resultados de esfuerzos en barra 1 para los distintos casos con la tijera cerrada

### 12.5.3 Barra 2

#### 12.5.3.1 Tijera totalmente extendida

Tipo de esfuerzo	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Axil	$1,14 \times 10^4$ N	$1,67 \times 10^3$ N	$1,51 \times 10^3$ N
Cortante	$2,25 \times 10^4$ N	$3,7 \times 10^3$ N	$3,58 \times 10^3$ N
Flector	$7,92 \times 10^5$ Nxmm	$2,13 \times 10^5$ Nxmm	$1,33 \times 10^5$ Nxmm

Tabla 43: Comparación resultados de esfuerzos en barra 2 para los distintos casos con la tijera abierta

#### 12.5.3.2 Tijera totalmente plegada

Tipo de esfuerzo	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Axil	$2,37 \times 10^4$ N	$1,17 \times 10^4$ N	$1,19 \times 10^4$ N
Cortante	$8,85 \times 10^3$ N	$5,45 \times 10^3$ N	$4,48 \times 10^3$ N
Flector	$8,31 \times 10^5$ Nxmm	$1,17 \times 10^6$ Nxmm	$4,56 \times 10^5$ Nxmm

Tabla 44: Comparación resultados de esfuerzos en barra 2 para los distintos casos con la tijera cerrada

## 12.6 Anexo 6: Cálculo espesor cilindro

### 12.6.1 Cilindro de pared delgada.

Conocidos el coeficiente de seguridad y la tensión de fluencia del material utilizado en el cuerpo del cilindro, se calcula la tensión equivalente y a aplicando Von Mises y, utilizando las fórmulas correspondientes a cilindro de pared delgada, se obtiene un determinado espesor para el cual se realizará la comprobación.

$$Cs, f = \frac{\sigma_f}{\sigma_{eq}};$$

Sustituyendo los datos conocidos:  $\sigma_{eq} = 118,3 \text{ N/mm}^2$

$$\begin{array}{l} \text{Tensiones} \\ \text{Componentes} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \sigma_r = 0 \\ \sigma_\theta = \frac{p_i r}{t_h} \\ \sigma_z = \frac{p_i r}{2t_h} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 = \sigma_\theta = \frac{p_i r}{t_h} \\ \sigma_2 = \sigma_z = \frac{p_i r}{2t_h} \end{array} \right.$$

Ilustración 136: Fórmulas calculo tensiones en cilindro pared delgada (Sildeplayer, 2020)

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{Pxd}{2e}\right)^2 + \left(\frac{Pxd}{4e}\right)^2 - \left(\frac{Pxd}{2e} \times \frac{Pxd}{4e}\right)} = \frac{Pxd}{2e} \times 0,866$$

$$e = 1,34 \text{ mm}$$

### 12.6.2 Cilindro de pared gruesa.

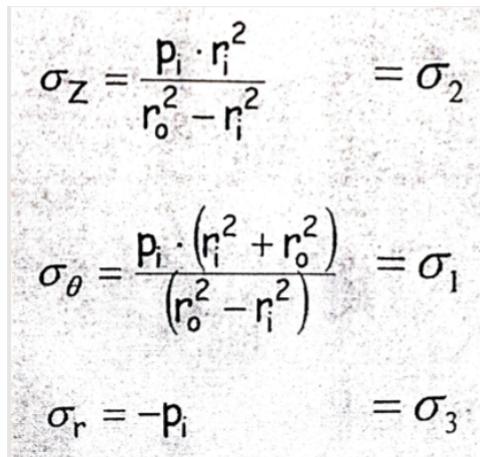
En el caso de utilizar el criterio de Von Mises en pared gruesa, habría que hacer una interpolación e ir suponiendo espesores hasta calcular un Cs, f apropiado. Sin embargo, con la teoría del Cortante máximo se obtiene  $\tau_{max}$ , y aplicando las fórmulas de pared gruesa se puede obtener un valor de espesor directamente, por lo que es la que se va a utilizar a continuación.

Conocidos  $\sigma_f$  y  $C_s, f$  se calcula  $\tau_{max}$

$$\tau_f = \frac{\sigma_f}{2}$$

$$C_s f = \frac{\frac{\sigma_f}{2}}{\tau_{max}}$$

$$\tau_{max} = 59,16 \text{ MPa}$$



The image shows three handwritten equations for the stresses in a thick-walled cylinder:

$$\sigma_z = \frac{p_i \cdot r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} = \sigma_2$$
$$\sigma_\theta = \frac{p_i \cdot (r_i^2 + r_o^2)}{(r_o^2 - r_i^2)} = \sigma_1$$
$$\sigma_r = -p_i = \sigma_3$$

Ilustración 137: Fórmulas tensiones cilindro de pared gruesa (Canalís martinez Paula, 2017)

Se obtiene el valor del espesor a partir de las fórmulas mencionadas anteriormente y despejando  $r_0$  de la siguiente fórmula:

- $r_0 = r_i + e$
- $r_i = 14 \text{ mm}$

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$\tau_{max} = \frac{p_i r_0^2}{r_0^2 - r_i^2}$$

$$e = 1,86 \text{ mm}$$

## 12.7 Anexo 7: Cálculos en la selección de la bomba

Con los datos recogidos en la Tabla 27 se obtiene un valor para la velocidad del cilindro a partir de la cual se puede calcular el caudal y posteriormente la potencia.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

$$V_{mediacil} = \frac{Recorrido}{Tiempo}$$

$$V_{mediacil} = 0,06 \frac{m}{s}$$

Una vez conocida la velocidad media del cilindro y su diámetro, se calcula el caudal utilizando las siguientes relaciones.

$$V_{mediacil} \times A_p = Q$$

$$V_{mediacil} \times \frac{\pi \times D_{piston}^2}{4} = Q$$

$$Q = 7,08 \frac{l}{min}$$

La totalidad de la potencia no va a ser empleada en la bomba hidráulica, por lo que se va a suponer un rendimiento del 85%.

$$P[KW] = \frac{P_{bomba} \times Q_{bomba}}{612 \times \text{rendimiento}}$$

$$P = 1,78 \text{ KW}$$

Se supone una velocidad angular  $n = 1500$  rpm para la bomba, con la velocidad y el caudal necesario se puede saber la cilindrada de la bomba. Conociendo este último dato y la presión, elegiremos una bomba de un catálogo comercial que cumpla las especificaciones.

$$P_{minbomba} = 130,65 \text{ bar}$$

$$Q = \frac{n \text{ (rpm)} \times \text{cilindrada} \left(\frac{rev}{m^3}\right)}{1000}$$

$$\text{cilindrada} = 4,72 \left(\frac{rev}{m^3}\right)$$

Con este valor de cilindrada se va escoger la bomba del catálogo, comprobando si es apta.

## 12.8 Anexo 8: Cálculos dimensiones pasadores

### 12.8.1 Pasadores en agarres del cilindro

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

Se estudiará la posición más desfavorable en las barras, es decir, la tijera totalmente plegada. A demás dentro de los 3 casos, habrá uno que presente una mayor fuerza en estos puntos por lo que, si se estudia este caso, se eliminará la posibilidad de fallo en el resto.

Se trata del caso 1, cuyas fuerzas en ambos puntos son idénticas y son las siguientes:

- $F_{c1x}=24755\text{N}$
- $F_{c1y}=6739\text{ N}$
- **$F_{c1l}=25656\text{ N}$**

### 12.8.2 Fallo por cortante directo

Como ya se ha comentado, se escoge la menor tensión de fluencia a la hora de realizar los cálculos. Lo mismo ocurrirá para el resto de los pasadores de la estructura.

$$\sigma_f, \text{ pasador} = 412 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f, \text{ barras} = 275 \text{ MPa}$$

$$\tau_f = \frac{\sigma_f}{2}$$

$$\tau_f = 137,5 \text{ MPa}$$

Por el criterio de cortante máximo se obtiene la siguiente ecuación:

$$C_{s, f} = \frac{\tau_f}{\tau_{max}}$$

Teniendo en cuenta  $C_s, f$  y que en este caso los planos de corte son 2 obtenemos la siguiente área.

$$\tau_{max} = 45,83 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \frac{F_{max}}{2 \times A}$$

$$A = 279,9 \text{ mm}^2$$

$$\mathbf{d = 18,87 \text{ mm}}$$

### 12.8.3 Fallo por aplastamiento

$$\sigma_{aplastamiento} = \frac{\sigma_f}{C_s}$$

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{275}{3} = 91,6 \text{ Mpa}$$

$$91,6 = \frac{25656}{30 \times e}$$

$$e = 9,34 \text{ mm}$$

#### 12.8.4 Pasadores de unión en las tijeras

Se aplican el mismo método y los mismos materiales que en el caso anterior, y se hará igual en el caso siguiente. Sin embargo, la fuerza máxima aplicada en este caso se da para la carga distribuida a lo largo de toda la plataforma y la tijera totalmente cerrada. Son pasadores cortos, por lo que lo tendremos en cuenta al elegir la longitud de los mismos en la tabla.

- $R_{cx}=24755 \text{ N}$
- $R_{cy}=6518 \text{ N}$
- $R_{cx}=25598,71 \text{ N}$

##### 12.8.4.1 Fallo por cortante directo.

$$\tau_f = 137,5 \text{ MPa}$$

$$C_{s,f} = \frac{\tau_f}{\tau_{max}}$$

$$\tau_{max} = 45,83 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

$$A = 558,56 \text{ mm}^2$$

$$d = 26,67 \text{ mm}$$

##### 12.8.4.2 Fallo por aplastamiento.

En el caso de estos pasadores, al haber escogido ya los perfiles de las barras, el espesor en contacto es conocido, es el espesor del perfil hueco elegido,  $e = 3 \text{ mm}$ .

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{\sigma_f}{C_s}$$

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{275}{3} = 91,6 \text{ Mpa}$$

$$91,6 = \frac{45790,4}{40 \times e}$$

$$e = 6,98 \text{ mm}$$

### 12.8.5 Pasadores en los extremos de la tijera

Este apartado se va a subdividir en el dimensionamiento de los dos tipos de pasador existentes en los extremos de la tijera.

- Pasadores en los extremos móviles.
- Pasadores en los extremos fijos.

#### 21.6.5.1 Pasadores en extremo móvil

- $R_{by} = R_{fy} = 4153 \text{ N}$

##### 21.6.5.1.1 Fallo por cortante directo.

$$\tau_f = 137,5 \text{ MPa}$$

$$C_{s,f} = \frac{\tau_f}{\tau_{\text{max}}}$$

$$\tau_{\text{max}} = 45,83 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{F_{\text{max}}}{A}$$

$$A = 90,61 \text{ mm}^2$$

$$d = 10,74 \text{ mm}$$

##### 21.6.5.1.2 Fallo por aplastamiento.

De nuevo, el espesor va a estar fijado por el perfil de barras escogido,  $e = 3 \text{ mm}$ . Comprobamos si es válido o es necesario hacer alguna modificación.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{\sigma_f}{C_s}$$

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{275}{3} = 91,6 \text{ Mpa}$$

$$91,6 = \frac{4153}{12 \times e}$$

$$e = 3,78 \text{ mm}$$

### 12.8.6 Pasador en extremo fijo

En este caso la posición y caso con la mayor fuerza aplicada se da en el caso 1 para tijera cerrada otra vez.

- $R_{ax} = R_{ex} = 0 \text{ N}$
- $R_{ay} = R_{ey} = 3932 \text{ N}$

#### 21.6.6.1 Fallo por cortante directo.

$$\tau_f = 137,5 \text{ MPa}$$

$$C_{s,f} = \frac{\tau_f}{\tau_{\text{max}}}$$

$$\tau_{\text{max}} = 45,83 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{F_{\text{max}}}{A}$$

$$A = 85,79 \text{ mm}^2$$

$$d = 10,45 \text{ mm}$$

#### 21.6.6.2 Fallo por aplastamiento.

En este caso se está calculando el espesor de la orejeta.

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{\sigma_f}{C_s}$$

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{275}{3} = 91,6 \text{ Mpa}$$

$$91,6 = \frac{3932}{12 \times e}$$

$$e = 3,58 \text{ mm}$$

## 12.9 Anexo 9: Tablas selección de arandelas y anillos de seguridad

### 12.9.1 Selección de anillos

Med. Nom. d1	ANILLO								RANURA				Fuerza Axial KG. ≤
	s h11	a max.	b w	d3	Toler.	d4	d5	Peso Kgs. x 1000 Pz.	d2	Toler.	m H 13	n min.	
4	0,4	2,2	0,9	3,7		8,6	1	0,034	3,8		0,5		30
5	0,6	2,5	1,1	4,7	+0,04 -0,15	10,3		0,066	4,8	h10 +0 -0,04	0,7	0,3	38
6	0,7	2,7	1,3	5,6		11,7	1,15	0,084	5,7		0,8	0,45	70
7		3,1	1,4	6,5		13,5		0,121	6,7				80
8	0,8	3,2	1,5	7,4	+0,06 -0,18	14,7	1,2	0,158	7,6	h10 +0 -0,06	0,9		120
9			1,7	8,4		16,0		0,300	8,6			0,6	138
10		3,3		9,3		17,0	1,5	0,340	9,6				153
11			1,8	10,2		18,0		0,410	10,5			0,75	210
12				11		19,0		0,500	11,5				230
13	1	3,4	2	11,9		20,2		0,530	12,4		1,1	0,9	300
14		3,5	2,1	12,9	+0,10 -0,36	21,4	1,7	0,640	13,4	h11 +0 -0,11			325
15		3,6	2,2	13,8		22,6		0,670	14,3			1,1	400
16		3,7		14,7		23,8		0,700	15,2			1,2	490
17		3,8	2,3	15,7		25,0		0,820	16,2				520
18			2,4	16,5		26,2		1,110	17				690
19		3,9	2,5	17,5		27,2		1,220	18				725
20		4	2,6	18,5		28,4		1,300	19			1,5	770
21		4,1	2,7	19,5	+0,13 -0,42	29,6		1,420	20				805
22	1,2	4,2	2,8	20,5		30,8		1,600	21				845
23		4,3	2,9	21,5		32,6		1,680	22				885
24		4,4	3	22,2		33,2	2	1,770	22,9	h12 +0 -0,21			1010
25				23,2		34,2		1,900	23,9			1,7	1060
26		4,5	3,1	24,2		35,5		1,960	24,9				1100
27		4,6		24,9	+0,21 -0,42	37		2,700	25,6				1200
28		4,7	3,2	25,9		37,9		2,920	26,6				1500
29		4,8	3,4	26,9		39,1		3,200	27,6			2,1	1560
30				27,9		40,5		3,320	28,6				1620
31	1,5	5	3,5	28,6		41,5		3,301	29,3				1860
32		5,2	3,6	29,6		43		3,540	30,3	h12 +0 -0,25		2,6	2100
33			3,7	30,5	+0,25 -0,50	44	2,5	3,639	31,3				2160
34		5,4	3,8	31,5		45,4		3,800	32,3				2220
35		5,6	3,9	32,2		46,8		4,000	33			3	2670
36		5,6	4	33,2	+0,25 -0,50	47,8		5,000	34				2760
37		5,7	4,1	34,2		48,6		5,260	35			3	2835
38		5,8	4,2	35,2		50,2		5,360	36				2910
39		5,9	4,3	36		51,5		5,620	37				3360
40		6,0	4,4	36,5		52,6		6,030	37,5				3810
41	1,75	6,2	4,5	37,5		54		6,440	38,5				3905
42		6,5		38,5		55,7		6,500	39,5	h12 +0 -0,25	1,85		4000
44		6,6	4,6	40,5		58		6,910	41,5			3,8	4200
45		6,7	4,7	41,5	+0,39 -0,9	59,1		7,500	42,5				4300
46			4,8	42,5		60,5		7,650	43,5				4400

Tabla 45: Medidas comerciales de anillos de seguridad (Otia, 2005)

## 12.9.2 Selección de arandelas

d1	para	d2	h
1,7	M1,6	4,0	0,3
1,8	M1,7	4,5	0,3
2,2	M2	5,0	0,3
2,5	M2,3	6,0	0,5
2,7	M2,5	6,0	0,5
2,8	M2,6	7,0	0,5
3,2	M3	7,0	0,5
3,7	M3,5	8,0	0,5
4,3	M4	9,0	0,8
5,3	M5	10,0	1,0
6,4	M6	12,0	1,6
7,4	M7	14,0	1,6
8,4	M8	16,0	1,6
10,5	M10	20,0	2,0
13,0	M12	24,0	2,5
15,0	M14	28,0	2,5
17,0	M16	30,0	3,0
19,0	M18	34,0	3,0
21,0	M20	37,0	3,0
23,0	M22	39,0	3,0
25,0	M24	44,0	4,0
28,0	M27	50,0	4,0
31,0	M30	56,0	4,0
34,0	M33	60,0	5,0
37,0	M36	66,0	5,0
40,0	M39	72,0	6,0
43,0	M42	78,0	7,0
46,0	M45	85,0	7,0

Tabla 46: Medidas comerciales de arandelas (Wasi, 2020)

## 12.10 Anexo 10: Cálculos para la selección de los perfiles

### 12.10.1 Perfil rectangular superior

La fuerza del cilindro en el centro de la longitud del pasador generará unos determinados esfuerzos en la orejeta, la cual se considera como un empotramiento. Estos esfuerzos serán los que se transmitirán al perfil superior que queremos dimensionar, generando una serie de tensiones en el perfil, como se puede ver en la Ilustración 138.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

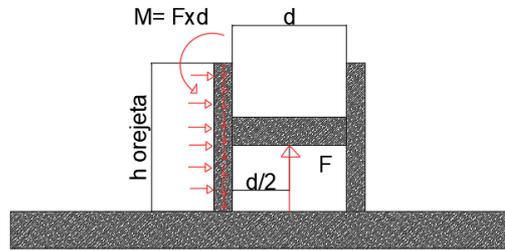


Ilustración 138: Demostración de fuerzas y momentos en el perfil

Calculamos los esfuerzos en la orejeta de nuevo con MEFI.

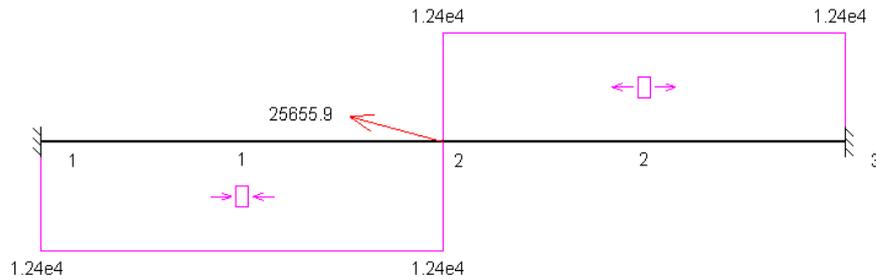


Ilustración 139: Representación esfuerzos axiales

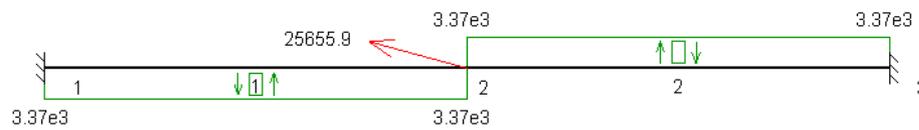


Ilustración 140: Representación esfuerzos cortantes

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

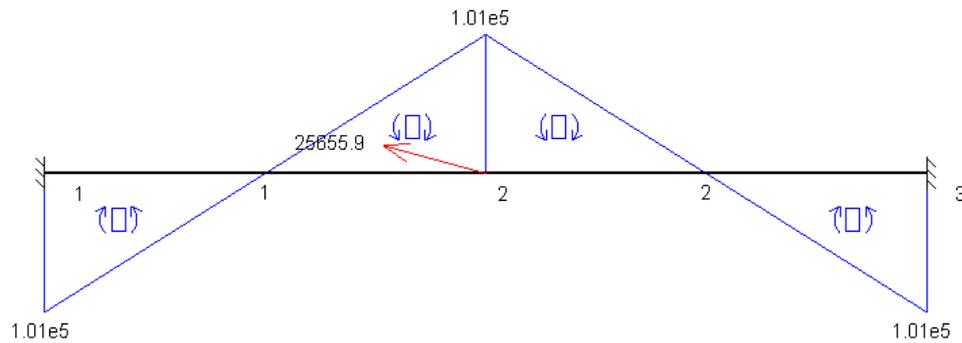


Ilustración 141: Representación momento flector

Tenemos en cuenta la parte de la sección que presenta un mayor momento flector, puesto que será la más desfavorable. Además, los momentos generados en el perfil van a ser contrarios a los generados en la orejeta, por lo que el flector tendrá signo contrario y el axil en el perfil corresponderá al cortante en la orejeta.

Al igual que en el estudio de la sección de las barras, en el estudio de tensiones nos vamos a centrar en las generadas por el esfuerzo axil y cortante, ya que son las que se acumulan en el punto más solicitado de la sección como se observa en la imagen posterior. Con ellas realizamos la comprobación de si el perfil escogido es válido.

$$\sigma_x = \frac{Nx}{A} + \frac{Mz}{Wz} \leq \frac{\sigma_f}{C_{s,f}}$$

$$\sigma_x = \frac{3,37 \times 10^3}{8,33 \times 10^2} + \frac{1,01 \times 10^5}{20,90 \times 10^3}$$

$$8,88 \leq \frac{275}{C_{s,f}}$$

$$C_{s,f} \leq 30,97$$

### 12.10.2 Perfil circular

En este perfil ocurre lo mismo que en el apartado anterior. Como se observa en la Ilustración 138, la fuerza del cilindro genera un determinado momento flector en la orejeta, que es transmitido a la inversa al perfil circular.

A continuación, se muestran los esfuerzos generados en la orejeta debidos a la fuerza del cilindro.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

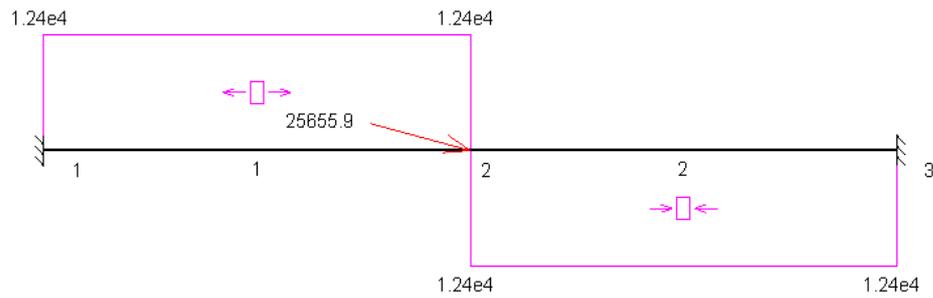


Ilustración 142: Esfuerzos axiales en orejeta inferior

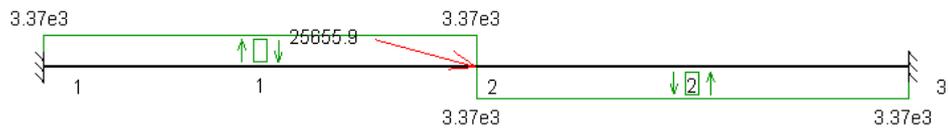


Ilustración 143: Esfuerzos cortantes en orejeta inferior

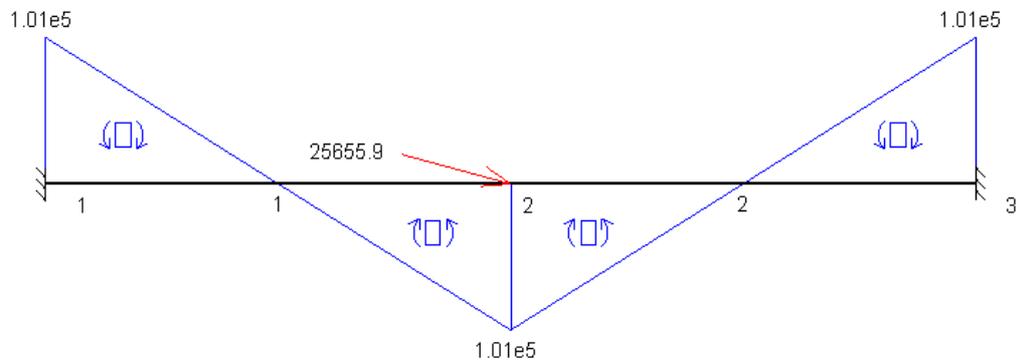


Ilustración 144: Momento flector en orejeta inferior

De nuevo, se realiza la comprobación del perfil mediante el cálculo del coeficiente de seguridad. Para este perfil circular el punto más solicitado es, donde encontramos las tensiones generadas por los esfuerzos flector y axil, como se observa en la Ilustración 32.

$$\sigma_x = \frac{Nx}{A} + \frac{Mz}{Wz} \leq \frac{\sigma_f}{C_{s,f}}$$

$$\sigma_x = \frac{3,37 \times 10^3}{515} + \frac{1,05 \times 10^5}{4840}$$

$$28,24 \leq \frac{275}{C_{s,f}}$$

$$C_{s,f} \leq 9,74$$

### 12.10.3 Perfil rectangular inferior

A este perfil se van a transmitir el mismo momento flector que en el caso anterior, con el mismo sentido, ya que están totalmente soldados y la forma en la que la fuerza incide es la misma para los dos. Por lo que, en este caso, el punto más desfavorable para ambas secciones se encontrará en el mismo sitio, en la parte baja de ambos perfiles.

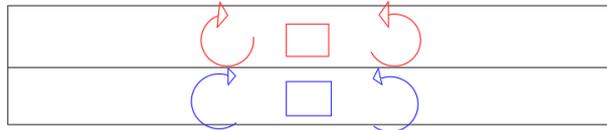


Ilustración 145: Demostración fuerzas en el perfil circular y rectangular

Además, este perfil va a tener las mismas medidas que el perfil rectangular superior por lo que se lleva a cabo la comprobación con los resultados de los apartados anteriores.

$$\sigma_x = \frac{Nx}{A} + \frac{Mz}{W_z} \leq \frac{\sigma_f}{C_{s,f}}$$

$$\sigma_x = \frac{3,37 \times 10^3}{8,33 \times 10^2} + \frac{1,05 \times 10^5}{20,9 \times 10^3}$$

$$8,88 \leq \frac{275}{C_{s,f}}$$

$$C_{s,f} \leq 28,24$$

## 12.11 Anexo 11: Cálculos selección perfiles en U

Se lleva a cabo entonces, un estudio de la sección más desfavorable del perfil en U, el cual va a presentar el punto de acumulación de tensiones máximo en el extremo, donde

se van a sumar las tensiones debidas al axil y al flector. Para el coeficiente de seguridad establecido, calculamos cuál será el momento resistente y seleccionamos un perfil acorde a este valor. Una vez conocido el perfil, se pasa a la comprobación para saber si es apto.

$$\sigma_x = \frac{Nx}{A} + \frac{Mz}{Wz} \leq \frac{\sigma_f}{C_{s,f}}$$

$$\sigma_x = \sigma_{eq} = \frac{\sigma_f}{C_{s,f}}$$

$$91,6 \gg \frac{2,95 \times 10^6}{w}$$

$$W \geq 32205,24 \text{ mm}^3$$

Para este valor del módulo resistente, escogemos un perfil de la Tabla 37.

El perfil escogido es: **U 120x60x4**

Comprobamos mediante el cálculo de  $C_{s,f}$  si el perfil escogido realmente es válido.

$$0 + \frac{Mz}{Wz} \leq \frac{\sigma_f}{C_{s,f}}$$

$$C_{s,f} \leq \frac{275}{89,12}$$

## 12.12 Anexo 12: Ecuaciones soldaduras

Las componentes en x e y de la fuerza del cilindro que actúan en la orejeta, son las que van a generar los esfuerzos en el área de soldadura. Por un lado, la componente en x genera torsor y cortantes combinados, mientras que la componente en y solo genera cortante. Los esfuerzos obtenidos en las orejetas debidos a estas fuerzas se encuentran recogidos en el Anexo 10: Cálculos para la selección de los perfiles..

Como afectan los esfuerzos generados en la orejeta en la soldadura se puede observar tanto en la Ilustración 146 y la Ilustración 147.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

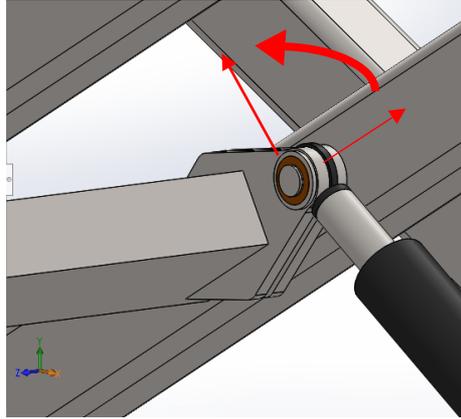


Ilustración 146 : Explicación fuerzas actuando sobre soldadura en 3D

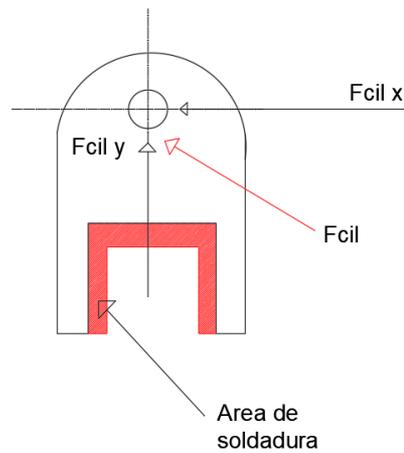


Ilustración 147: Explicación momentos en las soldaduras

En el dimensionamiento, los cordones se deben tratar de manera conjunta, ya que los tres van a estar sometidos a los mismos esfuerzos, pero teniendo en cuenta la variación de las áreas e inercias.

### 12.12.1 Perfil rectangular superior

$$\begin{aligned}
 &Cs=3; \\
 &alfa=63,44; \\
 &F= 25655,9; \\
 &Ahor=50*b; \\
 &Avert=2*100*b; \\
 &A=Ahor+Avert; \\
 &lhor=((b*50) /12) *(b^2*50^2) +(b*50*(50+b/2) ^2); \\
 &lvert=2*((100*b) /12) *(b^2*100^2)); \\
 &y_{max}=50+b; \\
 &I_0=lhor+lvert; \\
 &W_z=I_0/y_{max}; \\
 &M_0= 1,01*10^5; \\
 &t_{segunda}=M_0/I_0; \\
 &t_{primera}=F/A;
 \end{aligned}$$

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

$$\begin{aligned}
 n &= 0; \\
 t1 &= t_{primera} + t_{segunda} \cdot \cos(\alpha); \\
 t2 &= t_{segunda} \cdot \sin(\alpha) \\
 \sigma &= (t1 + n) / \sqrt{2}; \\
 \tau_1 &= (t1 - n) / \sqrt{2}; \\
 \tau_2 &= t2; \\
 \sigma_{aeq} &= \sqrt{\sigma^2 + (3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2))}; \\
 C_s &= 275 / \sigma_{aeq};
 \end{aligned}$$

### 12.12.2 Perfil circular inferior

$$\begin{aligned}
 C_s &= 3; \\
 \alpha &= 45; \\
 F &= 25655,9; \\
 A_{hor} &= 45 \cdot b; \\
 A_{vert} &= 2 \cdot 45 \cdot b; \\
 A &= A_{hor} + A_{vert}; \\
 I_{hor} &= ((b \cdot 45) / 12) \cdot (b^2 \cdot 45^2) + (b \cdot 45 \cdot (45 + b/2)^2); \\
 I_{vert} &= 2 \cdot (((45 \cdot b) / 12) \cdot (b^2 \cdot 45^2)); \\
 y_{max} &= 22,5 + b; \\
 I_0 &= I_{hor} + I_{vert}; \\
 W_z &= I_0 / y_{max}; \\
 M_0 &= 1,01 \cdot 10^5; \\
 t_{segunda} &= M_0 / I_0; \\
 t_{primera} &= F / A; \\
 n &= 0; \\
 t1 &= t_{primera} + t_{segunda} \cdot \cos(\alpha); \\
 t2 &= t_{segunda} \cdot \sin(\alpha) \\
 \sigma &= (t1 + n) / \sqrt{2}; \\
 \tau_1 &= (t1 - n) / \sqrt{2}; \\
 \tau_2 &= t2; \\
 \sigma_{aeq} &= \sqrt{\sigma^2 + (3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2))}; \\
 C_s &= 275 / \sigma_{aeq};
 \end{aligned}$$

### 12.13 Anexo 13: Cálculos para las comprobaciones de la mesa

El caso más desfavorable se da cuando la carga se encuentra distribuida de forma equivalente a lo largo de toda la plataforma, para la tijera plegada. A partir de los diagramas de esfuerzos recogidos en el Anexo 3: Representación de diagramas de esfuerzos, obtenemos la carga máxima aplicada con la que podremos calcular el nuevo coeficiente de seguridad.

Se calculan las tensiones generadas por el momento flector.

$$C_{s,f} = \frac{\sigma_f}{\sigma_{max}}$$

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

$$\sigma_{max} = \frac{Mz}{Iz} \times y_{max}$$

$$Iz = Iz1 + Iz2$$

Para calcular la inercia del plegado, se calcula la inercia de los 3 rectángulos representados en la Ilustración 44 por separado y se hace el sumatorio total de ellas.

En Iz1 tendremos que aplicar Steiner, ya que es la inercia del rectángulo superior y la queremos conocer sobre el eje Z.

$$Iz1 = \frac{L \times b^3}{12} + (bxLxd^2) = \frac{800 \times 0,5^3}{12} + (800 \times 0,5 \times 40^2) = 640008,3 \text{ mm}^4$$

$$Iz2 = 2 \times \frac{L \times b^3}{12} = 2 \times \frac{79 \times 0,5^3}{12} = 1,665 \text{ mm}^4$$

$$Iz = 640010 \text{ mm}^4$$

Al no ser la sección simétrica, la y<sub>max</sub> es la de la fibra más alejada al eje Z-Z.

$$y_{max} = 39,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{max} = 161 \text{ Mpa}$$

$$C_{s, f} = \frac{275}{161} = 1,7$$

$$3 \geq 1,7$$

Se aumenta el espesor de la chapa metálica con un refuerzo obtenido un espesor total de 1 mm, obteniéndose los siguientes resultados:

$$Iz1 = 1280066,7 \text{ mm}^4$$

$$Iz2 = 13,2 \text{ mm}^4$$

$$Iz = 1280080 \text{ mm}^4$$

$$y_{max} = 39,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{max} = 80,54 \text{ Mpa}$$

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

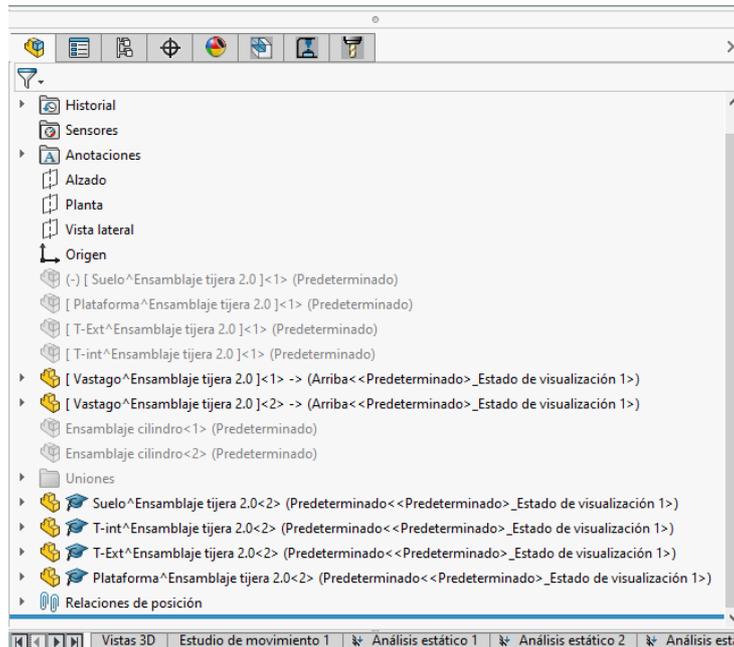
$$C_{s,f} = \frac{275}{80,54} = 3,41$$
$$3,41 \geq 3$$

**Las nuevas dimensiones sí son válidas.**

## 12.14 Anexo 14: Descripción del proceso en Solid Works

### 12.14.1 Definición de la geometría

Cada elemento que conforma la tijera se va a definir por separado. Para ello, se crea la geometría en un croquis inicial y seguidamente, utilizando los comandos de operaciones, se generan los componentes en 3D. El siguiente paso a seguir es la unión de todos estos elementos generando la estructura de la tijera final, para lo cual es necesario crear un ensamblaje. Este ensamblaje estará compuesto por las piezas y subensamblajes creados con anterioridad, y utilizando las relaciones de posición entre piezas, se van a unir entre ellos.



*Ilustración 148: Piezas y subensamblajes definidos*

## Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

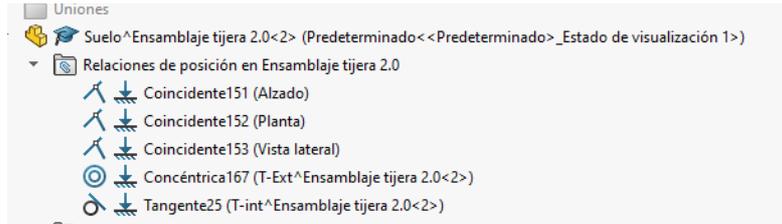


Ilustración 149: Relaciones de posición para ensamblaje

### 12.14.2 Asignación de materiales

Una vez definida la geometría, se escoge cada uno de los materiales para todos los elementos por separado.

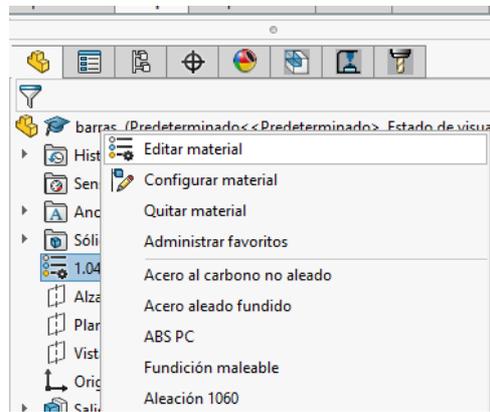


Ilustración 150: Explicación como seleccionar material

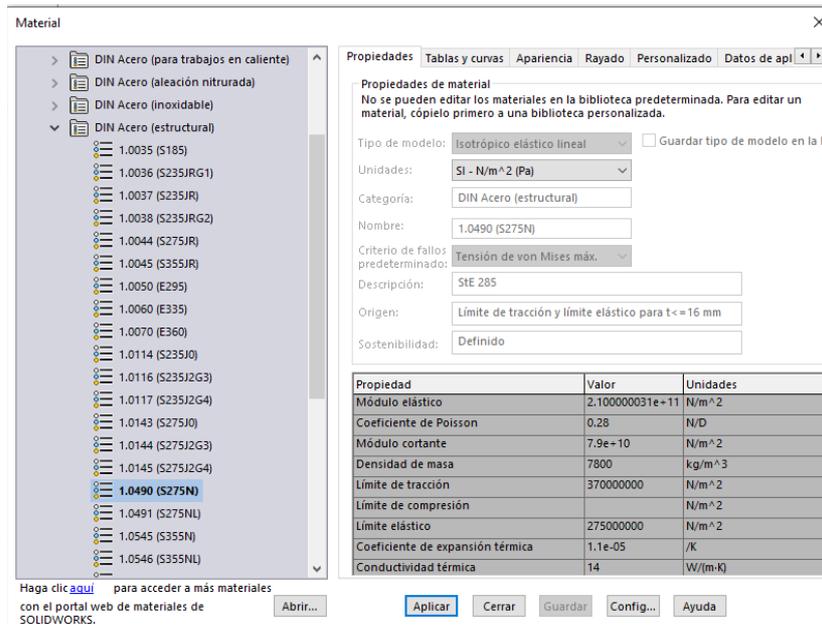


Ilustración 151: Lista de selección de materiales

### 12.14.3 Definición de conectores

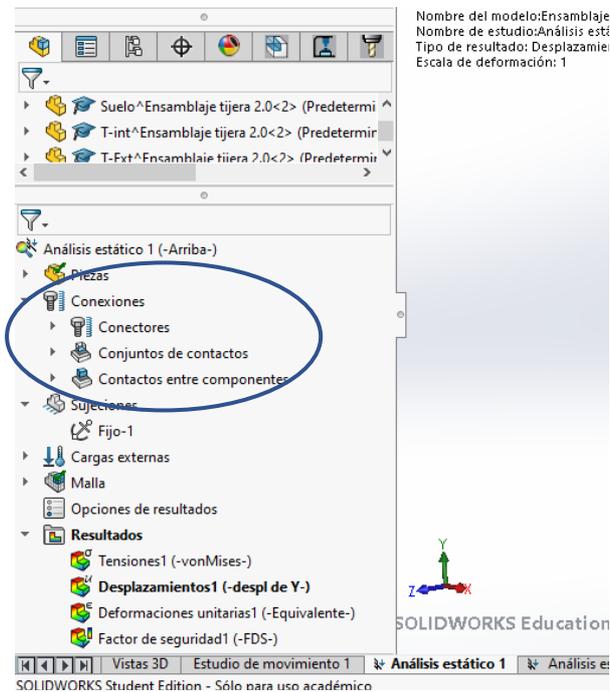


Ilustración 152:Definición de conectores

En primer lugar, dentro de contacto entre componentes se oculta la opción de contacto global que viene por defecto, ya que esta entiende que todas las uniones están soldadas y claramente no es este caso.

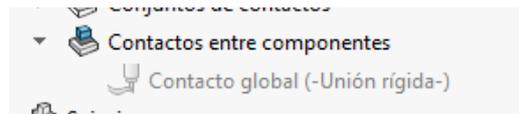


Ilustración 153:Contactos entre componentes

Para definir de forma correcta el resto de los contactos, se buscan todas las parejas de superficies en contacto y se establece el contacto sin penetración.

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

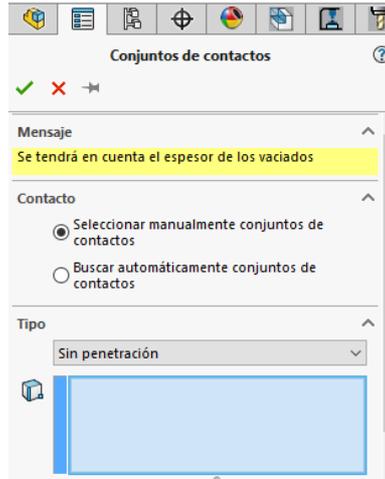


Ilustración 154: Conjunto de contactos sin penetración

Además, en el caso de esta estructura se ha añadido un contacto manual de las ruedas con las superficies sobre las que se están moviendo, utilizando una condición de no penetración.

En cuanto a los conectores, se trata fundamentalmente de pasadores, por lo que se seleccionan caras concéntricas. Y, como estos pasadores cuentan con anillos de seguridad, se deben tener en cuenta que la traslación está restringida pero no lo está la rotación.

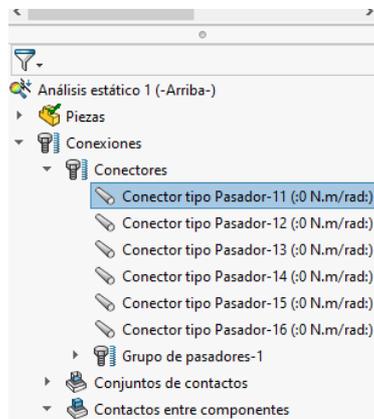


Ilustración 155: Tipos de conectores

## Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

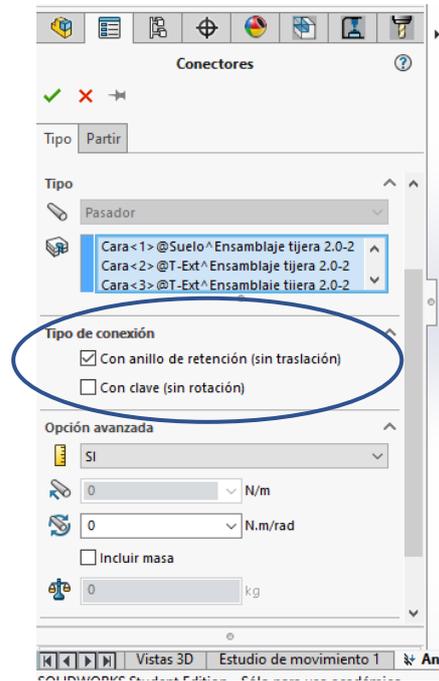


Ilustración 156: Conector tipo pasador sin traslación

### 12.14.4 Condiciones de apoyo

Solo hay una sujeción, como superficie fija de la parte inferior de la plataforma, lo que simularía que todos los nodos de esta superficie estén empotrados.

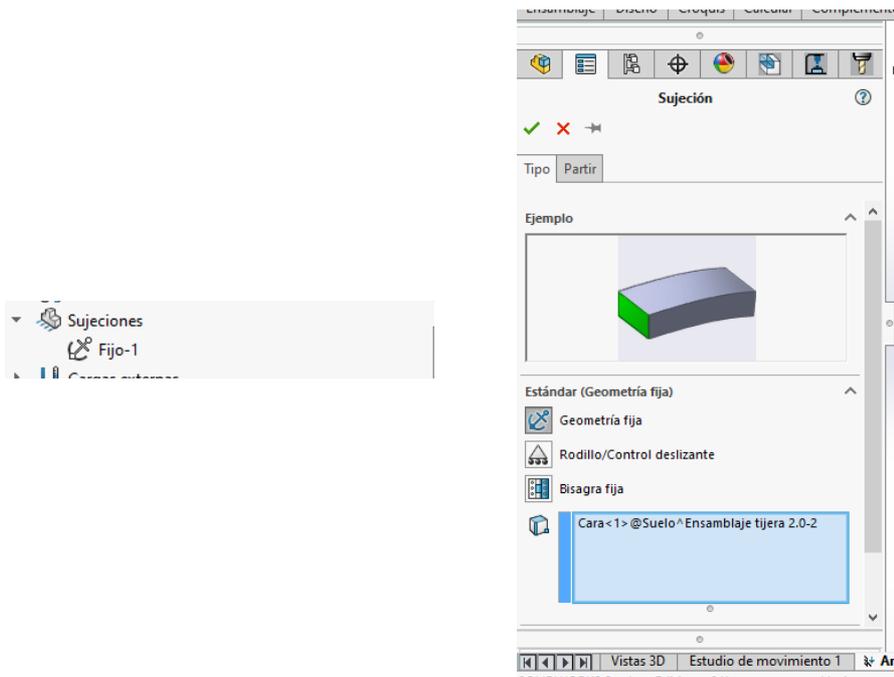


Ilustración 157: Sujeción fija

### 12.14.5 Distribuciones de carga

Como se van a estudiar distintos casos de distribución de carga a lo largo de la plataforma, esta se ha dividido en 4 áreas utilizando el comando de línea de partición facilitando así el cálculo de los distintos casos.



Ilustración 158: Definición cargas externas

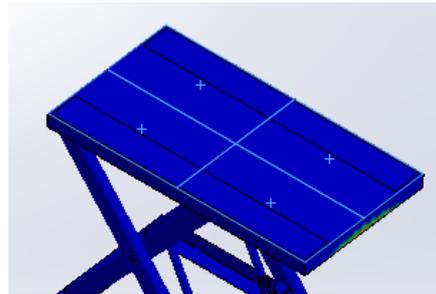


Ilustración 159: División de la plataforma en 4 áreas

### 12.14.6 Mallado y resolución

Para crear la malla hay que tener en cuenta dos parámetros, el tamaño de elemento global y la tolerancia de malla. Hay que encontrar un compromiso entre ambos, de tal manera que, el cálculo sea ágil y la malla sea lo suficientemente fina para obtener una mayor exactitud.

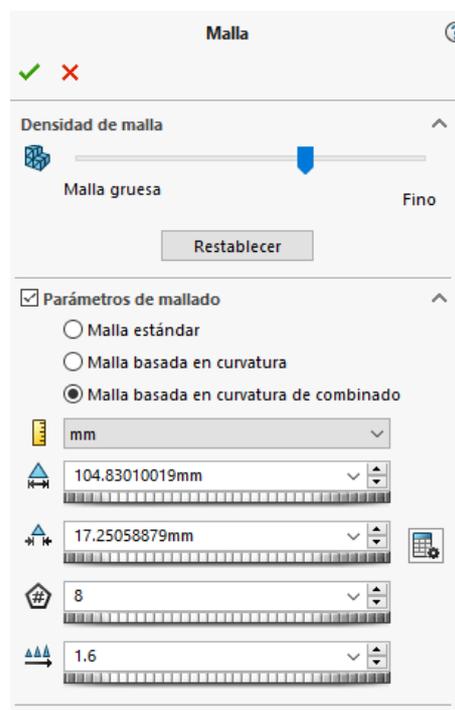


Ilustración 160: Parámetros de mallado

Análisis y dimensionamiento de una plataforma elevadora de tijera con doble accionamiento hidráulico y una carga de 1500 kg

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Arriba-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos	4 puntos
Control de malla	Definida
Tamaño máx. de elemento	104,83 mm
Tamaño mín. de elemento	17,2506 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	103959
Número total de elementos	51221
Cociente máximo de aspecto	1.616,4
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	36,2
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	36,9
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:38
Nombre de computadora	TOSHIBA

Ilustración 161: Detalles de la malla

Además, se han establecido dos controles de malla, el control 1 es para que el mallado sea más fino en la zona de unión de las 4 áreas de la plataforma superior, y, el control 2 en la zona de las orejetas de unión con el cilindro, ya que al ser un punto con tensiones muy elevadas se obtenía un mallado muy grueso.

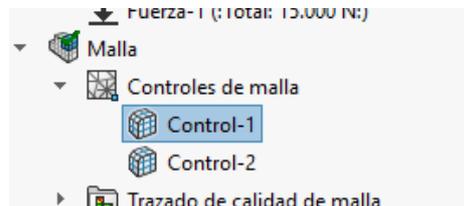


Ilustración 162: Controles en el mallado

Una vez la estructura y la malla estén totalmente definidas, basta con ejecutar el estudio y se obtienen directamente los resultados que se necesitan.

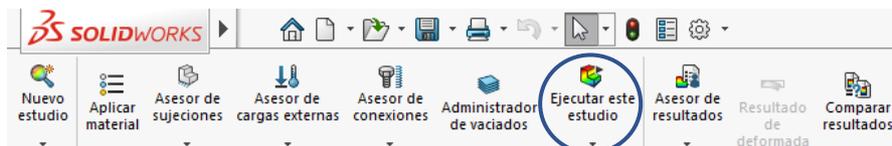


Ilustración 163: Ejecución del estudio